АКАДЕМИК
Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ

АГРОХИМИЯ

ОГИЗ • СЕЛЬХОЗГИЗ • 1940

404 Inv 7к

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВУЗОВ

Академик Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ

631.8+631.41
П85

АГРОХИМИЯ

ТРЕТЬЕ,
ЗНАЧИТЕЛЬНО ДОПОЛНЕННОЕ ИЗДАНИЕ

ВСЕСОЮЗНЫМ КОМИТЕТОМ ПО ДЕЛАМ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ПРИ СОВНАРКОМЕ СССР УТВЕРЖДЕНО В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНИКА ДЛЯ АГРОНОМИЧЕСКИХ ФАКУЛЬТЕТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВУЗОВ

70503

БИБЛИОТЕКА
Отд. 63:54
Шифр П859 а.
Инв. №503701
АКАДЕМИЯ

Центральная библиотека

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«СЕЛЬХОЗГИЗ» — 1940 — МОСКВА

Проверено 1947 г.
Проверено 1952 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

В предисловии к предыдущему изданию «Агрохимии» мы уже отмечали ряд крупных достижений как в области развития нашей туковой промышленности, так и в области применения удобрений в нашем земледелии. Но за четыре года, протекших после выхода второго издания, в области химизации земледелия в СССР произошли дальнейшие сдвиги.

В деле выполнения известного задания товарища Сталина по поднятию урожайности главнейших сельскохозяйственных культур (особенно—технических) применение удобрений с каждым годом приобретает все большее значение. Планом третьего пятилетия предусмотрено крупное увеличение производства удобрений химической промышленностью (в 2,4 раза по сравнению с 1937 г.), в постановлениях XVIII партийного съезда третья пятилетка охарактеризована как «пятилетка химии», дано задание превратить химическую промышленность в одну из ведущих отраслей, «полностью удовлетворяющих потребности народного хозяйства и обороны страны».

За последние годы в некоторых важных отраслях туковой промышленности СССР были достигнуты очень крупные успехи; так, по валовой продукции суперфосфата мы вышли на первое место в Европе и на второе место на земном шаре. Кроме того, последние годы ознаменовались открытием новых богатейших залежей минерального сырья—достаточно назвать громадные запасы высокопроцентных фосфоритов Кара-тау, залегающих почти на 5 000 км ближе к хлопковым районам, чем хибинские апатиты; также открыты новые месторождения калийных солей, а по линии азотной промышленности стало возможным более целесообразное географическое размещение заводов благодаря обнаружению новых залежей угля в Средней Азии. По выявленным запасам главнейших видов сырья СССР занимает первое место в мире, обладая примерно 50% мирового запаса фосфатов и еще большей долей запасов калия (свыше 80%). Поэтому вопрос о сырье не может стоять на пути нашей туковой промышленности, которой предстоит еще более сильное развитие в следующие пятилетия.

Постановлениями XVIII партийного съезда поставлена задача через 10—15 лет догнать и перегнать передовые капиталистические страны в экономическом отношении, т. е. не по валовым только размерам продукции, а и по расчету на душу населения, но так как по принятым установкам сельскохозяйственная продукция должна у нас повышаться больше за счет поднятия урожайности, чем за счет роста посевных площадей под зерновыми и техническими культурами, то это вызовет необходимость нового и резкого подъема и в химической промышленности (помимо увеличения количества навоза в связи с ростом поголовья, развитием клеверосеяния и пр.). Поэтому, если не для всей страны, с ее большим разнообразием природных и хозяйственных условий, то для областей наиболее интенсивного земледелия лозунг «догнать и перегнать» приложим и к количеству минеральных удобрений на гектар посевной площади (именно это количество В. И. Ленин считал лучшей мерой для оценки интенсивности земледелия).

Примером для иллюстрации сказанного является хлопковое хозяйство Узбекистана, где урожаи за годы второй пятилетки удвоились под влиянием усиленного применения минеральных удобрений на фоне орошения и хорошей

агротехники; по количеству минеральных удобрений на 1 га посевной площади (без богарных посевов) Узбекистан уже теперь приближается к Германии; на 1945 г. поставлено задание поднять урожаи с 17 ц (1939 г.) до 26 ц на гектар, причем количество удобрений на один гектар всей орошаемой площади должно значительно превысить то, которое применилось в Голландии, стоявшей до сих пор в этом отношении на первом месте в мире.

Так как не только хлопчатник, но и другие культуры должны получить в четвертом пятилетии значительно больше удобрений, чем в третьем, то продукция туковой промышленности должна сильно возрасти, и общая стоимость удобрений, производимых за год, должна заведомо превысить миллиард рублей. Поэтому не только перед агрохимиками, но и перед всеми работниками нашего социалистического земледелия стоит огромной важности задача—обеспечить наиболее эффективное использование все возрастающего потока минеральных удобрений, доставляемых химической промышленностью, при одновременном максимальном использовании местных удобрений и культуры азотособирателей.

В области преподавания в высшей школе соответственно возрастает роль курса агрохимии. Подготовляя к печати настоящее издание, мы старались так его переработать и дополнить, чтобы оно включало в себя все главные достижения последнего времени как в области теоретического изучения, так и практики применения удобрений; это вызвало значительное увеличение объема, несмотря на стремление автора соблюдать возможную компактность изложения. В книге широко использован мелкий шрифт, в который отнесен материал, служащий для углубленного понимания или разъяснения деталей того или иного вопроса (лишь в небольшом числе случаев в мелкий шрифт отнесены пояснения справочного характера из области общих дисциплин).

В основном настоящее издание «Агрохимии» должно удовлетворять требования программы курса на растениеводческих факультетах сельскохозяйственных высших школ. Что же касается агрохимических факультетов, то расширение настоящего издания не устраняет необходимости (помимо более полного использования петита) еще и проработки соответствующего материала специальных отделов агрохимии по дополнительным пособиям.

В подготовке настоящего издания мне была оказана большая помощь по подбору литературного материала для отдельных глав рядом моих сотрудников, а именно: профессором Б. А. Голубевым, доцентами А. Г. Шестаковым, В. М. Клечковским, И. И. Гунаром, И. В. Гуликиным и М. Д. Бахулиным. Наибольшее участие в этой работе по подготовке издания принимал В. М. Клечковский; кроме того, им написана заново глава «О применении удобрений в специализированных севооборотах», которой не было в предыдущих изданиях. Глава «О хранении и смешивании удобрений» переработана и дополнена для настоящего издания ее составителем Д. В. Дружининым, бывшим моим сотрудником, ныне профессором агрохимии в Куйбышевском сельскохозяйственном институте.

Всем названным товарищам приношу мою искреннюю благодарность.

Сентябрь, 1949. *Д. Прянишников.*

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Прошло три года после того, как было написано предыдущее предисловие к 1 изданию «Агрохимии». За это время не только сильно продвинулось выполнение плана химической промышленности по второму пятилетию, в последний год которого мы теперь вступаем, но за 1935 и 1936 гг. проявились яркие результаты стахановского движения в земледелии, и с помощью высоких доз удобрения лучшими работниками земли, хорошо знающими местные условия, получены небывалые у нас урожаи сахарной свеклы, превышающие 1 000 ц корней с гектара, и урожаи хлопка в 100 и более центнеров. Таким образом, потенциальная емкость нашего земледелия по отношению к минеральным удобрениям, бывшая очень большой уже по одним размерам посевной площади (в шесть раз превышающей размеры посевной площади Германии), теперь еще более возрастает, благодаря доказанной возможности на одном гектаре продуктивно использовать такие дозы удобрения, которые значительно превосходят германские статистические средние, и это новое обстоятельство должно быть учтено при составлении плановых предположений по производству туков в третьем пятилетии.

Теперь уже миновала необходимость настаивать на громадном значении для нас минеральных удобрений, но важно помочь правильному применению ежегодно возрастающего их потока, и если настоящее (второе) издание «Агрохимии», выпускаемое (со многими дополнениями) как раз к заключительному году второго пятилетия, будет способствовать достижению такой цели, то автор будет этим в высокой степени удовлетворен.

Декабрь, 1936. *Д. Прянишников.*

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее руководство появляется при совершенно иных условиях, чем вышедшее в 1922 г. пятым изданием «Учение об удобрении»: тогда у нас вовсе не существовало ни азотной, ни калийной промышленности, производство суперфосфата было ничтожным, импортные же удобрения были недоступны; поэтому автору приходилось, нарисовавши картину широкого применения разнообразнейших химических удобрений на Западе, для нас рекомендовать местные источники удобрений и приемы хотя бы более медленного действия, но не зависящие от химической промышленности, как, например, использование зеленого удобрения, торфа, фосфоритной муки, золы и т. п. При этом недоставало не только строительства химических заводов, но самое сырье или вовсе отсутствовало (калийные соли) или была известна только менее ценная его часть, как это имело место для фосфатов. Мало того, самые масштабы потребности наших почв в удобрении еще не были выяснены; когда и в докладе Госплану в 1921 г.[1] определил нашу потребность в фосфатах в 4—5 млн. т, то эта цифра была названа «астрономической», да и самый термин «химизация земледелия» вошел в общее употребление значительно позднее, чем стали говорить о механизации и электрификации сельского хозяйства[2].

Сдвиг в этой области, с тех пор происшедший, колоссален.

Не только открыты и изучены самые мощные в мире залежи калийных солей на севере Урала, содержащие запас калия (K_2O) в 16 млрд. т, но и преодолены все трудности прохождения шахты через водоносные горизонты, построен и оборудован первый рудник в Соликамске, дающий 1½ млн. т калийных солей в год, и уже положено начало строительству второго рудника. Затем, не только найдены богатейшие залежи апатита в Хибинских горах, не только идет добыча руды в Кукисвумчорре, но и работает обогатительный завод в Кировске, который в состоянии перерабатывать более 1 млн. т апатитовой руды в 40-процентный концентрат—лучшее сырье для наших суперфосфатных заводов.

Далее, нашей химической промышленностью освоен совершенно для нее новый и вообще трудный процесс синтеза аммиака, уже работают азотно-туковые комбинаты в Березниках, Сталиногорске и Горловке, строится Чирчикский комбинат под Ташкентом и имеются все данные для дальнейшего развития азотной промышленности в связи с крупными коксовальными установками (Магнитогорск, Кузнецк и Кемерово), число которых может возрастать сколько угодно в меру увеличения потребности в азотистых удобрениях, так как запасы угля в Сибири оказались превышающими запасы всей Западной Европы; точно так же в Западной Европе нет таких источников водной энергии, как Ангара и Енисей, которые вместе взятые способны заменить 40 Днепростроев; так же и в Средней Азии—реки, текущие с Памира, несут громадные запасы энергии, которые могут быть использованы в будущем для различных целей, в том числе и в интересах туковой промышленности.

[1] «Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений» [доклад в сельскохозяйственной секции Государственной плановой комиссии], ГИЗ, 1921.

[2] Впервые подобный термин был употреблен мной в 1924 г. в статье «К вопросу о химизации нашего земледелия (план применения удобрений в европейской части СССР)». Успехи агрономии, 1925, № 1 (с приложением картограммы).

Таким образом, возможности для развития химической промышленности в будущем у нас чрезвычайно велики, и уже план ее развития на второе пятилетие характеризуется грандиозным размахом; он ставит задачей выдвинуть нашу страну, занимающую первое место на земном шаре по площади, также на одно из первых мест и по производству минеральных удобрений, тогда как довоенная Россия стояла в этом отношении буквально на нулевом уровне, вместе с Китаем и другими отсталыми странами.

Этот грандиозный масштаб плана развития туковой промышленности во втором пятилетии есть план выполнения тех задач нового строительства, которые выдвинула революция, при одновременной необходимости обезопасить это строительство от нарушения враждебным вмешательством наших соседей.

Революция застала наше земледелие буквально на средневековом уровне, и в старую формулу «Россия—страна земледельческая», нужно ввести уточняющую поправку и сказать, что старая Россия была страной отменно плохого земледелия, и только потому, что с промышленностью дело обстояло еще хуже, она казалась страной земледельческой. Чтобы быстрее оторваться от этого средневекового уровня урожаев и от низкой продукции зерна на душу населения, характерной для старой России[1], необходимо немедленно перейти к широкому применению минеральных удобрений, а так как наша посевная площадь по ее абсолютным размерам очень велика, то только при крупных размерах химическая промышленность будет в состоянии сказать должное действие на ход поднятия наших урожаев в предстоящие годы.

Поэтому в основу плана на 1937 г. и намечены крупные масштабы, а по сравнению с первым пятилетием уже 1934 и 1935 гг. характеризуются значительным возрастанием количества и усложнением ассортимента удобрений. Агрохимикам предстоит установить пути правильного применения удобрений в стране, где их употребление было большинству населения вовсе неизвестно, поэтому ближайшие годы должны быть подготовительным этапом к освоению той крупной продукции, которая намечена к концу второго пятилетия.

Но если трудность правильного распределения удобрений по разнообразным областям нашей обширной страны быстро возрастает вместе с ростом их производства, то зато задача внедрения удобрений на местах облегчается происшедшим изменением в социальном строе деревни: вместо прежнего медленного диффундирования агрономических знаний и зависимости от инициативы каждого отдельного крестьянина, теперь объединение мелких хозяйств в коллективы дает возможность планомерного централизованного руководства применением удобрений в колхозах и ставит их в этом отношении на один уровень с совхозами; насколько при этом возрастает скорость проникновения минеральных удобрений в наше земледелие и планомерность их распределения, ясно само собой.

Наряду с огромными сдвигами как в области промышленности, так и в структуре деревни произошли крупные изменения и в структуре агрономической школы, которые неизбежно отражаются на характере настоящего руководства.

Прежде (с 1894 г. по 1928 г.) кафедр агрономической химии в с.-х. школах не было, и развивать работу в этой области можно было только под флагом какой-либо другой кафедры, в порядке личной инициативы; так и автору пришлось в течение 33 лет (1895—1928 гг.) культивировать агрохимию в качестве неузаконенного штатами и уставом школы придатка к кафедре частного земледелия. Правда, в периоды деятельности в качестве декана (с 1907 г. по 1913 г. и 1923—1925 гг.), автору удавалось проводить в учебных планах секцию агрохимии[2], но только в порядке личной инициативы и личного влияния; достаточно было на время отойти от заведывания учебной частью, и слово «агрохимия» опять исчезало из обихода с.-х. школы.

[1] См. цифры ниже (стр. 16 и 18).

[2] Комбинируя работу студента при разных кафедрах, как с.-х. анализ, курс по химии растения, учение об удобрении, с вегетационными опытами и дипломной работой на агрохимические темы.

Первым учреждением, где агрономическая химия была официально признана и представлена целым отделом, с особым штатом, была не с.-х. школа, а учреждение исследовательского типа, именно Научный институт по удобрениям (НИУ), созданный в 1919 г. Высшим советом народного хозяйства[1].

В вузах же только с 1928 г. под влиянием ряда шагов со стороны Комитета по химизации, наконец, были созданы самостоятельные кафедры агрохимии, и затем с 1930 г. специализация была проведена глубже, и только с этого времени началась систематическая подготовка кадров агрохимиков, столь необходимых для реализации широкого плана химизации земледелия в Союзе.

Происшедшая в связи с этим дифференцировка студенчества вызвала потребность в двух концентрах курса агрохимии, из которых первый концентр является общим для всех факультетов растениеводческих вузов, а второй концентр имеет задачу дать углубленную подготовку студентам факультета агрохимии и почвоведения.

Настоящее руководство *отвечает первому концентру*, оно же должно удовлетворить интересам широких агрономических кругов к вопросам удобрения; для агрохимика же оно может служить введением к тем отделам курса, которыми отличается учебный план агрохимического факультета от учебного плана для полеводов, овощеводов и других ответвлений растениеводческих вузов; по специальным же главам агрохимии должны появиться особые руководства.

Д. Прянишников.

Январь, 1934.

[1] Автору пришлось заведывать этим отделом в период с 1919 г. по 1929 г., причем там развилась не только работа центральной лаборатории и специального опытного поля по вопросам удобрений (чего при вузах не было), но оттуда же зародилась организация «географической сети» опытов с удобрениями, которую необходимо было иметь до создания общего плана туковой промышленности для того, чтобы знать, какие именно удобрения и в каких соотношениях нужно производить.

ВВЕДЕНИЕ

ЗАДАЧИ АГРОХИМИИ И РОЛЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ДЕЛЕ ПОДНЯТИЯ УРОЖАЕВ НА ЗАПАДЕ И В СССР

Задачей агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии и выяснение тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растении, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Главным способом вмешательства в этот круговорот является применение удобрений.

Внесение удобрений, являясь в первую очередь мерой химического воздействия на почву, сопровождается (особенно при повторном применении) также известными изменениями в физических свойствах почвы, что необходимо учитывать. Например, агрохимик Шлезинг, изучая действие известкования на почву, один из первых обратил внимание также на понижение связности почвы под влиянием этого приема. То же можно сказать и о воздействии удобрений на микробиологические процессы в почве. С другой стороны, изменение химических и биологических процессов в почве может вызываться также механическими мерами воздействия на нее, затем такими приемами, как орошение или осушение. Так, например, правильная обработка почвы усиливает процесс нитрификации, и если изучение приемов самой обработки (как и приемов мелиорации) выходит за пределы агрохимии, то азотный баланс близко ее касается[1]. Поэтому сказанное выше имеет целью лишь подчеркнуть главное, но отнюдь не следует упускать из виду необходимость для агрохимика учитывать также и ряд явлений, лежащих в области соприкосновения со смежными дисциплинами.

Поэтому влияние обработки, орошения и других агротехнических приемов на химизм почвы, а также вопросы правильного сочетания агротехники и химизации не должны выпадать из поля зрения агрохимика.

Рациональное применение удобрений возможно только при очень глубокой увязке этого рода мероприятий с химией почвы и физиологией растений.

Соответственно этому мы видим, что Буссенго, который в сущности еще больше, чем Либих, имеет право считаться основателем современной агрохимии, подходя к вопросу о применении азотистых удобрений, первый начал систематические исследования основной физиологической проблемы об источниках азота растений (1837 г.), с одной стороны, и изучение нитрификационного процесса в почве—с другой.

Либих, вскоре после Буссенго вступивший на путь приложения химии к земледелию, выдвигая (1840 г.) на первое место значение зольных веществ, точно так же начинает с постановки основного физиологического вопроса о минеральном питании растений и вслед за этим переходит к химии почвы, обращая внимание на громадное значение поглотительной способности. Впоследствии именно агрохимиками, продолжателями работ Буссенго и Либиха, были разрешены основные вопросы химии растения и химии почвы. Только значительно позднее появились отдельные кафедры физиологии растений, и еще позднее

[1] Недаром основы наших знаний о нитрификации были заложены агрохимиками Буссенго, Шлезингом и Мюнцем.

(на границе XIX и XX столетий) стали возникать в некоторых странах[1] кафедры почвоведения, отдельные от кафедр агрохимии и земледелия; это, однако, не прекратило (и не должно прекращать) работы агрохимиков в областях, связанных с корневым питанием растений и химией почвы.

Таким образом, *изучение взаимоотношений между растением, почвой и удобрениями всегда являлось главной задачей агрохимиков*, и выделение таких отраслей знания, как физиология растений и почвоведение, не заменяет агрохимии, ибо только агрохимик в интересах производства занимается синтезом данных по трем названным взаимодействующим факторам (см. схему, рис. 1).

Двойные стрелки этой схемы обозначают обоюдное влияние каждого фактора на остальные; так, не только почва оказывает многообразное влияние на растение, но также и растение в свою очередь влияет на почву (например, накопление органического вещества, обогащение азотом и пр.); далее, удобрение не только влияет на растение, но и само подвергается его воздействию (например, фосфорит разлагается кислыми выделениями корней люпина); то же и по отношению к удобрениям—они изменяют химический состав почвы, но одновременно сами претерпевают различные изменения под влиянием почвы (таково разложение карбонатов и фосфатов в почвах, не насыщенных основаниями, обмен основаниями между вносимыми солями и почвенным поглощающим комплексом).

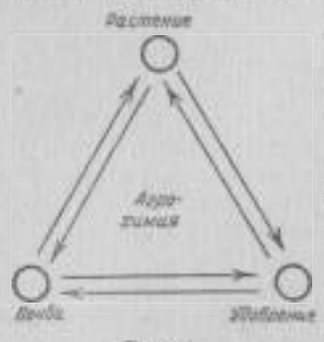


Рис. 1.

Когда по любому из этих трех направлений нехватает данных для синтеза, то именно агрохимик это первый замечает и соответственно перемещает русло исследовательской работы, сигнализируя, когда это нужно, о необходимости помощи со стороны микробиологов, ботаников, физиологов, почвоведов и других представителей основного естествознания.

В этом случае (как и в ряде других) разделение труда между исследователями не совпадает с рамками обычно известной формальной классификации наук, принятой в школах. Дело в том, что вовсе не существует какой-то абсолютной и непреложной классификации наук; деление возможно по разным признакам, и в конце концов обособление тех или иных дисциплин есть только вопрос целесообразности в разделении труда, причем деление в исследовательском деле может даже не совпадать с делением в области преподавания. Это тем более правильно, что, смотря по целям и степени углубленности преподавания, и в нем можно принимать различные деления предметов.

Условность деления имеет место не только в части непосредственного приложения естествознания к определенным областям (медицина, агрономия), но и в более общих подразделениях основного естествознания: так, ботаника и зоология выделяются по *объекту* исследования, а химия, физика и особенно математика не приурочены к определенному объекту, но дают общие *методы* исследования, приложимые к любому объекту.

В ряде же прикладных дисциплин мы встречаемся еще с одним признаком, именно с выделением известной области знаний по некоторому производственному заданию, по общей цели, при использовании различных методов, и притом прилагаемых не к одному объекту, а к нескольким, но имеющим отношение к тому же производству.

Пример такого условного отграничения мы имеем как раз в агрономии, задача которой состоит в изучении всех тех явлений, с которыми имеет дело человек в с.-х. производстве. Для подразделения же этого сложного комплекса на части пользуются как делением по объектам, так и делением по методам; узкое проведение деления по одному какому-либо признаку привело бы к последствиям явно неблагоприятным. Можно представить деление по объектам в виде горизонтальных рядов, а деление по методам—в виде вертикальных; в принципе то и другое подразделение возможно, и в одном случае мы получим деление по основным методам естествознания и будем иметь, например, в вертикальных рядах агрохимию, агрофизику, агромеханику, с.-х. микробиологию, прикладную ботанику (генетика и селекция с.-х. растений); в другом же случае, идя по объектам, мы получим в горизонтальных рядах физиологию растений, почвоведение, метеорологию и земледелие, которое базируется на названных дисциплинах (см. таблицу[1]).

[1] Особенное развитие получило это движение у нас под влиянием Докучаева и Сибирцева.

Деление по методам / Деление по объектам или задачам исследования		I. Агрохимия ↓	II. Агрофизика ↓	III. Агроботаника ↓
Растение	1. Физиология растений →	Химия растения (обмен веществ)	Физические процессы в растении	Физиология размножения и генезис форм
Окружающая среда	2. Почвоведение 3. Метеорология →	Химия почвы и атмосферы	Физика почвы. Физические явления в атмосфере	—[2]
Приемы культуры	4. Земледелие →	Воздействие на химизм почвы (учение об удобрении)	Воздействие на физические свойства почвы (учение об обработке)	Воздействие на растение (приемы ухода и селекции)

Как было бы нецелесообразно идти только по вертикальным рядам и делить почвоведение между агрохимией, агрофизикой, микробиологией и т. д., так же было бы нецелесообразно идти только по горизонтальному делению и растворить агрохимию в почвоведении, физиологии растений и земледелии. Чтобы сделать это более ясным, пройдем несколько подробнее сначала по горизонтальным рядам, исходя из основных целей производства и следуя по обычным рубрикам того деления, которое наиболее удобно для начинающих.

Главной задачей сельского хозяйства является *массовое использование солнечной энергии* в целях производства органического вещества, причем аппарат для этого использования не механизмы[3], а организмы[4], и прежде всего *хлорофиллоносное растение* (животный организм не создает вновь органических веществ, он только пользуется тем, что создано растением).

Следовательно, знание этого аппарата, знакомство со *свойствами растения*, должно лежать в основе агрономии; это знание дается нам *физиологией растений*, или точнее: эти знания мы суммируем и систематизируем под рубрикой «физиология растений» (независимо от того, кем они получены в процессе исследования—ботаником-физиологом, агрохимиком, фармацевтом и пр.).

[1] Эта схема была предложена автором в 1906 г. (см. отчет Московского с.-х. института за 1906 г.).

[2] По линии почвоведения дальше должны бы идти морфологическая характеристика почв, в связи с их генезисом, почвенная микробиология и пр. (и все необходимое для характеристики почвы как средства производства), но для нашей цели достаточно того, что приведено в таблице.

[3] Если мы будем использовать солнечную энергию, поглощая тепло начерненной поверхностью или вызывая с помощью света химические процессы, даже приводящие к тому же синтезу углеводов, который имеет место в растении, то это все-таки уже не будет сельским хозяйством.

[4] Сообразно этому Кюн отмечал, что в основе науки о сельском хозяйстве лежит биология культурных организмов.

Но этих знаний еще недостаточно для земледельца; нужно еще изучить *свойства окружающей среды*, чтобы знать, в каких отношениях она отвечает условиям наилучшего развития растений и в каких не отвечает; эти знания мы объединяем под рубриками *почвоведения* и *метеорологии*.

Только зная потребности растения и свойства среды, мы можем отыскать приемы воздействия на среду (преимущественно почву) и на самое растение, которые позволяют по возможности изменить свойства окружающей среды в соответствии с потребностями растения в целях повышения урожая. Изучением этих приемов занимается земледелие.

Итак, на этом пути мы имеем три последовательных этапа изучения: 1) потребностей растения, 2) свойств среды и 3) способов согласования и изменения тех и других; но в каждом из этих отделов мы можем прибегать то методы химические, то физические, то применять знание законов размножения и возникновения форм; для физиологии растений это деление не требует комментариев (превращения вещества, превращения энергии, превращения формы). То же и при изучении свойств среды: мы имеем химию почвы, физику почвы, а также интересуемся и морфологической характеристикой почв в связи с их генезисом.

При изучении приемов воздействия на среду мы имеем приемы для изменения химических свойств почвы (учение об удобрении) и физических ее свойств[1] (учение об обработке), но мы имеем также ряд непосредственных воздействий на самое растение (уход за растением), на его форму, как, например, обрезка (сокращение вегетационного периода для согласования со свойствами среды—ходом температуры), пасынкование; или это воздействие имеет целью влиять на формы не данного индивидуума, а всей расы (селекция). Таким образом, мы можем расположить наши последовательные рубрики в три горизонтальные строки, объединяющие знания, касающиеся *того же самого объекта* (или служащие той же цели), но в то же время разбить их на три вертикальных столбца, в которых объединяющим началом является *метод исследования*[2].

Если мы прочтем заглавие отделов, попавших в первый столбец (химия растения, химия почвы, химия удобрения), то найдем, что эти отделы и составляют главное содержание агрономической химии в том виде, как она сложилась исторически, так как основной материал для заполнения названных рубрик создан был прежде всего агрохимиками.

Таким образом, *агрономическая химия не есть нечто параллельное с физиологией растений, почвоведением, земледелием, но она идет как бы в поперечном направлении, проникая внутрь этих дисциплин и охватывая в каждой из них все то, что подлежит исследованию химическими методами*; это—части того же научного материала, объединенные по иному принципу в особую дисциплину.

[1] Сравнительно реже в полевой культуре употребляются приемы воздействия на свойства окружающей атмосферы, но все же и они частично применяются; сюда относится, например, борьба с утренниками при помощи дымящих костров и обогащение атмосферы углекислотой, наиболее легко осуществимое, правда, в парниках и теплицах, но все же этот вопрос об «удобрении углекислотой» выдвинут теперь некоторыми авторами и в применении к полевой культуре.

[2] Наша таблица, конечно, не охватывает всех частей агрономии, в нее вошло лишь растениеводство; но ее можно удобно продолжить, а именно: в сельском хозяйстве не только производится растительные продукты, но они и перерабатываются с помощью организмов животных в молоко, мясо, шерсть, в источник мускульной силы; этими вопросами занимается зоотехния, и в ней опять-таки можно различить отделы, разрабатываемые преимущественно химическими методами (обмен веществ в организме, состав и переваримость кормов), отдел, изучающий физические условия существования животных (зоогигиена), и, наконец, отдел, где преобладающую роль играет изучение формы и законов их изменения (зоотехнии и разведение с.-х. животных). Можно и еще далее включить в таблицу заводскую переработку, различая в ней химическое и механическое направления. Но из того, что в зоотехнии также может быть выделена своя область приложения химических методов, было бы абсурдно делать вывод, что тот же самый агрохимик, который ведет работу в области питания растений, должен ставить опыты по кормлению животных; это противоречило бы интересам производства как в прямом смысле этого слова, так и в смысле «производства» науки.

А раз это есть применение другого классификационного принципа, то нет ничего удивительного, что в известных пунктах перекрещиваются пути дисциплин, выделенных по различным признакам.

Вообще говоря, можно, конечно, предпочитать тот или иной принцип деления, в зависимости от цели, которая имеется в виду; но в целях исследования деление по вертикальным столбцам (т. е. по методам) прижилось себе прочное русло и оказалось весьма плодотворным: лаборатории агрономической химии создали не только современное учение об удобрении, но и фундамент для этого построения создан ими же (таковы целые отделы физиологии растений, как минеральное питание, источники азота, химический состав растений; сюда же относится большая часть работ по химии почвы).

По существу в том обстоятельстве, что химия растений рассматривается то как часть физиологии растений, то как глава агрономической химии, в принципе нет никакого противоречия или противоположения (подобно тому, как нет противоречия в том, что любая клетка шахматной доски, находясь в известном вертикальном ряду, в то же время принадлежит к известному горизонтальному ряду). То же относится к химии почвы, которая, с одной стороны, входит наряду с другими многочисленными подразделениями в состав почвоведения, а с другой—является одним из трех краеугольных камней в агрохимии.

Имеет, например, полный смысл, чтобы учащийся первоначально слышал все о почве от одного лица, чтобы все основные сведения о почве, добытые самыми разнообразными методами, сообщались и объединялись в почвоведении; но в то же время нельзя требовать, чтобы каждый почвовед мог вести исследование почвы в любом направлении, пользуясь «всеми доступными в настоящее время методами», как говорили некоторые сторонники энциклопедизма, ибо нельзя в одно и то же время глубоко владеть методами как химии, так и физики и микробиологии, знать одинаково хорошо и геологию и ботанику и пр.; неизбежно должно преобладать пользование какими-либо одним методом исследования; поэтому типы почвоведов как исследователей весьма и весьма разнообразны; для агрохимика же всегда химическая методика является основной; он уже почвоведа по методам (а поэтому с него можно требовать гораздо большего углубления именно в химическую методику), но шире по объектам; он должен непременно знать превращение веществ не только в почве, но и в растении, причем он должен уметь экспериментировать с живым растением и влиять на химизм питания; в этом в то же время отличие агрохимика от химика-аналитика.

Ниже мы увидим, насколько выиграла химическая физиология от того, что ею занимались не только ботаники. То же самое относится и к химии почвы.

Что же касается третьей рубрики—химии удобрения, то она разработана целиком агрохимиками, и одновременное вхождение ее в рубрику земледелия может являться только формальным следствием проведения одного из классификационных принципов, жизненного же значения не имеет. Когда же пробовали проводить в жизнь этот принцип отнесения учения об удобрении к общему земледелию, отрывая его от химии почвы и физиологии растений, то это оказывало резкое мертвящее действие на исследовательскую работу в области применения удобрений.

Таким образом, вопрос о выделении агрохимии в особую дисциплину решается с точки зрения целесообразности, а не с точки зрения отвлеченных представлений о существовании той или иной науки «самой по себе», как это иногда изображалось. Некоторым представителям общей химии, не соприкасавшимся с агрономической школой и с делом исследования в агрономии, этот вопрос кажется неясным, и они склонны думать (как думали во времена Либиха), что достаточно быть вообще химиком, чтобы обслуживать нужды агрономии. Поэтому необходимо подчеркнуть, что здесь идет речь не столько о классификации в пределах химии, сколько о классификации отделов агрономии и о дифференцировке среди агрономов.

Если в области исследовательской работы выделение агрохимии в самостоятельную отрасль агрономической науки имеет уже более чем столетнюю историю, то в системе агрономического образования создание специальных кафедр агрохимии находится в тесной связи с приложением агрохимических знаний в практике сельского хозяйства; последнее осуществляется главным образом по линии применения удобрений. Так, в нашей высшей с.-х. школе существование самостоятельных кафедр агрохимии было узаконено лишь при Советской власти, когда индустриализация страны и строительство химической промышленности, с одной стороны, и социалистическая реконструкция сельского хозяйства—с другой, создали широчайшие возможности для практического осуществления химизации земледелия в нашей стране.

* * *

Приложение агрохимических знаний играло наибольшую роль в поднятии урожаев в Западной Европе за последнее полстолетие, так как применение минеральных удобрений явилось новым приемом, позволившим поднять уро-

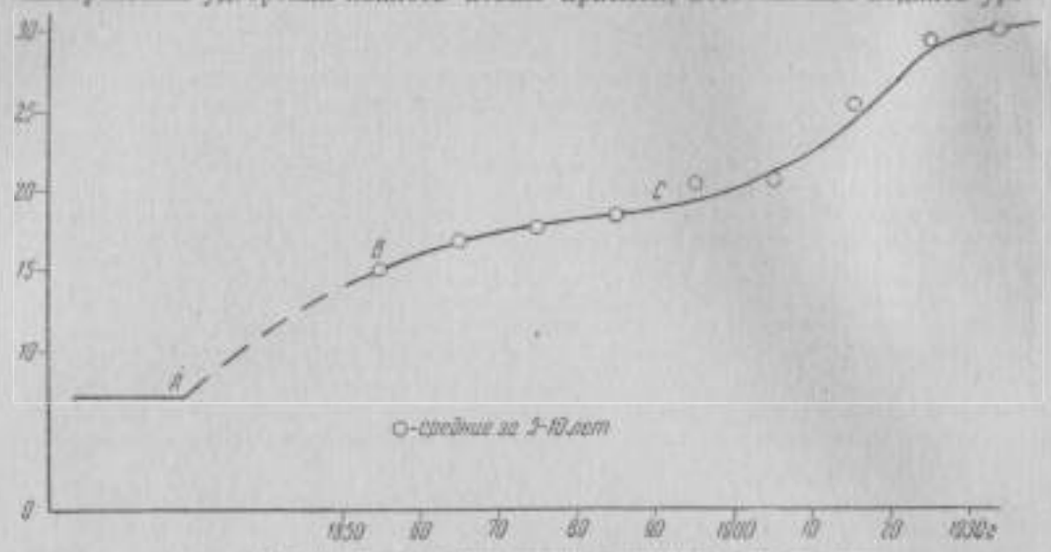


Рис. 2. Рост средних урожаев пшеницы в Голландии:
А—средневековый уровень урожая; В—С—уровень урожая после введения плодосмена; С—начало массового применения минеральных удобрений.

жай на высшую ступень по сравнению с урожаем, достигнутым там ранее благодаря введению плодосмена и улучшенной обработке полей.

Так как между введением севооборота с клевером и распространением минеральных удобрений в Западной Европе прошел значительный срок (в некото-

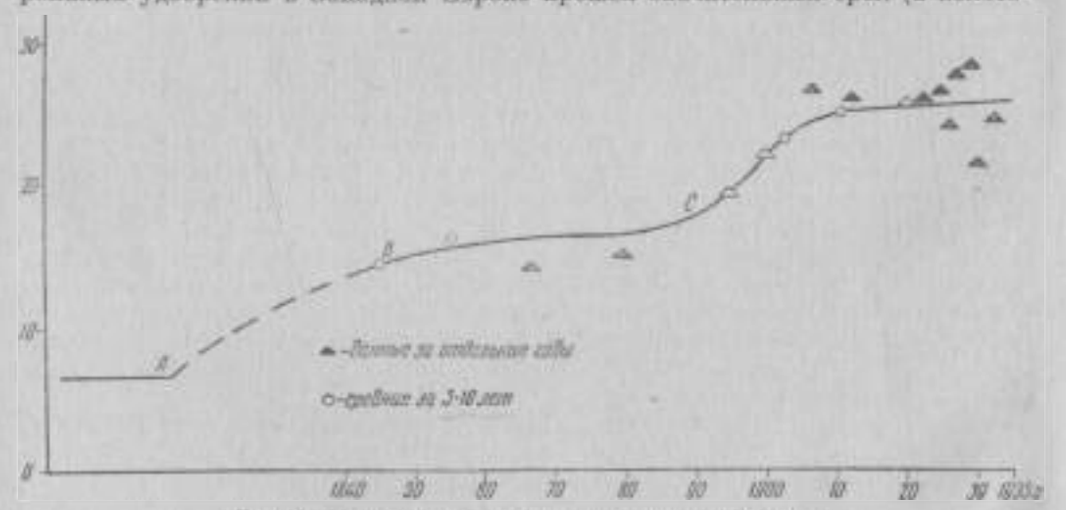


Рис. 3. Рост средних урожаев пшеницы в Бельгии:
А—средневековый уровень урожая; В—С—уровень урожая после введения плодосмена; С—начало массового применения минеральных удобрений.

рых странах—около столетия), то влияние того и иного мероприятия можно наблюдать на кривой поднятия урожаев в отдельных странах Западной Европы.

На рис. 2 и 3 показано изменение урожаев пшеницы в Голландии и Бельгии, начиная со средневекового уровня примерно в 7 ц с гектара (что обычно в условиях зернового трехполья при недостатке лугов) до современного уровня урожаев в этих странах, вчетверо превышающего средневековый уровень.

Первые шаги в поднятии урожаев на Западе были сделаны благодаря переходу от трехполья к плодосмену[1].

Введение посевов клевера позволило повысить количество азота в почве как за счет корневых остатков клевера, так и за счет увеличения количества азота в навозе (ибо при скармливании клеверного сена значительная часть азота, фиксированного с помощью клубеньковых бактерий, попадает в конечном счете в навоз). Затем введение поля пропашных культур улучшило обработку почвы и облегчило борьбу с сорняками. Все это, вместе взятое, постепенно привело к повышению уровня урожаев зерновых в Бельгии примерно с 7 до 15 ц на гектар, а в Голландии—до 15—17 ц.

Как видно из данных, изображенных на рис. 2 и 3, достигнутый в основном за счет этих мер уровень урожаев пшеницы стабилизировался на высоте 15—17 ц и оставался почти постоянным до 1885—1890 гг.

К этому периоду относится начало массового применения минеральных удобрений в странах Западной Европы, и, как видно, именно с этого времени начался новый подъем урожаев, и за какие-нибудь два десятилетия средний урожай пшеницы почти удвоился, достигнув, например, в Голландии уровня в 28—30 ц на гектар в среднем для всей страны.

Аналогичную картину дает и динамика урожаев в Германии (хотя и с известным запаздыванием против Бельгии и Голландии).

Вот соответствующие данные для некоторых лет (до войны 1914—1918 гг.):

Годы	1770	1840	1870	1881—1890	1891—1900	1901—1910	1909—1913
Средний урожай пшеницы (в центнерах на гектар)	7,0	10,0	13,5	14,8	17,4	19,3	22,7

В то время как до введения минеральных удобрений понадобилось больше 100 лет, чтобы поднять урожай в Германии на 7 ц (с 7 до 14 ц), после начала массового применения минеральных удобрений за 25 лет был достигнут больший подъем, чем за целое столетие до этого[2].

Этот факт послужил основанием к известному обращению американских агрономов к немецким специалистам сельского хозяйства с анкетным вопро-

[1] Для плодосмена характерно возделывание клевера и корнеплодов на полях в чередовании с хлебными злаками; типичным представителем севооборотов этой системы являлось норфольское четырехполье (пропашное, яровое, клевер, озимое). Севооборот этот появился в Англии в XVIII столетии, но проникновение культуры клевера на поля имело место еще задолго до этого. Повидимому, раньше всего вступила на этот путь Бельгия (в XVI и даже частично в XV веке), поэтому и тому времени, когда в Германии и Франции шел только процесс ломки трехполья и переход к плодосмену (конец XVIII и начало XIX столетия), в Бельгии и в некоторых районах Англии и Голландии севообороты плодосменного типа уже успели оказать значительное влияние на урожай, и Германия могла многое заимствовать из практики сельского хозяйства в Англии и Бельгии (это видно из произведений выдающихся агрономов того времени, как Таер и Шверц).

[2] Отметим, что в дальнейшем, после сильного снижения урожая за годы мировой войны и достижения потом примерно прежнего уровня, он стабилизировался без ясной тенденции к дальнейшему подъему. Вот данные для урожая пшеницы в Германии для этих лет в сравнении с 1909—1913 гг.:

Годы	1909—1913	1925—1929	1933	1934	1935	1936	1937
Средний урожай пшеницы (в центнерах на гектар) . .	22,7	19,8	24,2	20,6	22,2	21,2	22,6

Общее количество удобрений, применяемых в Германии, несколько возросло по сравнению с 1909—1913 гг., но зато количество фосфора абсолютно снизилось, и соотношение

сом о том, чем они объясняют такой регулярный рост урожаев в период 1885—1913 гг. На этот вопрос последовал следующий характерный ответ: *50% этого поднятия урожаев должно быть отнесено за счет применения минеральных удобрений, 30% за счет улучшения посевного материала и 20% за счет улучшения обработки*[1].

Именно этот факт быстрого поднятия урожаев под влиянием минеральных удобрений в конце XIX и начале XX столетия и дал повод К. А. Тимирязеву сказать, что «современное земледелие стало тем, чем оно есть, только благодаря агрономической химии и физиологии растений; это очевидно a priori (вперед, само собой) и доказывается всей историей».

В Азии среди всех стран Японии выделяется наибольшей правильностью поднятия урожаев за 50 лет (1878—1928) (урожаи в центнерах из гектар):

	1878—1886 гг.	1898—1900 гг.	1918—1920 гг.	1926—1928 гг
Средний урожай риса	21,1	27,0	34,7	34,0
Средние урожаи других зерновых .	13,7	20,1	24,0	27,0

Подъем урожаев в Японии за эти годы также в значительной мере был связан с развитием химической промышленности и применением минеральных удобрений в еще большей мере, чем в Западной Европе, так как Японии из-за недостатка кормовой площади не может развивать животноводства и потому навоз там не играет той роли, как в Западной Европе.

Если возьмем изменение урожайных данных не во времени, а сопоставим пространственное их распределение с размерами применения минеральных удобрений, то получим также ясную картину зависимости урожайности от степени химизации земледелия (данные для капиталистических стран относятся к послевоенному, докризисному периоду):

Страны	Средние урожаи пшеницы (в центнерах на 1 га)	Азот, фосфор и калий (в килограммах на 1 га)[2]	Минеральные удобрения (в центнерах на 1 га)	Минеральные удобрения в сумме для всей страны (в миллионах тонн)
Голландия	28,1	108	6,5	1,3
Бельгия	25,9	55	3,3	0,6
Германия	21,4	49	3,0	8,2
Франция	14,5	18	1,1	3,4
Соединенные Штаты Америки	9,3	5	0,3	5,8
Довоенная Россия	7,0	1	0,06	0,6

Конечно, это сопоставление не следует понимать так, что количество применяемых минеральных удобрений было тогда единственной причиной

между азотом, калием и фосфором изменилось в неблагоприятную сторону, что можно видеть по таких данных:

Вносилось в килограммах на 1 га в среднем	1913 г.	1926 г.
N	9,0	17,5
K_2O	22,5	34,9
P_2O_5	27,0	22,6

Германия не располагает достаточными запасами собственного фосфатного сырья, и стремление сократить импорт вступает здесь в противоречие с интересами сельского хозяйства, которому промышленные синдикаты (в особенности калийный синдикат) навязывают свою продукцию без всякого учета действительных нужд земледелия.

[1] Этот подсчет относится к той стадии развития, на которой находилось сельское хозяйство Германии в 1885—1915 гг. Само собой разумеется, что нельзя обобщать этот вывод и применять одни и те же цифры вне условий времени и пространства.

Следует также учитывать, что в Германии и до этого обработка была очень высококачественной и улучшения обработки за рассматриваемый период сравнительно невелики.

Вообще же без фона высококачественной обработки минеральные удобрения не могут проявить свою эффективность.

[2] В минеральных удобрениях, не считая N, P и K в навозе.

неодинаковой высоты урожаев в этих странах. Наряду с минеральными удобрениями в странах с высоким уровнем химизации огромная роль в повышении плодородия почв принадлежит навозу, культуре клевера, своевременной и тщательной обработке и т. д. Однако значение минеральных удобрений как одного из необходимых элементов всего этого комплекса выступает достаточно отчетливо.

Применение минеральных удобрений позволило Западу не только существенно поднять урожай, но и расширить посевную площадь.

Это произошло прежде всего за счет сокращения площадей под чистыми парами[1], которые при обилии минеральных удобрений на Западе потеряли в известной мере свое значение как способ обогащения почвы растворимой пищей для растений, а затем и за счет «бросовых земель», которые раньше не поддавались культуре. Теперь же мы видим, как самые тощие песчаные почвы вересковых пустошей и выработанные торфяники быстро обращаются в высококультурные земли с помощью внесения умеренных доз извести и высоких доз минеральных удобрений. В итоге валовой сбор зерна в Германии за 25 лет, предшествовавших войне 1914—1918 гг., возрос на 40%, валовой сбор картофеля—на 55%, население же возросло лишь на 30%.

Кроме земледелия, положено уже начало применению удобрений в лесоводстве.

Так, в Дании при возобновлении бука применяется известкование; в Германии при посадке сосны—люпинизация (культура многолетнего люпина между рядами в целях обогащения почвы азотом и «подгона» сосны). В торговых питомниках лесных и декоративных деревьев обильно применяют все виды минеральных удобрений.

Валовое количество минеральных удобрений быстро росло, и в предкризисные годы (1930) общее их потребление на земном шаре достигало 40 млн. т, причем на фосфаты приходится около половины этого количества, на азотистые и калийные удобрения—по 25%. Это преобладание фосфора над азотом и калием является типичным, тогда как в навозе, наоборот, фосфора меньше, чем азота и калия. Дело в том, что задачей внесения минеральных удобрений является не только замена недостающего навоза, но и исправление соотношения элементов в имеющемся навозе. Поэтому-то в большинстве стран (особенно во вновь вступающих на путь химизации) мы видим сильное преобладание применения фосфатов. Но если прежде минеральные удобрения играли дополнительную роль, основная же масса питательных веществ все-таки вносилась в виде навоза, то теперь мы видим, что валовое количество фосфора в минеральных удобрениях в ряде стран уже превышает количество фосфора во всей массе навоза, применяемого в данных странах (Дания, Голландия, Бельгия), а в Голландии и Германии уже и количество калия, вносимого в виде минеральных удобрений, превысило общее количество калия в навозе,—и это несмотря на то, что количество навоза также растет (если от минеральных удобрений повышается урожай зерна, то, значит, повышается и урожай соломы и урожай клевера, а потому и навоза получается больше).

Первый вывод из вышесказанного тот, что *без химической промышленности земледелие передовых капиталистических стран не могло бы стать тем, чем оно есть*. Отнимите минеральные удобрения, и урожаи упадут, как они упали в Германии с первого же года мировой войны (1914—1918 гг.), когда химическая промышленность стала готовить вместо удобрений взрывчатые вещества и пр., а на четвертом году войны урожаи вернулись к уровню, который был 75 лет назад. Однако не следует забывать и обратной зависимости: *без связи с нуждами земледелия химическая промышленность также не могла бы достигнуть современных размеров*. Так, германская калийная промышленность, достигшая

[1] В конце XVIII века Германия имела около 30% площади под паром; теперь осталось лишь 2—3%. В Бельгии, Голландии и Дании пар на полях совсем исчез (иногда применяется в первый год обращения вересковых пустошей в культуру).

колоссального производства калийных солей—12 млн. т в год, 93% этого количества сбывает в виде удобрений, и только 6—7% продукции берет химическая промышленность для других целей.

Сернокислотная промышленность—этот стержень для ряда химических производств, а также важное звено в организации обороны страны—тесно связана в своем развитии с суперфосфатной промышленностью, и можно сказать, что каждый суперфосфатный завод есть в то же время и сернокислотный завод. Азотистые удобрения в мирное время почти во всей своей массе идут на нужды сельского хозяйства и становятся из года в год все более мощным средством поднятия земледельческой продукции. Достаточно сказать, что общая сумма азотистых удобрений, произведенных на земном шаре, в 1930 г. равнялась 10 млн. т, что отвечает повышению урожая на 30 млн. т зерна, т. е. азотная промышленность дала больше хлеба, чем довоенный экспорт России и США, вместе взятых.

Обратимся теперь к нашим условиям. Революция застала наше земледелие стоящим во многих отношениях на средневековом уровне. Урожаи в нашей стране были до войны примерно в 4 раза ниже урожаев Голландии и Дании, в 3 раза ниже против Германии и Японии и в 2 раза—против Франции, сильно отстающей от своих соседей с севера (см. вышеприведенную таблицу).

Если низкий уровень урожая, по сравнению с западно-европейскими странами, был достаточно общеизвестным, то гораздо менее известен другой факт, только отчасти вытекающий из первого,—это то обстоятельство, что довоенная Россия производила мало зерна по расчету на душу населения, как это видно из следующего сопоставления:

Продукция зерна на душу населения (1908—1913 гг.)

Экспортеры		Импортеры	
Канада	49 ц	Дания	7 ц
Соединенные Штаты Америки	40 »	Швеция	5 »
Аргентина	10 »	Германия	4 »
Россия	4 »	Франция	4 »

Таким образом, не только страны, участвовавшие в вывозе, но и некоторые, ввозившие хлеб от нас, производили на деле хлеба не меньше или даже больше (на душу населения), чем дореволюционная Россия, направлявшая к ним свои мнимые избытки[1]. Объяснение этого обстоятельства лежит не только в низких урожаях, но и в относительной недостаточности площади посевов.

Именно низкие урожаи с 1 га сами по себе еще ни о чем не говорили бы, если бы они были следствием экстенсивного хозяйства, при котором охватываются большие площади, и в результате все же получается большой сбор хлеба на едока. Такую картину мы имеем, например, в Аргентине, где урожаи мало отличались от наших, и в США, где они также невысоки, но там это компенсируется многоземельем. Дореволюционная же Россия представляла редкую в мире комбинацию низких урожаев с малой распаханностью территории при очень высокой численности сельского населения. Отсюда еще один основной дефект дореволюционного нашего земледелия: малая посевная площадь на душу сельского населения, которая равнялась всего 0,9 га в среднем (0,6 га в северной Украине, что близко к Индии с ее 0,5 га на душу), в то время как в США приходится 5 га, в Дании—3 га и даже в Германии и Франции—около 1,5 га на каждого сельского жителя. Причина этого была, конечно, не в недостатке площади, а в малой ее распаханности. В то время как в Западной Европе посевная площадь занимает часто 60% (Франция, Германия), а иногда и до 80% (Дания, Голландия) всей площади страны, у нас (в европейской части) посевная площадь занимает в среднем только 25% всей площади[1], причем в черноземной полосе процент посевной площади значительно выше среднего (под пашней—свыше 60% площади), в северных же районах эта доля спускается до 12—15%, в Сибири—еще ниже. Между тем почвы этих районов обычно ничуть не хуже тех, которые дают в Дании и Голландии урожай в 28 ц зерна (в среднем для всей страны) после хорошей заправки навозом и минеральными удобрениями.

Далее, кроме низкой продукции, наше земледелие характеризовалось *неустойчивостью урожаев* вследствие недостаточного развития земледелия в областях достаточного увлажнения (а также слабого развития ирригации и крайней экстенсивности хозяйства в засушливых районах). Благодаря этому в годы крайней засухи на юго-востоке (1891, 1911, 1921 гг.) у нас выпадало до 25% от валового сбора зерна.

В отношении применения удобрений дореволюционная Россия стояла на самом низком уровне. Химическая промышленность почти отсутствовала. Если в части фосфатного сырья и были найдены многочисленные месторождения фосфоритов, то эксплоатация их задерживалась как вследствие общей отсталости страны, так и сравнительно низким качеством большинства известных в то время фосфоритов. Запасы же калийных солей тогда у нас вообще не были известны.

В 1913 г. общее количество применяемых минеральных удобрений в России равнялось всего около 600 тыс. т, что по расчету на посевную площадь составляет ничтожную цифру в 0,06 ц на гектар. Применение минеральных удобрений ограничивалось почти исключительно хозяйствами помещиков-сахарозаводчиков, причем это были удобрения преимущественно импортного происхождения. На низком уровне стояло также применение и навоза, не говоря уже о других местных удобрениях. Господствовавшая в крестьянских хозяйствах чересполосица приводила к тому, что большая часть площади вообще не удобрялась и часто навоз вывозился только на приусадебные участки (огороды, коноплянники и т. п.). Плохая обработка, господство трехполья, отсутствие удобрения приводили к систематическому расхищению плодородия почвы. Такова безотрадная картина состояния земледелия в дореволюционной России.

* * *

За время, прошедшее после Великой Октябрьской социалистической революции, в сельском хозяйстве, как и во всех отраслях народного хозяйства нашей страны, произошли огромные сдвиги. Успехи, достигнутые сельским хозяйством в СССР, неразрывно связаны с осуществлением партией и правительством политики индустриализации страны и социалистической реконструкции сельского хозяйства.

[1] При таком сравнении нужно еще иметь в виду, что Германия, например, производила много картофеля (вдвое больше на душу населения, чем у нас), и если приравнять 4 ц картофеля к 1 ц хлеба, то выйдет, что в Германии приходилось 6 с лишним центнеров зерновых эквивалентов на душу всего населения, а в дореволюционной России (1908—1913 гг.)—только 4,6 ц. Каким же образом был возможен вывоз? Он был связан с недоеданием мяса, вынужденным вегетарианством крестьянской массы. Дело в том, что, например, при откорме свиней на получение каждого килограмма свинины нужно скормить 5 кг зерна. Поэтому отказ от откорма животных у себя и предоставление такого откорма другим лежали в основе экспортных возможностей прежнего времени. Если бы крестьянин вздумал добавить к своему пищевому режиму один раз в неделю 0,5 кг свинины на каждого члена семьи, то это (при 120 млн. крестьянского населения) составило бы в год 3 млн. т свинины, что отвечает затрате 15 млн. т зерна, т. е. это с избытком поглотило бы весь довоенный экспорт, если взять максимальные его размеры. Таким образом, прежний экспорт был основан главным образом на воздержании крестьянства от откорма свиней с предоставлением возможности такого откорма за счет нашего хлеба в Дании и Германии.

[1] Если же взять не только европейскую часть, а всю территорию страны и не исключать тундры северной Сибири, пески Средней Азии и другие неудобные земли, то посевная площадь составит всего 7%. Даже если исключить из этой территории около 50% (по Прасолову) неудобных земель, то и тогда на посевную площадь придется в среднем все еще только 14%.

Создание крупного социалистического сельского хозяйства (колхозов и совхозов) и вооружение его первоклассной техникой—тракторами и другими сельскохозяйственными машинами, ставшее возможным в результате осуществления индустриализации страны,—все это коренным образом изменило лицо нашего земледелия. Из отсталого в прежнем оно стало не только наиболее крупным и механизированным, а значит и наиболее товарным земледелием, но и наиболее оснащенным современной техникой, чем земледелие любой другой страны[1].

За годы Советской власти в нашей стране значительно увеличилась посевная площадь. Со 105 млн. га в 1913 г. она достигла 136,9 млн. га в 1938 г., т. е. возросла более чем на 30%.

Расширение посевных площадей вместе со значительным увеличением численности городского населения привело к тому, что средняя обеспеченность посевной площадью по расчету на душу сельского населения у нас значительно возросла и составляет теперь около 1,2 га[2] против 0,9 га в 1913 г., т. е. увеличилась на одну треть.

Заметим, что мы располагаем большими возможностями и для дальнейшего расширения посевных площадей. Повышение процента запашки в нечерноземной полосе (без сокращения ее на юго-востоке), наряду с мероприятиями по ирригации в засушливых районах, может придать гораздо большую устойчивость нашему урожаю. При должном удобрении средние (за 10 лет) урожаи в Московской области могут превосходить средние урожаи юго-востока, и даже бывший Шенкурский уезд с его песчаными землями, благодаря обильному удобрению навозом, имел более высокое десятилетнее среднее, чем Поволжье с его благодатным черноземом, но далеко не благоприятными колебаниями климата. Для успешного освоения новых земель в нечерноземной полосе необходима хорошая заправка почвы удобрениями. Наличие соответствующих земельных фондов в нечерноземной зоне[3] позволяет с помощью минеральных удобрений значительно увеличить посевную площадь в областях достаточного увлажнения и тем самым повысить в нашем валовом урожае долю, не зависящую от колебаний климата на юго-востоке.

Наряду с ростом посевной площади у нас достигнуты существенные успехи в деле повышения урожайности главнейших с.-х. культур. Приведем здесь данные по урожайности пшеницы, посевы которой занимают у нас около 30% от всей посевной площади.

Средний урожай пшеницы в СССР (в центнерах на гектар)

1909—1913 гг.	1925—1929 гг.	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
6,9	7,5	8,3	8,6	8,3	8,4	11,5

Общее производство всех зерновых культур за годы второй пятилетки составляло в среднем 944,6 млн. ц в год, а в 1937 г. общий сбор всех зерновых достиг 1 202,2 млн. ц. По 6 главным зерновым хлебам (пшеница, рожь, ячмень, овес, кукуруза, рис) за 1933—1937 гг. производство составляло в среднем 866,2 млн. ц в год (а в 1937 г. было собрано 1 130 млн. ц), тогда как по тем же культурам в 1909—1913 гг. производилось всего около 645 млн. ц[4].

Увеличение урожайности и валового сбора зерновых значительно повысило производство зерна на душу населения, которое за годы второй пятилетки в среднем составляло около 5,5 ц, а в 1937 г. поднялось до 7 ц против 4,5 ц в 1909—1913 гг. По общему сбору шести главных зерновых хлебов в 1937 г. СССР занял первое место в мире, оставив в этом отношении позади США и другие капиталистические страны.

Повышение средней урожайности зерновых культур было достигнуто у нас преимущественно с помощью улучшения качества обработки почв, проведения

[1] И. Сталин. Отчетный доклад на XVIII съезде партии о работе ЦК ВКП(б).

[2] Расчет сделан с учетом данных переписи 1939 г.

[3] Например, посевная площадь в Московской области составляет всего около 25% (от общей территории), в то время как лежащая на одной широте с ней Дания имеет 75—80% площади под культурой и почти вчетверо большие урожаи, хотя лежит тоже в зоне подзолистых почв. Еще менее распаханы у нас площади в более северных областях.

[4] Эти и ряд других данных взяты нами из материалов, представленных на Всесоюзной с.-х. выставке и изданных к ВСХВ 1939 г.

в более короткие и своевременные сроки посевных и других работ и т. д., что стало возможным в результате социалистической реконструкции сельского хозяйства и оснащения его передовой машинной техникой[1].

Такое же мощное средство поднятия урожаев, как химизация, сыгравшая большую роль при получении высоких урожаев стахановцами сельского хозяйства, по отношению к зерновым культурам не могло еще быть применено в таком широком масштабе, чтобы это отразилось существенным образом на среднем уровне урожаев зерновых по Союзу, ибо то количество удобрений, которое производится в настоящее время химической промышленностью, направляется преимущественно под технические культуры[2].

В деле производства технических культур достигнуты значительные успехи, причем в сравнении с зерновыми рост производства технических культур шел более быстрым темпом, как за счет расширения посевных площадей, так и повышения урожайности.

Посевная площадь под техническими культурами с 4,5 млн. га в 1913 г. доведена до 11 млн. га в 1938 г. По таким главнейшим техническим культурам, как сахарная свекла и хлопчатник, она возросла следующим образом (в тысячах гектаров):

	1913 г.	1938 г.	1938 г. в % к 1913 г.
Сахарная свекла . . .	648,7	1 180,3	182
Хлопчатник	688,0	2 082,9	304

Динамика урожайности сахарной свеклы и хлопчатника за годы второй пятилетки показывает значительно более быстрый темп роста по сравнению с урожайностью зерновых культур, что нельзя не поставить в связь с созданием к этому времени в СССР мощной химической промышленности и усилением снабжения технических культур минеральными удобрениями.

Вот данные, характеризующие подъем урожаев сахарной свеклы и хлопчатника в СССР во втором пятилетии (урожаи в центнерах на 1 га):

	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Сахарная свекла . . .	75,0	95,0	130,0	135,0	183,1
Хлопок-сырец	6,0	5,9	8,5	12,0	12,3*

Если средняя урожайность сахарной свеклы все еще уступает средним урожаям свеклы во многих странах Запада, то по урожайности хлопка-сырца СССР стоит в настоящее время уже на втором месте в мире, уступая в этом отношении только Египту[3].

[1] Существенное значение, конечно, имели и введение лучших сортов, проведение мер борьбы с вредителями и ряд других мер.

[2] Для того чтобы не всю, а, скажем, 20% площади под зерновыми (вся она равнялась в 1938 г. 108,5 млн. га) удобрить хотя бы по 6 ц на гектар, потребовалось бы 13 млн. т минеральных удобрений в год, что превышает все годовое производство их, намеченное третьим пятилетним планом на 1942 г. Поэтому и в ближайшем будущем минеральные удобрения *в основной своей массе* будут использованы главным образом под технические, а не зерновые культуры.

* В том числе средний урожай поливного хлопка 14,8 и неполивного—4,6 ц на гектар.

[3] Уровень урожая хлопка-сырца в капиталистических странах можно характеризовать следующими данными (урожай в центнерах на гектар):

Годы	США	Британская Индия	Китай	Египет	Бразилия	Мексика
1933	5,5	3,1	7,9	16,1	6,6	9,4
1937	8,6	3,3	5,1	18,1	5,9	6,3

Урожай же хлопчатника в наших главных поливных районах не уступает и египетскому. Так, в Узбекской ССР в 1935—1937—1938 гг. урожай получен соответственно 16,2, 16,1 и 16,4 ц на гектар.

Рост снабжения удобрениями технических культур в СССР можно характеризовать такими примерами: если в 1913 г. на всю поливную площадь под хлопчатник было внесено всего только 500 т минеральных удобрений, то в 1933 г. поливные районы получили 32,7 тыс. т, а в 1938 г.—866 тыс. т. Всего же за годы второй пятилетки районы поливного хлопководства получили свыше 2 млн. т минеральных удобрений.

Под сахарную свеклу в 1934 г. было отпущено 454,5 тыс. т минеральных удобрений, а в 1938 г.—868 тыс. т, т. е. за четыре года количество удобрений почти удвоилось и достигло в среднем на всю площадь посева сахарной свеклы свыше 6 ц на гектар.

О том, какие огромные перспективы повышения урожайности и роста изобилия с.-х. продуктов стоят перед нашей страной по мере дальнейшего улучшения агротехники и роста применения удобрений (связанного с развитием химической промышленности), можно судить по тем результатам, которые достигнуты уже теперь не только отдельными стахановскими звеньями и бригадами, но целыми колхозами и даже районами на больших площадях посева. Эти успехи нашли яркое отражение на открывшейся в 1939 г. Всесоюзной с.-х. выставке.

Примером того, насколько резко могут быть подняты урожаи *зерновых культур*, когда к хорошей обработке (в передовой агротехнике в целом) присоединяется еще и обильное удобрение, являются достижения экспонента Всесоюзной с.-х. выставки—колхоза им. Сталина, Вурнарского района, Чувашской республики. В этом колхозе было обращено исключительное внимание на использование навоза и других местных удобрений (навозной жижи, птичьего помета, золы, прудового ила), а также применялись в довольно большом количестве минеральные удобрения.

Приведем данные средних урожаев зерновых, полученных в этом колхозе с 1934 по 1938 г. со всей площади посева (всего в колхозе около 900 га пашни, причем более половины ее засевается зерновыми); здесь же приведем некоторые сведения, характеризующие размеры применения удобрений (под урожай соответствующего года)[1].

Годы	1934	1935	1936	1937	1938
Средний урожай зерновых (в центнерах на гектар)	9,9	15,7	16,3	26,4	15,8
Процент удобренной площади (по всей площади посева)	11	18	80	86	34
В том числе минеральными удобрениями	9	3	63	66	10

Количество местных и минеральных удобрений, внесенных за эти годы колхозом в среднем на 1 га всей площади посевов, изменялось так:

Годы	1934	1935	1936	1937	1938
Местных удобрений (в тоннах на гектар)	2,0	4,2	8,8	12,7	13,9
Минеральных удобрений (в центнерах на гектар)	0,056	0,095	1,28	3,22	0,19

Достижение такого подъема уровня средней урожайности зерновых обязано, конечно, в этом колхозе не только удобрениям, но и образцовому проведению всех агротехнических мероприятий, однако роль удобрений выявляется здесь достаточно рельефно[2].

Если массовое применение минеральных удобрений под зерновые культуры в таких размерах, какие имели место в данном колхозе в 1937 г., будет возможно для нас только в будущем[3], то усиление внимания к использованию навоза и других местных удобрений для дальнейшего повышения урожая зерновых представляет ближайшую и неотложную задачу всех наших колхозов и совхозов.

[1] «Опыт стахановцев сельского хозяйства», СХГ, 1939 (статья Малухиной, Цивенко и Апальзова).

[2] Понижение (по сравнению с 1937 г.) урожая зерновых в 1938 г. объясняется, очевидно, не только меньшим количеством минеральных удобрений, но и неблагоприятными метеорологическими условиями 1938 г.

[3] См. сказанное в примечании на стр. 21(*).

Приведем отдельные примеры, иллюстрирующие наши возможности и перспективы в отношении повышения урожаев технических культур.

В то время как по Узбекской ССР в целом урожай хлопка-сырца в 1938 г. в среднем достиг 16,4 ц на 1 га, 450 колхозов этой республики получили в 1938 г. урожай хлопка-сырца свыше 30 ц на 1 га, а по Избаскентскому району, Ферганской области, получен средний урожай в 33 ц. Только в одной Ферганской области из общей площади в 20 тыс. га 101 колхоз и 1 совхоз («Нарын») из числа участников ВСХВ получили *в среднем за два года* (1937—1938) урожаи свыше 30 ц с гектара хлопка-сырца (с колебаниями от 30 ц до 42,7 ц).

По сахарной свекле, при средней урожайности по СССР в 183,1 ц на гектар, Волочисский район, Каменец-Подольской области, получил в 1937 г. урожай в 325 ц в среднем со всей площади посева; 42 колхоза из числа участников ВСХВ только двух передовых районов—Волочисского и Чемеровецкого (УССР)—с общей площади посева свеклы около 5 000 га получили средние урожаи *за два года* (1937 и 1938) от 280 до 425 ц корней с гектара.

В орошаемых районах Киргизской ССР со всей площади посева сахарной свеклы (составлявшей в 1938 г. 13 700 га) за два года в среднем получен урожай 326,7 ц корней на гектар, а в колхозе им. Федорова на площади в 60—75 га за три года средний урожай был таким:

	Площадь (в гектарах)	Урожай свеклы (в центнерах на гектар)
1936 г.	60	468
1937 г.	70	492
1938 г.	75	509

О количестве удобрений, применяемых под свеклу в этом колхозе, могут дать представление следующие сведения, демонстрированные на ВСХВ:

	Органические удобрения (в тоннах на 1 га)	Минеральные удобрения (в центнерах на 1 га)	Зола (в центнерах на 1 га)
В основном удобрении	19,5	2,0	4
В рядки при посеве	—	2,0	—
В подкормках	4,2	2,57	—
Всего	23,7	6,57	4

Представленный на ВСХВ колхоз «Юнары-Хасыль-Учуи», Алтын-Кульского района, Узбекской ССР, получивший в 1938 г. на площади в 244 га средний урожай хлопчатника в 35,7 ц на гектар, вносил (в зависимости от почвенной разности) следующее количество питательных веществ в удобрениях (в килограммах на 1 га):

Азота	от 50 до 200
Фосфорной кислоты	» 150 » 200
Калия	75

Если перевести эти количества питательных веществ на минеральные удобрения (аммиачную селитру, суперфосфат и калийную соль), то это составляет в сумме свыше 10 ц удобрений на гектар[1].

Стахановцы сельского хозяйства, добившиеся получения рекордно высоких урожаев порядка 70—80 ц на гектар зерновых (Ефремов, Чуманов, Олейников и др.), 1 000 и более центнеров на гектар сахарной свеклы (Пилипенко, Чалая, Байдич и ряд других)[2], 100—150 ц на гектар хлопка-сырца

[1] В среднем обеспеченность хлопчатника в поливных районах минеральными удобрениями составляла около 5—6 ц на гектар.

[2] А при орошении (в Киргизии и Казахстане)—до 1 400 ц на гектар (Утенбергенов, Оторбаева).

(Рахматов, Алиева и др.), 20 ц и более на гектар льноволокна (Барановская, Дедковская и др.), уделили в своей работе большое внимание применению местных и минеральных удобрений.

Как опыт стахановцев, так и многочисленные данные опытных учреждений показывают, что в дальнейшем повышении урожайности удобрениям будет принадлежать у нас огромная роль.

Долгое время среди ряда агрономов держалось убеждение, что у нас еще не настало время для применения минеральных удобрений, что наши почвы обладают плохой структурой, что удобрения действуют у нас гораздо хуже, чем на Западе, и без клеверного фона их применять вообще не стоит и что поэтому нам нужно сначала пройти через стадию чисто навозного травопольного хозяйства и только потом перейти к применению минеральных удобрений.

Но при всем значении и обработки и клевера, который, конечно, должен быть максимально использован, как для решения азотного вопроса, так и для общего улучшения свойств почв, утверждение о том, что наши почвы иначе относятся к удобрениям, чем западно-европейские, основывалось на неправильно проведенных опытах. Почвам нашей нечерноземной полосы хронически нехватало азота (тем более, что клеверосеяние у нас являлось делом недавним и охватило слишком малую площадь), а в опытах дореволюционного времени (и даже позднейших, до 1927 г. включительно) допускались систематические погрешности по отношению к азотистому удобрению; при нормальных дозах фосфора и калия испытывались лишь незначительные дозы селитры.

Здесь сказалось влияние довоенной экономики: сульфат аммония стоил у нас в 4 раза, а селитра в 3 раза дороже, чем пшеница. Между тем широкое применение азотистые удобрения на Западе нашли только тогда, когда цена на них стала ниже, чем на пшеницу. Поэтому у нас азотистые удобрения раньше почти не применялись (кроме ничтожных количеств под свеклу). Мало того, кроме этого неизбежного хозяйственного результата, довоенная экономика гипнотизирующим образом действовала и на умы многих агрономов-опытников, которые или вовсе не хотели работать с азотистыми удобрениями, или применяли их в ничтожном размере. Отсюда часто получался вывод, что навоз действует гораздо сильнее, чем минеральные удобрения, и вместо того, чтобы учесть, что в навозе давали в 10—12 раз больше азота, чем в селитре, приписывали целиком лучшее действие навоза его органическому веществу, игнорируя большие количества находящихся в нем азота, фосфора и калия. Но если селитра была дорога и ее нельзя было применять в хозяйстве, то из этого не вытекало, что ее не нужно было применять в опытах; наоборот, здесь-то она и должна была сыграть роль реактива при разрешении вопроса, нуждаются ли наши почвы в азоте, и потому в целях опытных ее следовало применять в полной дозе, с тем чтобы потом уже решать второй вопрос— каким путем мы будем устранять азотный голод наших почв (азотная промышленность, клевер, навоз, торф и пр.). Но это не было сделано, азотный минимум для нечерноземных почв не был достаточно выявлен, а калий и фосфор без внесения должных доз селитры полного действия проявить не могли, а оттуда и сложилось неверное мнение о слабом действии на наших почвах минеральных удобрений вообще.

Только в тех случаях, когда азотный минимум был устранен, например, благодаря энергичной нитрификации в условиях паровой обработки на черноземе, действие удобрений проявлялось. Такой случай наблюдался регулярно на Харьковской станции, где один суперфосфат дал (в среднем за 10 лет) почти равные с навозом прибавки в 8 ц зерна. То же имело место в опытах Шатиловской станции, но в нечерноземной полосе неизменно приходили к выводу, что без травополья (на деле—без клевера) удобрения не действуют.

Так дело шло до 1927 г., когда Научный институт по удобрениям (НИУ ВСНХ, теперь НИУИФ Наркомхимпрома), объединивший общей программой опытные станции НКЗ и снабдивший их средствами на работу с удобрениями, доказал, что при достаточных дозах удобрения действуют у нас в нечерноземной полосе не хуже, чем в Западной Европе; мало того, благодаря этим опытам выяснилось, что и на черноземе яровые реагируют на азот и прежние выводы о ненужности азотистых удобрений на черноземе пришлось пересмотреть.

Насколько результаты, получаемые при повышенных дозах удобрений, могут отличаться от прежних опытов, видно из следующей таблицы (прибавки урожая от удобрений в центнерах на гектар):

	Овес	Ячмень	Озимая рожь	Картофель	Свекла	Конопля (волокно)	Лен (солома)
Приросты по прежним данным	5,5	4,0	4,0	40,0	51,0	12,0	5,2
При повышенных дозах удобрений[1] . . .	17,4	13,3	8,1	91,4	92,0	36,0	14,9

Эти данные географической сети опытов, организованной Научным институтом по удобрениям и охватившей 300 опытных станций, дали уверенность в возможности поднятия наших урожаев путем химизации земледелия и позволили с уверенностью строить пятилетний план развития основной химической промышленности[2].

Что касается возможности расширения площади посевов в нечерноземной полосе с помощью минеральных удобрений, то ясно, что мы находимся в гораздо лучшем положении, чем Дания и Голландия, вынужденные заниматься обращением в культуру последних остатков самых тощих почв из-под вересковых пустошей. С поднятием же урожаев на старопахотных землях и с разделкой новых земель в полосе достаточного увлажнения должны увеличиться и продукция хлеба на душу населения и доля урожая, не зависящая от засухи.

Помимо возможности гораздо более быстрого проведения мер химизации земледелия в условиях социалистического сельского хозяйства в пределах определившейся до сих пор потребности почв в удобрении, необходимо подчеркнуть еще те моменты, которые теперь повышают эту потребность. Сюда относится, во-первых, индустриализация наших крупных хозяйств (совхозов и колхозов), которая влечет за собой на основе плановых заданий специализацию и необходимость насыщения севооборота определенными культурами. Такое действие оказывает, например, переход от кустарной мочки льна к концентрации мочки и переработки на заводах. Прежде при мочке на местах, когда перевозилось только волокно (т. е. примерно $^1/_6$ веса соломы), расстояние от льняного поля до места использования волокна могло быть значительным. В этих условиях посевы льна могли занимать небольшую долю посевной площади в хозяйстве.

Но если нужно при централизации мочки перевозить не $^1/_6$ урожая, а всю солому, то приходится приблизить лен к заводу. Это влечет за собой необходимость концентрации посевов льна и заставляет отводить под лен достаточно большой процент посевной площади в правильном севообороте. Так как из урожая льна (за исключением мычьих) ничего не идет ни в корма, ни в подстилку, а значит и не возвращается обратно в почву (через навоз), то потребность хозяйства в минеральных удобрениях сильно повышается.

В других случаях, несмотря на транспортабельность продукта, все-таки приходится насыщать севооборот техническими растениями по причинам ограниченности площадей, являющихся наиболее подходящими для возделывания данной культуры, но обладающих благоприятными климатическими условиями при наличии орошения и т. п. Таково положение дела, например, с хлопчатником.

Тепловые условия делают Среднюю Азию главным хлопковым районом. В то же время ограниченность орошаемой площади заставляет отводить возможно больший процент ее под хлопчатник, а это означает сокращение количества навоза в хозяйстве при одновременном повышении потребности в удобрении. Отсюда опять ясна необходимость идти не теми темпами в применении удобрений, которыми шли Западная Европа и Америка.

[1] И при хорошей агротехнике (эти опыты были проведены на опытных станциях).
[2] НКЗ еще не имел своего института по удобрениям в тот период, о котором идет речь (ВИУАА начал свои опыты с 1932 г.).

Замена части чистых паров занятыми также требует повышения снабжения удобрениями: раз занимающее пар растение потребит нитраты, образующиеся за лето, озимь потребует большего количества азотистых удобрений, следовательно, и потребность в минеральных удобрениях увеличивается.

Осуществление грандиозных мероприятий по созданию обширных орошаемых площадей в Заволжье в сильной степени расширяет возможность эффективного применения удобрений под зерновые культуры на юго-востоке. Понятно, что при должном снабжении влагой для получения высоких урожаев потребуется и соответствующее обеспечение условий питания растений. Поэтому орошаемые площади должны будут стать вместе с тем и площадями интенсивной химизации.

Таковы условия, заставляющие нас уделить самое серьезное внимание развитию химической промышленности и химизации нашего земледелия. Если в отношении такого важнейшего фактора технической реконструкции сельского хозяйства, каким является механизация, мы далеко ушли вперед, то в области химизации предстоит еще сделать очень много. Все возможности для окончательной ликвидации отставания в этой области и для успешного соревнования с передовыми (в экономическом отношении) капиталистическими странами у нас есть.

Успехи, достигнутые в деле строительства химической промышленности и химизации земледелия за годы первой и второй пятилеток, весьма значительны. Уже в 1933 г. в докладе об итогах первой пятилетки тов. Сталин отметил: «У нас не было серьезной и современной химической промышленности. У нас она есть теперь»[1].

После Октябрьской революции в СССР были открыты богатейшие залежи хибинских апатитов и соликамских калийных солей, являющиеся в настоящее время основной базой производства фосфорных и калийных удобрений. Благодаря этим открытиям, по запасам минерального сырья для туковой промышленности СССР стоит теперь на первом месте в мире: на долю СССР приходится около половины всего мирового запаса фосфатов и 85% запасов калийных солей.

Размеры этих запасов таковы, что они полностью обеспечивают любое практически возможное увеличение производства удобрений.

О росте производства минеральных удобрений в СССР можно судить по следующим данным:

Добыча и производство минеральных удобрений в СССР (в тысячах тонн)

	1913 г.	1928 г.	1929 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	1937 г.	1938 г.
Добыча фосфатных руд	27	29	239	940	1 470	2 375	3 090	3 410
В том числе апатита	—	—	—	416	690	1 533	2 120	2 300
Производство фосфоритной муки	8	13	76	313	332	484	607	800
Производство суперфосфата	21	152	196	579	698	1 164	1 432	1 897
Калийные соли (сильвинит)	—	—	—	120	303	1 319	1 585	1 800

За пять лет—с 1933 по 1938 г.—производство фосфорных удобрений было увеличено почти в 2,5 раза, а добыча калийных солей возросла в 6 раз.

Планом третьей пятилетки предусматривается дальнейший быстрый рост химической промышленности и химизации социалистического земледелия.

XVIII съездом ВКП(б) поставлена задача превращения химической промышленности «в одну из ведущих отраслей промышленности, полностью удовлетворяющих потребности народного хозяйства и обороны страны. Третья пятилетка—пятилетка химии»[2]. Продукцию химической промышленности намечено увеличить в третьем пятилетии, по сравнению с 1937 г., более чем вдвое (в 2,4 раза).

[1] И. Сталин. Доклад на объединенном пленуме ЦК и ЦКК ВКП(б) 7 января 1933 г.

[2] Из резолюции XVIII съезда ВКП(б) по докладу тов. В. М. Молотова о третьем пятилетнем плане.

Выполнение этой программы даст нам возможность догнать по абсолютным размерам общего производства минеральных удобрений Германию, которая стоит в этом отношении на первом месте, и перегнать Соединенные Штаты Америки, занимавшие до сих пор второе место на земном шаре.

Однако мы не должны оценивать уровень химизации земледелия только по абсолютным размерам производства удобрений. XVIII съездом партии поставлена основная экономическая задача СССР: в течение ближайших 10—15 лет «догнать и перегнать также в экономическом отношении наиболее развитые капиталистические страны Европы и Соединенные Штаты Америки». Для этого нам надо стать на первое место не только по абсолютным размерам производства главнейшей промышленной и с.-х. продукции, но и по относительной его величине, т. е. по расчету на душу населения.

Если учесть, что количество населения в СССР примерно в 2,5 раза больше, чем в Германии, то для того, чтобы догнать Германию по размерам производства удобрений на душу населения, мы должны будем производить 20 млн. т в год, что уже значительно превышает задание третьего пятилетнего плана.

Но если учесть не только разницу в количестве населения, а и в размерах посевной площади, которая у нас примерно в 6 раз больше, чем в Германии[1], то в дальнейшем перед нами открывается еще более широкая перспектива возможного увеличения химической промышленности.

Надо иметь в виду, что применение удобрений в сельском хозяйстве представляет (в мирное время) главный резервуар сбыта продукции основной химии. Поэтому возможности роста химической промышленности в странах Западной Европы в значительной мере лимитируются размерами посевной площади. Кроме того, ограничивающими факторами в капиталистических странах являются и недостаток сырья и периодические кризисы, лишающие земледельцев возможности затрачивать средства на покупку нужных им удобрений, и отсутствие планового начала в народном хозяйстве. Поэтому химическая промышленность ряда капиталистических стран часто бывает вынуждена работать с неполной нагрузкой.

В условиях социалистического государства, не знающего кризисов, при наличии обширных размеров посевных площадей, крупного общественного сельского хозяйства колхозов и совхозов и плановой организации всего народного хозяйства можно смело развертывать химическую промышленность, не опасаясь «перепроизводства» и заранее зная, что вся продукция ее будет использована полностью.

Если принять во внимание, что в таких странах сравнительно высокого уровня химизации, как Германия, на каждый гектар посевной площади приходится в среднем около 3 ц минеральных удобрений, то достижение этого уровня в нашей стране означало бы ежегодное производство свыше 40 млн. т удобрений, что близко ко всей современной мировой продукции минеральных удобрений.

Если эта величина сейчас пока еще намного превышает реальные возможности нашей химической промышленности, то все же она достаточно хорошо демонстрирует потенциальную емкость нашего сельского хозяйства в части использования химической продукции, а следовательно, и ту базу, на основе которой будет развиваться дальнейшее строительство химической промышленности, тесно связанное с укреплением оборонной мощи страны.

Наличие богатейших сырьевых ресурсов, размеры нашей посевной площади и социалистический уклад в нашем сельском хозяйстве позволят нам в будущем,

[1] Так как автор во время написания этой книги не располагал соответствующими точными данными, то при всех этих и других аналогичных расчетах и сопоставлениях данные для СССР взяты без новых союзных республик (Литовская ССР, Латвийская ССР, Эстонская ССР, Молдавская ССР, Карело-Финская ССР и без западных областей УССР и БССР), а для Германии—относятся к границам 1920—1930 гг.

не нарушая принципа хозрасчета, иметь такую химическую промышленность, которая по своей мощи недоступна ни для одной капиталистической страны Западной Европы (или для двух, вместе взятых, таких, например, стран, как Германия и Япония).

Все сказанное убеждает нас в том, что химизация земледелия в СССР развивается и далее должна развиваться быстрыми темпами. С помощью удобрений мы не только будем повышать урожаи, но применение их позволит со временем более смело идти и в направлении крупного расширения посевных площадей в нечерноземной полосе.

Таким образом, применению удобрений суждено сыграть исключительно большую роль в обеспечении высокого и устойчивого урожая и создания изобилия продуктов в нашей стране. Порукой тому, что это изобилие продуктов представляет реальную перспективу, служат блестящие результаты стахановского движения в сельском хозяйстве.

В отношении химизации опыт стахановцев представляет исключительную ценность. Стахановцы показали, что в наших условиях могут быть с успехом применены огромные количества удобрений. В борьбе за высокий урожай хлопчатника, сахарной свеклы и других культур стахановцы применяли в сочетании со всем комплексом агротехнических мероприятий такие количества удобрений, которые в несколько раз превышают дозы, применяемые в массовом масштабе в капиталистических странах даже с высоким уровнем химизации.

Широкому опыту стахановцев, наглядно доказавшему огромную роль удобрений в повышении урожаев, мы в значительной мере обязаны и тем, что теперь можно считать окончательно устраненными и такие препятствия к внедрению химизации земледелия, как распространенные одно время представления о плохом действии удобрений в наших условиях, часто приводившие к недооценке мероприятий по химизации со стороны отдельных агрономов и работников земельных органов.

Одной из основных задач агрохимии является правильное научное обоснование мероприятий по химизации социалистического земледелия. Это требует как глубокого теоретического изучения вопросов питания растений, химии почвы и удобрений, так и непосредственного изучения практического опыта передовиков сельского хозяйства и организации широкой проверки научных достижений в производстве.

Наряду с ростом снабжения сельского хозяйства минеральными удобрениями и задачами наиболее продуктивного их использования, перед колхозами и совхозами стоит важнейшая задача максимальной мобилизации всех местных удобрительных ресурсов и в первую очередь правильной организации хранения и применения навоза. Дело в том, что без правильной организации использования навоза не может быть налажено действительно рациональное применение и минеральных удобрений. Ведь значительная часть питательных веществ: азота, фосфора и калия, поступающих в хозяйство в виде минеральных удобрений, в первый же год переходит в зерно, солому и другие с.-х. продукты, идущие на корм животным и в подстилку, а значит попадает в навоз. Поэтому применение навоза представляет одновременно повторное использование части тех элементов, которые были получены ранее от химической промышленности. Вследствие этого борьба с потерями питательных веществ при хранении, вывозке и заделке навоза является борьбой за сохранение и повторное использование азота, фосфора и калия минеральных удобрений. Значит, как бы ни было велико производство минеральных удобрений в стране, навоз никогда не потеряет своего значения как одно из главнейших удобрений в сельском хозяйстве. На это указывает и опыт стран с высоким уровнем химизации. Так, например, из общего количества азота, вносимого ежегодно в почву с органическими и минеральными удобрениями и с корневыми остатками клевера, на долю азота навоза в Дании приходится около 60%, а в Германии—около 56%.

Эти обстоятельства заставляют считать навоз *одним из основных элементов правильной системы применения удобрений в сельском хозяйстве*. Изучение

способов наиболее рационального использования навоза представляет поэтому одну из важнейших задач агрохимии.

Наконец, надо указать на такие мероприятия, как известкование подзолистых и гипсование солонцеватых почв, имеющие целью улучшение как химических, так и физических свойств почв с помощью внесения соответствующих удобрений. Значение этих мер также возрастает по мере широкого внедрения минеральных удобрений, действие которых во многих случаях может быть повышено на почвах, подвергнутых улучшению с помощью известкования и гипсования.

В решениях XVIII съезда партии задачи, стоящие перед социалистическим земледелием в области осуществления химизации, сформулированы следующим образом:

«Освоить в колхозах и совхозах применение правильной системы органических и минеральных удобрений, обратив особое внимание на рациональное хранение и использование навоза и других местных удобрений, ликвидировать потери минеральных удобрений. Широко внедрить в практику известкование подзолистых и гипсование солонцеватых почв».

Научное обоснование мероприятий по осуществлению этого важнейшего задания представляет собой первоочередную задачу советской агрохимии.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ (ОБЩАЯ)

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

РАЗВИТИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Развитие агрономической химии шло под непосредственным влиянием жизненных запросов земледелия. Но только после того как уже окончательно сложились основы общей химии и были достаточно разработаны методы количественного анализа, развитие агрохимии получило широкие возможности.

Естественно, что люди начали удобрять почву раньше, чем научная методика позволила решить основные вопросы агрохимии и физиологии растений и чем были изучены свойства среды, в которой развивается растение. Правила удобрения приходилось вырабатывать чисто эмпирическим путем, и нужно сказать, что многие из них достигали иногда значительной верности и детальности, но невозможность теоретически объяснить эти правила и явления закрывала пути к установлению общих закономерностей.

Так, римлянам, например, известно было удобрительное действие не только извержений животных, но и некоторых минеральных веществ, как зола, гипс, известь, мергель; различали несколько сортов мергеля, из которых предпочитался тот или другой, смотря по характеру почвы; между удобрениями животного происхождения они особенно высоко ценили извержения птиц, как энергично действующие. Они знали также, что при плодосмене можно получить с тем же самым количеством удобрения больше продуктов, чем при культуре однообразной.

Известно было римлянам и употребление зеленого удобрения, причем для этого рекомендовались как раз те растения, которые усвоют свободный азот воздуха (как это сделалось известным из позднейших исследований), т. е. мотыльковые и преимущественно люпины; знали, например, что на склонах Везувия можно получить хорошие урожаи, не применяя никаких других удобрений, кроме запахивания зеленой массы люпина; теперь это вполне понятно— пепел Везувия и лава содержат раз в десять больше фосфора и калия, чем обычные почвы; нехватает только азота, который дает люпин. Но римляне не могли это расшифровать, не могли сделать никакого обобщения, и факт оставался имеющим только узкое, местное практическое значение.

Накопление фактов таким образом происходило, но у древних авторов не было какой-либо цельной теории питания растений, которая как-нибудь связывала бы эти факты, если не считать, впрочем, смутных указаний на «жир» почвы, terrae adeps, который делает почву плодородной и количество которого увеличивается при внесении удобрений; эти представления можно считать зачатком той гумусовой теории, которая впоследствии придавала главное значение в питании растений органическому веществу почвы. Отзвуки этих представлений сохранились надолго в языке различных народностей; напомним, что наше выражение «тук» (удобрение) в прежнее время употреблялось как синоним слова «жир», и до сих пор слово «тучный» сохранило оба значения[1].

Чаще всего, однако, ограничивались общим утверждением, что вода, земля, воздух и огонь (свет и тепло) являются основными факторами жизни растений.

[1] То же наблюдается во французском языке (engrais, engraissement).

В средние века нечего, конечно, искать прогресса в деле объяснения наблюденных явлений; более того, даже те знания, какими обладали римляне, в значительной степени затерялись и всплывают снова лишь спустя значительный промежуток времени. Так, книги по сельскому хозяйству, появляющиеся с конца XIII века, представляют сначала лишь компиляцию из древних авторов. В позднейших сочинениях к этим заимствованиям из древних авторов прибавляются и собственные измышления без изменения, впрочем, основных точек зрения; здесь часто даются советы, например, приурочивать время внесения удобрений к известным фазам луны; считаться при внесении удобрений с принципом комбинирования веществ однородных, например, «сухую и теплую» почву удобрять навозом сухим и теплым, потому что «simile simili gaudet»[1] (Colerus, Oeconomia, 1592), или же, наоборот, с принципом уравновешивания противоположностей.

Среди всей этой литературы резко выдается по определенности воззрений на роль и происхождение минеральных веществ и на значение удобрений сочинение Бернара Палисси (Bernard Palissy. Traité des sels divers et de l'agriculture), вышедшее еще в 1563 г. Вот что писал он: «Соль есть основа жизни и роста всех посевов». «Навоз, который вывозят на поля, не имел бы никакого значения, если бы не содержал соли, которая остается от разложения сена и соломы» (под солью автор подразумевает, как он сам говорит, все необходимые для растений соли). «Если кто засевает поле несколько лет подряд не унавживая, то посевы извлекут из земли соль, необходимую для своего роста; земля таким образом обедняется солями и отказывается давать урожаи, поэтому нужно ее удобрить или дать отдохнуть несколько лет, чтобы она снова приобрела некоторую соленость, происходящую из дождей и рос». «Разве вам не случалось видеть, как некоторые земледельцы, перед тем как засевать то же поле пшеницей на второй год, сжигают неизрасходованную пшеничную солому, снятую ими с поля. В золе окажется та соль, которую солома и поглотила из почвы: вернуть ее обратно—значит улучшить почву»[2].

Мы имеем здесь впервые высказанный правильный взгляд на почву как источник минеральных веществ, необходимых для растения (еще в 1800 г. многие предполагали, что растение само их синтезирует), имеем верное представление о причинах истощения почвы, о необходимости возврата зольных веществ в виде удобрений—положение, верность которого была доказана точными опытами лишь 300 лет спустя. Однако работы Палисси остались неизвестными как для большинства его современников, так и для последующих авторов.

Так, например, де-Серр (Olivier de Serres) в сочинении своем (вышедшем в 1600 г.) «Théâtre d'agriculture» полагает, что причина действия навоза лежит в «теплоте» его[3].

Кроме трудности распространения знаний в то время, нужно отметить, что каждому предположению, пусть бы правильно оно ни было, противопоставлялся ряд других. *Не было возможности доказать то или иное положение*, так как отсутствовал количественный учет (пока не развилась химия), да и вообще в течение долгого времени недостаточно ясно сознавалась необходимость руководиться экспериментом; предпочитали ссылаться на мнения авторитетных философов древности (Фалес, Аристотель и др.).

Первую попытку, хотя и неудачную, разрешить вопрос о питании растений опытным путем мы встречаем около 1629 г., когда ван-Гельмонт описал свой известный опыт, продолжавшийся ровно 5 лет и показавший, что ивовая ветвь весом 2 кг, посаженная в почву, при поливке одной дождевой водой может увеличиться в весе в 33 раза, почти не изменив веса почвы[4]. Так как состав воздуха не был известен и участия угольной кислоты никто не подозревал, то ван-Гельмонт сделал вывод, что растению достаточно только одной воды для

[1] Что значит в дословном переводе: «подобное радуется подобному».

[2] Подробнее о Palissy см. у Grandeau, «Cours de chimie et physiologie», 1879 (это сочинение содержит лучший для своего времени исторический очерк по развитию агрономической химии).

[3] Эта мысль навеяна, очевидно, парниковой культурой, где навоз действительно служит источником тепла.

[4] «Навеска» почвы, помещенная в глиняный сосуд, была достаточно большой—около 100 кг сухой почвы, поэтому убыль зольных веществ из почвы, взятых растением, не сказалась заметно на изменении веса, и ван-Гельмонт решил, что почва не участвовала в питании растений.

своего роста, т. е. в сущности пришел к подтверждению учения древнегреческого философа Фалеса, которое стояло в резком противоречии со всем опытом земледельцев.

Вскоре после этого (около 1650 г.) Глаубер[1] выдвинул гипотезу, что «селитра является основой роста» (т. е. главным фактором урожайности), причем Глаубер основывается на опытах, а не на одних рассуждениях. Получив селитру из земли, взятой из-под навеса для скота, он заключил, что селитра образовалась за счет выделений животных, а значит ее основное начало содержится в пище животных, т. е. в растениях. Ясно, что здесь речь шла об азоте, но это слово не было еще сказано. Глаубер нашел, что прибавление селитры к почве дает сильный прирост урожая, и удобрительное действие навоза (а также перьев, волоса, рога) он связал с образованием селитры. Но взгляды Глаубера, как в свое время и взгляды Палисси, не оказали влияния на земледелие, они не были оценены по достоинству и противопоставлены неопределенным рассуждениям «о жире» почвы и теплоте навоза как о побудителях роста растения.

Но все же постепенно стремление опытным путем решить основные вопросы питания растений все чаще проявляется, и через 40 лет после Глаубера Вудворд (1699) в Англии занялся проверкой вывода ван-Гельмонта и попробовал не давать растению ничего, кроме воды; он показал, что мята развивается лучше, если ее выращивать в речной воде, чем в дождевой, а еще лучше был рост, если в воде взбалтывалось некоторое количество садовой почвы.

Вудворд приводит следующие цифровые данные для своего опыта:

Прирост веса растений за 77 дней составлял (в гранах):

Дождевая вода	17
Водопровод Гайд-парка . . .	139
То же, с прибавкой земли . . .	284

Таким образом Вудворд опроверг взгляд ван-Гельмонта и пришел к выводу, что одной воды для развития растений недостаточно, что почва содержит нечто, способствующее росту растения (это было давно известно сельским хозяевам из повседневного опыта).

Однако на континете опыт Вудворда, видимо, остался неизвестным, так как во Франции Дюгамель в 1758 г. описал удачные опыты выращивания растений в воде, но он брал воду из реки Сены (в которую, конечно, попадали городские отбросы), не вводя контрольных сосудов с дождевой водой, как это делал Вудворд, а потому пришел, как и ван-Гельмонт, к выводам, противоречащим с.-х. практике.

Весь вопрос заключался в выяснении того, что же дает почва растению; в этом отношении господствовало представление об органическом веществе почвы, как имеющем наибольшее значение, но тогдашние обозначения этого вещества (тук, или «жир» почвы) наталкивали мысль на неправильный путь. Выражаясь современным языком, можно сказать, что искали разгадки плодородия почвы в безазотистых и беззольных веществах, видели в почве источник углерода, игнорируя мысли Палисси о значении зольных веществ и опыты Глаубера, справедливо видевшего в органическом веществе источник для образования селитры. Туманность постановки вопросов в то время усиливалась еще благодаря представлению о возможности превращения одних элементов в другие в самом растении; так, например, из того факта, что «растительная щелочь» (поташ) отличается от «минеральной щелочи» (натр), заключили, что растение само создает ту щелочь, какая ему нужна.

Так в 1766 г. упсальский профессор Валлериус (Vallerius), автор сочинения «Fundamenta agriculturae chemica», утверждал, что зольные части растений, полученные им при химическом анализе, не тождественны с теми, которые содержит почва, и что они приготовляются растением из воды и воздуха. «Жирной» субстанции гумуса Vallerius придает главное значение и ею объясняет действие на почву навоза и всякого перегноя. Солям почвы (в частности селитре) он приписывает лишь значение растворителей «жира» почвы[2].

Но среди господствовавших тогда воззрений от времени до времени проскальзывали иные взгляды, напоминающие учение Палисси о зольных веществах как наиболее важных для растения составных частях почвы; так Рюккерт (Rückert) писал в 1789 г.: «Различные земли (Erdarten) нужны для питания растений сами по себе (materiell). Каждое растение требует особого состава почвы, на которой оно удается всего лучше. Отсюда происходит, что некоторые растения при многолетней культуре без перерыва очень истощают поле и более на нем не родятся, тогда как другие, требующие меньше потребленной первыми составной части, все еще удаются на том же поле. Так как абсолютное количество и отношение

[1] I. R. Glauber. Des Deutschlands Wohlfahrt, 1656. 3-я глава носит название: «De concentratione Vegetabilium». Основное положение сформулировано так: «Sal et nitrum est unica vegetatio, generatio omnium vegetabilium, animalium, mineralium» или в приблизительном переводе: «соль и азотная кислота (может быть, соли азотной кислоты) являются единственным началом роста, порождающим все растительное, животное и минеральное». Наше слово «селитра» есть испорченное латинское sal nitri (соль азотной кислоты), или sel (французское) nitri, в испанском salitra, т. е. в скрытой форме в термине «селитра» содержится указание на участие азотной кислоты в ее образовании.

[2] Исходя из положения, что nutritio non fieri potest a rebus heterogeneis, sed homogeneis, Валлериус заключил, что только органические вещества почвы являются питательными для растений (nutritiva), другие же составные части почвы играют роль вспомогательных (instrumentalia); так, по его мнению, мел (а может быть и соль) может способствовать растворению жирных веществ гумуса.

различных земель в почве и в урожае можно определить, то можно рассчитать, когда данное поле будет истощено. Однако можно устранить это истощение с помощью такого удобрения, которое содержит преимущественно недостающее вещество (Erdart). Поэтому разные растения требуют разных удобрений» и т. д.

Эта теория истощения, столь близкая к либиховской (включая закон минимума), создана была Рюккертом еще в эпоху господства учения о флогистоне; но хотя автор исследовал состав золы 42 растений, методика анализа почвы и растения, применявшаяся Рюккертом, была недостаточно совершенна для того, чтобы его аргументы могли быть убедительными для современников.

В Англии, которая в то время шла впереди Германии, мы находим случай еще более определенного признания роли не только зольных веществ вообще, но попытки выяснить роль отдельных элементов экспериментальным путем. Так, в 1795 г. Дендональд (Dundonald) доказывал необходимость для растения фосфорнокислых солей, а еще раньше (1756) Гом (Home) на основании опытов в сосудах пришел к выводу о необходимости солей калия для успешного развития растения; вот цифры этого своеобразного вегетационного опыта, приводимые Ресселем (число колосьев ячменя):

	Без удобрения	Селитра	Калийная соль	Оливковое масло	Плоть, нашатырный спирт и оливковое масло
Бедная почва	10	1	—	—	16
Более богатая почва . . .	17	15	20	9	—

«Но,—замечает Рессель в своем историческом очерке[1],—эти довольно ясные результаты опутывались таким лабиринтом неточных и сбивчивых объяснений, что никакой сельский хозяин не мог уловить их значения, да и не было оснований, побуждающих к выделению их из массы сложных положений».

Верные представления о роли минеральных солей почвы в деле питания растений, проскальзывая в отдельных работах конца XVIII века, затем снова теряются; даже в 1800 г. на вопрос, предложенный Берлинской академией, о происхождении зольных частей растений получился известный ответ в сочинении Шрадера, что растения якобы сами производят свои зольные вещества посредством жизненного процесса, а поэтому не нуждаются в доставлении их извне[2].

Но если в течение XVIII века не было выработано прочных знаний об источниках и значении минеральных солей в растении и о роли почвы, зато с полной точностью и очевидностью (казалось бы) решен был вопрос о роли атмосферы и об источнике углерода растений.

Именно к XVIII веку относятся работы Лавуазье, который положил основание современной методике в химии. Установив состав воздуха (1775 г.), он вскрыл сущность процессов окисления, горения и дыхания; сделав весы необходимой частью лаборатории и введя количественный учет в изучение химических превращений, Лавуазье установил закон сохранения вещества при всех его превращениях. Лавуазье, погибший во время французской революции, оставил начатую рукопись, которая была найдена и напечатана Дюма только в 1860 г.; из этой рукописи видно, что Лавуазье незадолго до смерти (1794 г.) обратил внимание на вопросы питания растений и животных; в предисловии находятся следующие замечательные строки: «Растения почерпают материалы, необходимые для своей организации, в воздухе, который их окружает, в воде, вообще в *минеральном царстве*.

«Животные питаются или растениями или другими животными, которые в свою очередь питались растениями, так что вещества, из которых они состоят, в конце концов всегда почерпнуты из воздуха или из минерального царства».

«Наконец, брожение, гниение и горение постоянно возвращают атмосфере и минеральному царству те элементы, которые растения и животные из него

[1] Рессель. Питание растений и урожайность. 1930, стр. 9.

[2] Шрадер нашел в проростах в 4 раза больше золы, чем в семенах; причиной была нечистота воды и той среды, в которой проращивались растения (серный цвет).

заимствовали»[1]. После Лавуазье новая методика химического исследования могла быть применена и изучению обмена веществ между растениями и окружающей средой, что сказалось уже на работах, современных Лавуазье (начатых Пристлеем, продолженных Ингенгузом, Сенебье), а в особенности на позднейших работах Соссюра.

В 1772 г. Пристлей заметил, что растения способны в некоторых условиях исправлять воздух, испорченный животными. Свое наблюдение над исправлением воздуха растениями Пристлей сделал раньше, чем открыл кислород; когда же позднее он, умея уже определить кислород, хотел повторить свой опыт, то не сумел подтвердить первых результатов, так как не знал, что только зеленые растения и только на свету выделяют кислород. Поэтому Пристлей не мог ничего противопоставить утверждению Шееле, что растения, так же как и животные, портят воздух своим дыханием.

Только Ингенгуз (1779 г.) разъяснил причины этих противоречий, доказав, что Пристлей упустил из виду связь, существующую между выделением зеленым листом кислорода и светом. Сенебье показал, что необходимым условием выделения кислорода является присутствие углекислоты в окружающем воздухе и что эта углекислота является источником углерода растений; таким образом выяснилось, что «исправление воздуха» растениями есть процесс питания, а не дыхания, и что прирост веса дерева в известном опыте ван-Гельмонта зависел от участия воздуха (углекислоты) в питании растений. Отсюда Сенебье пришел к заключению, что в удобрениях присутствие перегноя важно не потому, что он служит пищей растению, а потому, что он способен приходить в брожение и развивать углекислоту; он полагал, что корни воспринимают эту углекислоту почвенного раствора и приводят ее к листьям, где она под влиянием света разлагается, отдавая углерод тканям, а кислород выделяя в воздух. Что касается воззрения Сенебье на зольные части, то он полагал, что они увлекаются механически с водой, поступающей в растение, поэтому скептически относился к употреблению минеральных удобрений.

Продолжателем работ Сенебье явился Соссюр. Помимо ряда точных работ по ассимиляции углерода и дыханию, он первый подверг обстоятельному анализу золу растений и пришел к выводу, что минеральные вещества не случайно проникают в организм. «Малое содержание солей не служит доказательством их бесполезности,—говорит Соссюр.—Фосфорнокислая известь, содержащаяся в животном организме, не составляет, быть может, 5% его веса; никто не сомневается однако, что эта соль необходима для образования костей. Я нашел ее в золе всех растений, какие только исследовал, и нет ни малейшего повода утверждать, что они могут обойтись без нее»[2].

Кроме анализов золы, Соссюр поставил опыты для проверки утверждения Шрадера, причем он применил в качестве беззольной среды дистиллированную воду и показал, что растения, выращенные без доставления минеральных веществ извне, содержат их ровно столько, сколько их было в семенах.

Соссюр видел в атмосфере главный источник углерода растений, а в почве—источник зольных веществ, и в этом отношении он говорил почти то же самое, что Либих, который впоследствии использовал те же данные анализов Соссюра для развития и распространения среди широких кругов минеральной теории питания растений. Но в свое время Соссюр не был замечен и достаточно оценен современниками; особенно в Германии он остался неизвестным для с.-х. деятелей того времени.

Теперь может казаться странным, как можно было говорить об усвоении углерода из перегноя после того, как Сенебье и Соссюр так ясно показали, что углерод берется из углекислоты атмосферы, но дело в том, что не было данных и для того, чтобы сказать, что *только* одного углерода атмосферы достаточно для обеспечения нормальных урожаев растений углеродом; ежедневный опыт сельских хозяев показывал к тому же, что существует какая-то связь между урожайностью почвы и количеством органических веществ, вносимых в нее или остающихся в ней в виде урожайных остатков (а содержание азота в этих остатках долго не останавливало на себе внимания).

Соссюр, указывая на значение перегноя для плодородия, между прочим отмечает, что перегной содержит те же самые зольные вещества, какие встре-

[1] См. Grandeau. Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture, p. 39, 40.

Если бы этот труд Лавуазье был закончен, то минеральная теория питания растений была бы признана на 50 лет раньше. Либиху не пришлось бы тратить силы на борьбу с гумусовой теорией, которая достигла наибольшего расцвета как раз после того, как рукою Лавуазье написаны были приведенные выше строки; но они остались неизвестными современникам, и подвела блужданий легло между Лавуазье и Либихом.

[2] Saussure. Recherches chimiques sur la vegetation. Paris, 1804, стр. 26.

чаются в растении; это несколько напоминает позднейшую органо-минеральную теорию Грандо, который пытался приписать гумусу роль передаточной инстанции для минеральных веществ, поступающих в растение.

Но другие шли дальше Соссюра в этом направлении и прямо говорили об органическом веществе почвы как источнике углерода, не считаясь со всем тем, что было сделано Лавуазье и Соссюром; так, например, известный английский химик Дэви писал в 1813 г.: «Растворы веществ слизистых, клеевых, сахаристых, маслянистых, экстрактивных, а также и растворы углекислоты в воде содержат, так сказать, все начала, необходимые для жизни растений»[1]. Дэви говорил, например, о золе, что она может быть хорошим удобрением, так как содержит много угля, и даже пытался узнать, не поступает ли в корни растений непосредственно тонкий измельченный уголь, а получив отрицательный ответ на опыте, он объяснил, что углерод может поступать в корни только в растворимых соединениях. Удобрительное действие углекислого аммиака Дэви также объясняет тем, что это вещество содержит в себе 4 органогена. Соли он считал необходимыми постольку, поскольку они сообщают организму большую крепость («подобно веществу костей в теле животных») и способность противостоять паразитам. Такими же сторонниками питания растений гумусом были в Италии Гадзери (Gazzeri), во Франции Шанталь (Chaptal).

Но более всех популярности этой неверной теории питания растений невольно способствовал Тэер (1752—1828), так много поработавший в деле преобразования сельского хозяйства в Германии. Тогда (свыше 100 лет назад) Германия переживала переходную стадию,—это был период упразднения трехполья и перехода к плодосменному хозяйству с возделыванием клевера и корнеплодов на полях, с улучшенными приемами в области животноводства и пр. Тэер немало способствовал введению улучшенных приемов культуры как своими сочинениями, так и собственной деятельностью. Именно Тэер был основателем первой на земном шаре высшей с.-х. школы, которая была им создана (1806) не в научном центре, а в имении (Меглин), что было характерно и для других с.-х. академий долибиховского периода и стало впоследствии предметом резкой критики со стороны Либиха.

Воззрения Тэера благодаря его широкой деятельности и авторитету, которым он пользовался среди сельских хозяев, приобрели широкое распространение, а так как Тэер держался гумусовой теории питания растений, то ее усваивали и его многочисленные читатели. В сущности же Тэер, который всегда настаивал на важности естественно-научных основ сельского хозяйства, сам не был исследователем-экспериментатором, он обосновывал свои взгляды по питанию растений на имевшихся в то время чужих исследованиях; хотя работы Сенебье ему были известны, но на пути к правильной их оценке стали опыты некоего Гассенфратца (Hassenfratz), который, определяя углерод в семенах и в полученных из них в водной культуре ростках, всегда наблюдал убыль углерода[2]; отсюда сделали вывод, что без доставления перегноя корням растение все-таки не может обеспечить себя углеродом; с этим ставились в связь факты, свидетельствовавшие о полезности органического вещества почвы, сами по себе верно наблюденные, но неверно объясненные (упускали из виду значение азота гумуса и ошибочно искали объяснения в области питания углеродом).

Раз приняв гумусовую теорию питания, Тэер систематически проводил ее, выражаясь о гумусе, например, так: «Плодородие почвы зависит собственно целиком от него, так как, кроме воды, он представляет единственное вещество почвы, могущее служить пищей растениям». На этой же теории строилось учение об истощении и возмещении плодородия почвы и о севооборотах; предполагалось, что чем больше питательных веществ содержит растение, тем больше

[1] Цитировано по французскому переводу «Elements de chimie agricole par H. Davy», т. II, стр. 6.

[2] Причина была в недостаточном освещении и в незнании того, какие вещества нужно дать растению в водном растворе, чтобы ассимиляция шла энергично.

оно и поглощает гумуса; например, пшеница требует больше гумуса, чем рожь. Но гумус, дающий начало жизни, одновременно является и результатом ее; если растение сгнивает на том же месте, где выросло, то количество гумуса увеличивается, так как во время жизни оно усвоило и превратило в гумус другие, более простые вещества. Поэтому некоторые растения, отличающиеся энергией ассимиляции, могут оставлять почве больше органического вещества, чем брать из нее: такие растения не истощают, а улучшают почву (клевер). Минеральным веществам почвы отводилась роль косвенная: они по этой теории ускоряли процессы разложения в почве и переводили гумус в форму удобоусвояемую.

Часто Тэеру приписывают исключительную роль в поддержании гумусовой теории; но не следует забывать, что такие выдающиеся химики, как Дэви и Берцелиус, придавали значение усвоению углерода через корни, а среди немецких ботаников гумусовая теория еще в тридцатых годах пользовалась популярностью[1]. В сущности во взглядах этих авторов наблюдается известного рода дуализм; признавая вместе с Сенебье и Соссюром ассимиляцию углерода из углекислоты воздуха, они наряду с этим допускают усвоение его из перегноя, причем центр тяжести в разных случаях у них перемещается то в сторону одного, то в сторону другого процесса.

Однако некоторые крупные ученые того времени не разделяли взглядов Тэера и других последователей гумусовой теории. В особенности же в числе этих авторов следует упомянуть Буссенго[2] (Boussingault) во Франции и Шпренгеля (Sprengel) в Германии.

Буссенго, впоследствии столь известный своими классическими работами по ассимиляции углерода и азота растениями, с 1837 г. ставил свои первые опыты в песчаных культурах, причем в прокаленный песок вводил некоторые количества золы, но не вводил никакого органического вещества; значит Буссенго и до Либиха не держался гумусовой теории; для него было ясно, откуда растения берут углерод (азот в этом опыте не вводился, чтобы испытать отношение растений к свободному азоту воздуха). Кроме того, Буссенго, который по праву может считаться основателем первой на земном шаре агрохимической опытной станции, с 1834 г. предпринял количественный учет прихода и расхода отдельных элементов за целый севооборот (изучалось 5 севооборотов), причем было установлено, что углерода в урожаях уносится гораздо больше, чем вносится в почву в виде навоза, а зольных веществ при этом уносилось меньше. О значении этих опытов для решения вопроса об азоте будет речь ниже; здесь нам было важно отметить, что не с 1840 г., а с 1834 г. началось систематическое изучение круговорота веществ в земледелии путем химического анализа всех урожаев, с одной стороны, и всех вносимых удобрений—с другой.

Кроме заключений, которые мы можем вывести из постановки экспериментальных работ Буссенго, мы находим у него и прямую критику воззрений Тэера; так, он писал в 1838 г.: «Я замечу лишь, что этот метод (тэеровская статика) основан на принципе, подлежащем оспариванию, а именно, что истощение почвы пропорционально количеству питательных веществ[3] в урожае; в действительности, допустить принцип, принятый этим знаменитым автором, значит молчаливо признать, что все органическое вещество происходит из почвы. Почва, несомненно, способствует в известной степени развитию растений, но известно также, что воздух наравне с почвой участвует в этом».

«Тэер принимает, что удобрения, наиболее действующие, сообщающие почве наибольшее плодородие,—это те, которые содержат больше всего веществ анимализированных. С другой стороны, я показал в моей первой статье о кормовых веществах, что наиболее питательные те из них, которые богаче других азотом. Сопоставляя эти два результата, найдем, что культуры, берущие из

[1] См. Sachs, Geschichte der Botanik.
[2] Подробнее о работах Буссенго см. ниже, стр. 48—51.
[3] Здесь имеется в виду питательность для животного организма.

почвы больше всего азота, ее наиболее истощают. Сказанное делает вероятным, что истощающее действие направляется преимущественно на азотистое вещество, составляющее часть питательных соков (почвы), и что для восстановления в почве той степени плодородия, которой она обладала до посева, следует внести с навозом эквивалентное количество азотистых веществ». Таким образом, вместо гумусовой (*углеродной*) теории Буссенго выдвинул *азотную* теорию удобрений.

В Германии из ближайших предшественников Либиха наибольшего внимания заслуживает Шпренгель[1]. Насколько Шпренгель в своих воззрениях приближался к тому, что позднее было высказано Либихом, можно видеть из следующих примеров.

«Растения из неорганических веществ, получаемых ими из почвы и воздуха, образуют тела органические с помощью света, тепла, электричества и влаги»,—читаем мы на 48-й странице его «Учения об удобрении». Ему известно было, например, и то, что некоторые минеральные вещества необходимы для образования белковых тел в растении; так, он говорит о постоянном присутствии фосфора в клейковине, проводит параллель с животными, у которых мозг постоянно содержит фосфор.

Считая соли необходимыми для жизни растений и зная их происхождение из почвы, Шпренгель естественно пришел к объяснению падения урожаев при непрерывной культуре и к необходимости возврата минеральных веществ почве. «Воздух остается всегда одинаковым по своему составу, но нельзя того же сказать о почве; поэтому необходимо возмещение утраченного ею, причем всегда нужно обращать больше внимания на так называемые минеральные вещества, чем на кислород, углерод и водород, так как эти последние растение находит в воздухе; что же касается азота, то он должен быть также внесен в связанной форме, так как большинство растений не имеет способности притягивать достаточно азота листьями из воздуха». Говоря об отдельных удобрительных веществах, Шпренгель всегда руководится их химическим составом, причем особенное внимание обращено на те питательные вещества, которых мало в почве. Таким образом мы видим у Шпренгеля то самое учение о значении минеральных веществ и необходимости возврата их, которое обыкновенно считается всецело принадлежащим Либиху.

Шпренгель ясно сознавал оригинальность своих воззрений: он говорил о «своей» теории питания, «которая основана не только на многих наблюдениях и размышлениях, но, что я считаю более решающим, также на многих и очень многих сравнительных опытах».

Лишь в одном пункте Шпренгель сходится с гумусовой теорией и расходится с Либихом: он, считая главным источником углерода в растениях углекислоту воздуха, не отрицает все же одновременного использования перегноя почвы корнями, но у него не было ни одного факта, который позволял бы ему отрицать это.

ВЗГЛЯДЫ ЛИБИХА НА ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

В широких кругах учение Тэера господствовало до сороковых годов, когда последовал радикальный поворот во взглядах на значение перегноя и минеральных веществ почвы в питании растений, главным образом под влиянием знаменитой книги Либиха[2] «Химия в приложении к земледелию и физиологии», год выхода которой (1840) считается годом падения гумусовой теории.

Эта книга Либиха произвела огромное впечатление не только в ученом мире, но и в массе сельских хозяев. Она была написана в популярной форме, выделялась по блеску изложения, резкости критики и смелости выводов, а потому в отличие от работ Буссенго, доступных только читателям специальных журналов, и от лекций Шпренгеля, известных только в университетских кругах, привлекла всеобщее внимание к вопросу о минеральном питании растений и имела большой успех.

Рессель так рисует обстоятельства, при которых появилась книга Либиха:

«В течение этого периода (1830—1840 гг.) никаких особенно важных открытий не было сделано, не происходило никаких особенных споров и разногласий, и данный предмет (агрономическая химия) не возбуждал ни в ком особенного интереса».

[1] Шпренгель опубликовал свои взгляды на питание растений в сочинениях: «Die Bodenkunde» (1837), «Die Lehre von den Urbarmachungen» (1838), «Die Lehre von Dünger» (1839), Leipzig.
[2] Юстус Либих (Justus Liebig) родился в Дармштадте (Германия) в 1803 г. Химию и физику Либих изучал в Париже у Гей-Люссака, Дюлонга, Лапласа и др.; 21 года он занимает кафедру химии Гиссенского университета. За 28 лет работы в университете Либихом опубликован ряд важных работ по неорганической и органической химии.

«Но все это изменилось в 1840 г., когда подобно удару грома разразился над ученым миром знаменитый доклад Либиха Британской ассоциации о положении органической химии, опубликованный впоследствии под названием «Химия в ее применении к земледелию и физиологии». В форме утонченной сатиры и с тонким сарказмом высмеивает он физиологов своего времени, которые вопреки накопившимся очевидным данным продолжают придерживаться взгляда, будто растения берут углерод из почвы, а не из углекислоты, содержащейся в воздухе.

Юмор Либиха сделал то, чего не могла сделать логика Соссюра и Буссенго. Либих окончательно разбил теорию о перегное. Только самые смелые решились бы после этого утверждать, что растения берут нужный им углерод не из углекислоты, а из другого источника»[1].

Либих критиковал гумусовую теорию, взяв ее в крайних ее проявлениях, доводя до абсурда. Аргументация его была приблизительно такова. Если растение заимствует углерод из перегноя, то этот последний должен быть предварительно растворен в воде. Допустим, что все количество воды, выпадающей с осадками, поступает в растение, не тратясь на прямое испарение с поверхности почвы, не стекая с полей и не просачиваясь вглубь, за предел влияния корней; оказывается, что всей этой воды далеко нехватает, чтобы растворить количество перегноя, необходимое для пополнения потребности растений в углероде при среднем урожае[2]. Следовательно, углерод должен поступать из атмосферы. Далее, так как самый перегной есть результат разложения растительных остатков, то *сначала должны были появиться растения и потом лишь перегной*, а стало быть первые растения заимствовали углерод только из воздуха. Следовательно, перегной почвы не необходим для развития растений. Идя дальше, Либих отверг совершенно самую возможность усвоения органических веществ корнями, поставив в основе учения о питании растений (а следовательно, и учения об удобрении) положение, что только *неорганическая природа доставляет растениям их первоначальную пищу*.

На долю перегноя Либих оставил только одну роль—постоянного источника углекислоты в почве; она ускоряет процесс выветривания силикатов и подготовляет минеральную пищу растениям.

Естественным продолжением взглядов Либиха на питание растений явились его теории удобрения и истощения почвы при однообразной культуре, его объяснение значения севооборота.

Тэер и его последователи считали существенным условием поддержания плодородия почвы накопление и сбережение в ней гумуса, сообразно чему и растения группировали на *обогащающие* и *истощающие* почву, смотря по количеству корневых остатков, ими оставляемых, с одной стороны, и количеству органического вещества, уносимого в урожаях,—с другой. Необходимость севооборота вытекала из стремления уравновесить предполагаемый расход органических веществ с его приходом в почве.

Либих подверг критике самое понятие *об обогащающих* почву растениях; раз растения берут из почвы только минеральные вещества, необходимые для их развития, то каждый урожай уносит нечто из почвы, обедняет ее, и ни одно растение не может обогащать почву элементами пищи для других растений, а может только ее истощать. Но истощение это производится разными растениями в разных направлениях; одни берут преимущественно известь (например, горох), другие берут много калия, третьи—преимущественно кремнекислоту[3] (хлеба); значит чередованием культур мы только замедляем ход истощения почвы, более равномерно используем существующий в ней запас питательных

[1] Р е с с е л ь. Почвенные условия и рост растений. 1931, стр. 17.

[2] Заметим, что даже и Тэер прямо не утверждал, что углерод заимствуется *исключительно* из перегноя.

[3] Высокое содержание кремнекислоты в соломе злаковых дало повод Либиху первоначально считать и это вещество необходимым в большом количестве для развития растений.

веществ; но рано или поздно истощение наступит, если мы не будем правильно возвращать почве того, что из нее взято.

На необходимости возврата минеральных веществ почве (указанной ранее Паллиси, Ркиг-ертом, Шпренгелем) Либих настаивал с громадной энергией и несоблюдению его приписывал большое историческое значение. «Причина возникновения и падения наций лежит в одном и том же. Расхищение плодородия почвы обусловливает их гибель, поддержание этого плодородия—их жизнь, богатство и могущество». Как на пример Либих указывал на судьбу Греции и Рима, пришедших к упадку экономическому и нравственному благодаря незнанию законов природы[1].

Той же судьбой грозил он и современному хозяйству, если оно во-время не прекратит расхищения питательных веществ почвы, которое происходит, как указывал Либих, прежде всего в следующем направлении. Большая часть хозяйств продает в город зерно и другие продукты, увозя вместе с ними те вещества, которые взяты были из почвы для их образования; возвращаются в навозе лишь вещества, входящие в состав соломы и сена, идущих на корм и подстилку животным. Следовательно, *поля при исключительно навозном удобрении ежегодно недополучают часть того, что отдают растению*; а так как есть разница в составе зерна и соломы, то не всеми питательными веществами почва будет обедниться в равной степени: прежде всего почувствуется недостаток в *фосфорной кислоте*, которой много содержится в зернах и менее в соломе (для калия распределение обратное).

Настояния Либиха на необходимости вносить фосфаты, так как в зерновом хозяйстве именно фосфорная кислота должна попадать в положение минимального фактора, нашли полное подтверждение впоследствии в факте преобладания фосфатов над всеми другими видами минеральных удобрений, применяемых на земном шаре. Кроме этого общего указания, Либих дал непосредственный толчок развитию суперфосфатной промышленности, именно он обратил внимание на кости как на материал, подходящий по высокому проценту фосфорной кислоты для возвращения почве взятого из нее фосфора. А так как кости содержат трудно растворимый трехкальциевый фосфат, то Либих предложил их обрабатывать таким количеством серной кислоты, чтобы получать растворимый (однокальциевый) фосфат[2]; это дало толчок развитию суперфосфатной промышленности, которая приняла более крупные размеры, когда, кроме костей, стали по тому же типу разлагать серной кислотой фосфориты; начало этому положил Лоос в Англии (1843).

Требование возвращения почве взятых из нее минеральных веществ Либих предъявляет с особенной настойчивостью по отношению к тем веществам, которыми поля истощены особенно сильно. Внесение всех прочих веществ будет бесполезно, пока не окажутся устраненными первые резкие минимумы.

Это правило об особенном значении тех веществ, которых наиболее нехватает для нормального развития растения, стало известным под названием либиховского «закона минимума». Следует, однако, заметить, что в основном своем сочинении (1840) Либих вовсе не употребляет выражения «закон мини-

[1] Эта упрощенная трактовка Либихом исторических процессов, конечно, неверна. В то же время она может служить примером общего характера выступлений Либиха, привлекавших внимание широтой обобщений, хотя и не всегда достаточно обоснованных.

[2] Отдельные попытки разлагать кости серной кислотой делались и до Либиха, хотя и без ясной установки на получение именно однокальциевого фосфата; так, Стоклаза сообщает, что на химическом заводе Рихтера в Збраславе под Прагой с 1832 г. готовился продукт разложения костей серной кислотой (неясно, велось ли разложение до моно- или дикальциевого фосфата). Точно так же Лоос в Англии вел разложение костей кислотой в 1839 г., он же ставил полевые опыты, показавшие, что действие костей существенно повышается от обработки серной кислотой.

Как правильно отмечает Сакс в своей истории ботаники, «Либих не только в этом, но и во многих других, важных для своей теории пунктах мог опираться на давно известные факты, но ему достаточно было осветить их лучами своего химического знания, чтобы на место до сих пор господствующей темноты наступило внезапное прояснение» (S a c h s, Geschichte der Botanik, 569).

мума» и не дает ему никакой математической формулировки. Также и в последующем выступлении («50 теаисов», 1855) он прибегает к описательному изложению, из которого видно, что самое положение о доминирующем значении элементов, находящихся в минимуме, понималось им как относительное, что можно видеть из такой фразы: «Элемент, полностью отсутствующий или не находящийся в нужном количестве, препятствует прочим питательным соединениям произвести их эффект или, по крайней мере, уменьшает их питательное действие»[1].

Значительная часть критических замечаний, которые направляются против «закона минимума», должна быть отнесена по существу к возникшим позднее формулировкам и схемам, которые представляли попытки или упрощенного наглядного изображения «закона минимума» или же уточнения и придания ему математического выражения. В понимании же Либиха закон минимума является следствием незаменимости элементов пищи растения друг другом, а незаменимость калия фосфорной кислотой или известью теперь никем не подвергается сомнению.

Приведенные положения Либиха, подтвержденные всем последующим, нельзя ставить в связь с давно опровергнутым действительностью учением Мальтуса об ограниченности средств продовольствия и с несуществующим «законом убывающего плодородия», тогда как на деле плодородие убывает только при хищническом хозяйстве, с которым боролся Либих; как раз указания Либиха послужили основой не только для поддержания плодородия на прежнем уровне (о чем заботился прежде всего Либих), но затем было достигнуто нечто гораздо большее: урожаи с помощью минеральных удобрений оказалось возможным поднять до высоты, неизвестной во времена Тэера и Либиха, так что можно скорее говорить о законе возрастающего плодородия и не в идее только, а на основании прямых статистических данных.

Несмотря на то, что после Либиха наука и практика внесли существенные поправки в его учение о возврате взятых растениями из почвы веществ для сохранения плодородия почвы, все же нельзя не придавать ему большого значения, ибо здесь мы находим впервые четко высказанную идею о сознательном регулировании обмена веществ между человеком и природой. «Учение о необходимости возврата», говорил по этому поводу К. А. Тимирязев, представляет, «как бы ни пытались ограничить его значение, одно из величайших приобретений науки»[2].

О том, какое значение этому обмену веществ придавал К. Маркс, можно видеть из следующих слов: «Капиталистическое производство, постоянно увеличивая перевес городского населения, которое оно сосредоточивает в крупных центрах, накопляет тем самым, с одной стороны, силу исторического движения общества, а с другой стороны, оно препятствует обмену веществ между человеком и землей, т. е. возвращению почве ее составных частей, использованных человеком в форме средств питания и одежды, т. е. нарушает вечное естественное условие постоянного плодородия почвы»[3]. В связи с этим, несомненно, находится и та оценка работы Либиха, которая дана Марксом в таких словах: «Выяснение отрицательной стороны современного земледелия, с точки зрения естествознания, представляет одну из бессмертных заслуг Либиха»[4].

В книге Либиха мы находим ряд примеров весьма интересных определений, заставляющих удивляться той широте его взглядов, которая только теперь может быть оценена по достоинству. Так, например, он говорил, что «всякая почва лишь в том случае может считаться вполне плодородной для того или иного вида растения, скажем для пшеницы, если каждая из частиц ее, соприкасающихся с корнями, содержит все необходимые питательные вещества

[1] То обстоятельство, что в других местах Либих выражался более резко, вовсе не дает оснований считать приведенную здесь фразу случайной.
[2] К. А. Тимирязев. Земледелие и физиология растений, 1936, стр. 53.
[3] «Капитал», т. I, стр. 420, Партиздат, 1936 г.
[4] Там же, стр. 420.

и притом в такой форме, которая позволяет корням усваивать эти вещества на любом этапе развития растения, в должное время и в надлежащем их взаимном соотношении»[1]. Мы видим здесь идею о разных формах питательных веществ в почве (усвояемых и неусвояемых для растений), о значении условий питания и соотношении между питательными веществами в зависимости от «этапов развития» растений. Либих отмечает в своей книге также большое значение явлений поглощения в почве[2].

Действительное значение многих вопросов, поднятых Либихом, было установлено лишь много позднее.

Нередко Либиху приписывают узкий подход к оценке плодородия почвы, сводимой будто бы только к питательному режиму. На самом деле это не так: Либих, наоборот, подчеркивал многообразие совокупности факторов, влияющих на урожай, и говорил, например, так: «Когда сельские хозяева обменивались добрыми советами или предлагали друг другу те или иные хозяйственные улучшения, или не принимались во внимание такие важные моменты, как географическая широта расположения данной местности или страны, высота ее положения над уровнем моря, годовое количество осадков, распределение их по отдельным временам года, средние температуры весны, лета и осени, высшие и низшие температуры за каждое время года и, наконец, физические, химические и геологические свойства почвы»[3]. Само собою разумеется, что Либиха нельзя упрекать (как это иногда делают), что он в своей книге не считался с биологическими процессами, происходящими в почве,—ведь только через 35—40 лет после появления книги Либиха было установлено, что образование нитратов в почве связано с жизнедеятельностью бактерий, а биологическая природа других процессов была установлена еще позднее.

Положив в основу своей книги идею о минеральном питании растений, выдвинутую им взамен господствовавшей до того гумусовой теории, Либих оказал крупную услугу агрономии, дав стимул к развитию дела исследования в новом направлении. Но от высказанной идеи до ее проведения в жизнь нужно было пройти через длительный путь эксперимента, сам же Либих к экспериментированию с растениями не был склонен[4] (не говоря о том, что методика такого экспериментирования не была разработана). Либих шел преимущественно дедуктивным путем, исходя из данных анализа растений и общих соображений о круговороте веществ в земледелии, в отличие от своего французского современника Буссенго, который всегда рекомендовал «спросить мнение самого растения». При этом нередко Либих слишком спешил в переходах от общих положений к практическим указаниям и, увлекаясь полемикой, нередко допускал слишком односторонние формулировки по отдельным вопросам удобрения.

К последней категории относится *вопрос об азоте*, освещенный Либихом неверно за отсутствием в то время необходимого для его решения фактического материала. Именно Либих не придавал азоту вообще особого значения в деле удобрения, так как, зная, что воздух содержит в небольших количествах азот и в виде аммиака и в форме окисленной, решил, что почва достаточно получает азота с осадками, чтобы удовлетворить потребность культурных растений.

[1] «Химия в приложении к земледелию», стр. 290, 1936 г.
[2] См. ниже, примечание на стр. 113.
[3] «Химия в приложении к земледелию», стр. 50, 1936 г.
[4] Это не значит, что Либих вообще не был экспериментатором, наоборот, он был создателем одной из первых образцовых химических лабораторий в Германии (в Гиссене). Главные работы Либиха относятся к области органической (и аналитической) химии: им был усовершенствован метод анализа органических соединений и экспериментально исследовано огромное количество различных органических соединений. Через лабораторию Либиха прошло целое поколение немецких и иностранных химиков (в том числе и русских, среди которых были Н. Зинин, А. Воскресенский, П. Ильенков и др.). Либих был редактором химического журнала «Annalen der Chemie u. Pharmacie» и автором многочисленных сочинений по химии. Наши замечания о характере работ Либиха относятся, конечно, не ко всей научной деятельности Либиха, а только к тем его выступлениям, которые касаются вопросов земледелия и физиологии растений; в этой последней области Либих действительно сам не экспериментировал.

Поэтому с точки зрения Либиха в навозе ценна была лишь зольная его часть.

Это игнорирование значения азота вместе с некоторыми другими слишком поспешными выводами было причиной неудачи предложенного Либихом «патентованного удобрения», а его утверждение, что в навозе представляют ценность одни только зольные вещества, встретило возражения со стороны Буссенго, придававшего наибольшее значение азоту в вопросах истощения почв.

«Если бы Либих был прав,—говорит Буссенго,—то какими же непрактичными людьми оказались бы мы, сельские хозяева, тратящие столько труда на вывозку сотен возов навоза, когда достаточно было бы, по Либиху, вывезти всего лишь один воз золы, полученной при сжигании высушенного навоза».

В итоге можно сказать, что в то время как Буссенго противопоставил гумусовой теории Тэера *азотную теорию*, Либих все учение о питании растений базировал на вопросе о *зольных* веществах и утверждал, что ценность навоза зависит только от содержания калия, фосфора и других элементов в золе его.

На этом фоне расхождения взглядов виднейших представителей французской и немецкой агрохимии большое значение имели опыты, поставленные в Англии в 1843 г. Лоозом, основателем опытной станции в Ротамстеде, которая приобрела впоследствии мировую известность. Вот данные одного из этих опытов, поставленных для проверки утверждения Либиха:

Урожай зерна вики (в центнерах с 1 га)

Без удобрения	16,5
Навоз	21,0
Зола от навоза	16,0
Сернокислая соль и калийно-фосфатное удобрение	24,0

Этим и другими опытами было доказано, что одна зола не заменяет навоза, а азот, как правило, должен быть введен в состав удобрений наряду с зольными веществами (об особом положении бобовых будет речь ниже). Таким образом, *оказалось необходимым синтезировать тезис Буссенго о значении азота в удобрениях с либиховским положением о роли элементов золы, а не противопоставлять одно другому.*

ИССЛЕДОВАНИЯ ВИГМАНА И ПОЛЬСТОРФА, САЛЬМ-ГОРСТМАРА, КНОПА, САКСА И ДРУГИХ. МЕТОД ИСКУССТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Как уже было сказано, Либих сам с живыми растениями не экспериментировал, основываясь преимущественно на данных анализов золы[1], но его горячо написанные произведения вызвали обширную полемику и, помимо вовлечения широких кругов в обсуждение этих вопросов, имели еще то важное значение, что дали толчок по многим опытам и исследованиям.

Около того времени (1838) Геттингенский университет назначил для получения премии следующую тему: «Так называемые неорганические вещества, которые находятся в золе растений, окажутся ли в ней и тогда, когда они не были предложены растению, и представляют ли эти вещества столь существенные части растительного организма, чтобы этот последний не мог обойтись без них для своего полного развития»—вопрос, подобный тому, какой 40 лет назад предложила Берлинская академия, но ответ получился теперь иной. Премию получили в 1842 г. Вигман и Польсторф, давшие первый[2] точный опыт выращивания в бесплодной среде: высевая кресс в обрезках платиновой проволоки, помещенных в платиновом же тигле, и давая только дестиллированную

[1] При этом он использовал первые точные анализы золы, произведенные Соссюром (1804).

[2] Такой опыт ставил еще Соссюр (1804), который проращивал бобы, давая им только дестиллированную воду; он нашел в проростках только небольшой избыток золы, что он совершенно правильно объяснил тем, что стекло отдает воде часть своих составных частей. По мысли Соссюр является предшественником Вигмана и Польсторфа, но технически эти авторы провели опыт более совершенно, заменив стеклянный сосуд платиновым.

воду. Вигман и Польсторф легко могли показать, что проростки скоро останавливались в росте и содержали столько же золы, сколько семена; этим они дали ответ на первую половину вопроса, опровергнув таким образом *окончательно устаревшее утверждение Шрадера*, будто растения сами образуют зольные вещества; кроме того, они вели опыты в песке, промытом кислотой, и если к песку примешана была искусственная смесь, в которую входили все элементы золы (и азот), то получался обильный прирост; отсюда был сделан авторами такой вывод, обнимающий и вторую половину поставленного вопроса: *развитие растений задерживается и даже совершенно подавляется, если не будет ему доставлено в почве известное количество неорганических веществ в растворимом состоянии*.

Этой работе суждено было сыграть значительную роль в истории вопроса о зольном питании, так как в ней увидели *первое строгое опытное доказательство воззрения на зольные вещества как на пищу растений, доставляемую им почвой*.

Так это и принято излагать в исторических обзорах, но мы должны сказать, что с современной точки зрения работа Вигмана и Польсторфа, будучи тщательной по аналитическому выполнению, содержит крупный пробел в постановке опыта (неполнота схемы) и потому не давали им права на вторую половину вывода. Дело в том, что в их полную питательную смесь, кроме зольных составных частей, входил еще гуминовокислый аммиак, и следовательно, можно было поставить вопрос, *что же вызвало рост растений в питательной смеси: азот, перегной или зольные вещества, или все это вместе?*

Следующим этапом в расчленении вопроса должна считаться работа Сальм-Горстмара (1846), который был первым исследователем, получившим нормальные растения овса в среде, совершенно лишенной органического вещества[1] (прокаленный песок, выщелоченная и прокаленная добела зола, фосфат калия и азотнокислый аммоний).

Сальм-Горстмар показал, что доставление одних зольных веществ (без азота) еще не вызывает хорошего роста растений, также и наоборот; только дав одновременно и азот в связанной форме и элементы золы, мы можем добиться полного развития растения до плодоношения[2].

По замыслу, отразившемуся на схеме опыта, эта работа стояла выше работы Вигмана и Польсторфа, хотя аналитически она не была столь строгой, так как песок, хотя бы промытый кислотами, не является столь чистой от зольных веществ средой, как обрезки платиновой проволоки. Тем не менее результаты были достаточно ясны,—и еще один шаг вперед в расчленении вопроса был сделан.

Но еще недостаточно было решить вопрос о необходимости зольных частей вообще,—нужно было разобрать, все ли вещества, встречающиеся в растении, одинаково необходимы ему или без некоторых оно может обойтись? Это должно было и для сельских хозяев решить, что в употребляемых ими удобре-

[1] В такой среде ставил опыты Буссенго в 1837 г., но в его первых опытах не было сосудов с азотом, следовательно, не было того, что теперь называется нормальными культурами, а потому отсутствие роста без азота могло быть истолковано по-разному (опыты Буссенго с введением нитратов относятся к другому времени, именно к 1851—1853 гг.).

[2] «Journal für praktische Chemie», Bd. 37, 38, 39, 46, 52, 54. Интересно то первоначальное наблюдение, которое привлекло внимание Сальм-Горстмара к этим вопросам. На бесплодном сыпучем песке, навеянном ветром, не удавались посадки сосны даже после удобрения его золой. Были высеяны семена гречихи (и других растений), но в течение целого месяца растения оставались карликовыми. 22 июля растения были политы раствором азотнокислого аммония, эффект получился поразительный: растения вскоре окрасились в темнозеленый цвет, и начались пышный рост и цветение гречихи. После этого Сальм-Горстмар принялся за методическое изучение вопроса о значении зольных веществ, с одной стороны, и азота—с другой, результаты которого вкратце отмечены выше. Кроме песчаных культур, Сальм-Горстмар прибегал и к методу водных культур, однако не разработал его до конца (рожь у него хорошо росла в водных культурах, но зерна не давала). В самой постановке не было должного расчленения, например вводился не химически чистый мел, но природный мергель, поэтому в этих опытах не была замечена потребность растений в железе (оно заключалось в мергеле); между прочим характерно, что Сальм-Горстмар при описании одного полевого опыта говорит, что его результаты подтвердили способность клевера и неспособность злаковых усвоить азот воздуха (Bd. 37, стр. 343, 1846 г.).

ниях существенно и что представляет балласт и нет ли под рукой новых источников удобрительных веществ?

Первый проход к разрешению этого ряда вопросов мы находим в последующих работах того же Сальм-Горстмара, именно он последовательно исключал из искуственной питательной смеси тот или другой элемент золы, чтобы судить о том, нужен ли он для развития растений.

В качестве среды, совершенно свободной от зольных веществ, Сальм-Горстмар первоначально (1849) взял уголь, полученный из чистого сахара, а чтобы избежать стекла, способного отдавать в раствор некоторое количество щелочи, взяты были сосуды из олова, покрытые внутри слоем воска; впоследствии (1851) в качестве среды служил кварц (толченый горный хрусталь), а сосуды целиком готовились из белого воска, свободного от примесей зольных веществ.

Идя методом исключения, Сальм-Горстмар мог заметить необходимость, кроме азота, давать растениям соединения серной и фосфорной кислот, а из оснований—калий, кальций, магний и железо, но для кремнекислоты, натрия, марганца и хлора не получилось определенного ответа вследствие того, что побочные влияния, не учтенные экспериментатором, оказывали подавляющее действие на развитие растений; так, основания давались часто в виде углекислых и кремнекислых солей, что создавало щелочную реакцию среды; соотношения в количестве питательных веществ не были выдержаны (например, иногда азота давалось столько же, сколько железа, а это означает или недостаток азота или избыток железа), поэтому Сальм-Горстмар если и мог наблюдать различия в росте (с железом и без железа и пр.), то он не мог еще получить нормальных растений; обычно овес у него не давал зерен, несмотря на то, что получал все необходимые элементы[1].

Работы Сальм-Горстмара по существу были значительным шагом вперед по сравнению со всеми предшествующими работами, но, напечатанные в часто химическом журнале («Journal für praktische Chemie»), они остались как-то мало замеченными в с.-х. кругах и не вызвали проверочных опытов со стороны других исследователей; вышедшая в 1856 г. книга Эмиля Вольфа не содержит совершенно упоминания об этом авторе, который в период 1846—1849 гг. установил уже многое из того, что считается достижением 1858—1860 гг.

Но то, что в конце сороковых годов было возможно для немногих одиночных исследователей, в конце пятидесятых стало доступно более широкому кругу научных работников как благодаря достигнутому упрощению (и удешевлению) в методике получения чистой (беззольной) среды, так и благодаря тому, что взамен разрозненных работ одиночек-любителей постепенно создались условия для организованной работы по агрохимии на опытных станциях, стали формироваться кадры агрохимиков и создались специальные журналы, сконцентрировавшие печатание работ по этой области знания.

Именно бо́льшая часть основных работ по вопросу об усвоении минеральных веществ в последующие годы проводилась по методу водных культур, при котором корни растений погружаются в раствор питательных веществ в дистиллированной воде. Этот метод получил предпочтение, потому что свободную от примесей воду получить гораздо легче, нежели освободить от них песок путем промывания его кислотами; кроме того, и самая прозрачность среды, возможность вынимать из нее растение, не причиняя вреда ему, представляют известные удобства. Заслуга разработки и применения этого метода к окончательному решению вопроса о зольных веществах принадлежит агрохимическим опытным станциям, развившимся в Германии в пятидесятых годах.

Германские опытные станции обязаны своим возникновением той потребности в научном объяснении с.-х. явлений, которую будил своими произведениями Либих; сам он склонен был объяснять все, исходя из общих положений,

[1] Отметим еще крайнюю миниатюрность аппаратуры Сальм-Горстмара; так, его восковые сосуды имели около 6 см высоты и неполных 4 см в диаметре, вес урожая не превышал, в лучшем случае, 1,5 г. Однако если растение без фосфорной кислоты весило 0,17 г, то различия против «нормальной» культуры были все-таки показательны.

но жизнь показала, что нужно пройти еще через длинный путь эксперимента, чтобы отделить верные выводы Либиха от преувеличений и отдельных погрешностей.

О водных культурах напомнил ботаник Сакс, напечатавший в 1857 г. работу по морфологии корневой системы; он сообщил, что его растения в обыкновенной воде могли расти и даже доходить до цветения. Это легко осуществляется у растений с крупными семенами, каковы, например, бобы. Эти опыты Сакса не касались вопроса о минеральном питании и в сущности не отличались от культур Дюгамеля (1758), но работа Сакса появилась в такое время, когда Либих, наложив свои «50 тезисов» (1855), дал новый толчок спорам о питании растений (все еще спорным был вопрос об относительном значении азота и зольных частей); в работе Сакса противники Либиха увидели опорный пункт для своих воззрений («растения развиваются в простой воде»), и в то же время сторонники минерального питания были вызваны на новый ряд экспериментов.

Со следующей же весны (1858) начались опыты с водными культурами на двух опытных станциях, именно в Möckern'е (Кнор) и в Tharand'е (Stöckhardt), и на съезде сельских хозяев и лесоводов в Брауншвейге 30 августа 1858 г. Штекгардт демонстрировал ряд растений, выращенных в воде. Но все-таки опыты 1858 г. были лишь предварительными, и в 1859 г. они были продолжены Кнопом и Саксом. *Таким образом, вся опытная разработка вопроса о зольном питании растений шла в этот период исключительно на с.-х. опытных станциях и в агрохимических лабораториях.*

В 1859 г. растения в водных культурах впервые были доведены до созревания, хотя еще при небольшом урожае, о чем почти одновременно сообщали Кнор (Мекерн) и Сакс (Таранд), но Сакс пришел к методу фракционированных растворов, и лишь Кнор установил полную питательную смесь для нормальных культур в той форме, в какой до сих пор ею пользуются. Задача для того времени была трудной, так как сразу имели дело со многими неизвестными; не знали не только того, какие элементы нужны, но и в какой форме их лучше давать и какая реакция раствора лучше для растения, какую концентрацию солей оно выносит; нужно было обеспечить аэрацию водного раствора, защитить его от прямого действия солнечных лучей, словом, выработать технику водных культур так, чтобы каждый раз ею пользоваться без риска затемнения поставленного вопроса побочными обстоятельствами.

Первое время, видимо, под влиянием того, что вода содержит много углекислых и кремнекислых щелочей[1], склонны были давать эти же соединения и при выращивании в искусственной среде; этим нужно объяснять, что на опытной станции в Таранде в первый год ведения водных культур (1858) были предприняты опыты по вопросу об отношении растений к растворам углекислого калия разной концентрации, причем было констатировано крайне вредное действие не только раствора в 0,1% K_2CO_3, но даже в 0,02% растворе корни размягчаются и отмирают в течение недели.

Таким образом, пришлось отказаться от применения солей, придающих слишком щелочную реакцию раствору, но и нейтральные соли оказалось возможным давать в концентрациях, не превышающих 0,3—0,4% в сумме для всех солей. Вскоре обнаружилось, что некоторое отклонение в сторону кислой реакции растения переносят лучше, чем щелочность раствора. Это и позволило Кнопу выйти из того затруднения, в котором оказался Сакс, применивший в качестве источника фосфора Na_2HPO_4: при этом соли кальция давали осадок с фосфорной кислотой, и Сакс, чтобы выполнить задачу доставления растениям пищи в растворимой форме, вынужден был по очереди погружать растения то в один раствор, содержащий фосфорную кислоту (в виде Na_2HPO_4), то в другой, содержащий соли кальция и магния (метод «фракционированных растворов»). Кнор же прибег к одозамещенному (кислому) фосфату калия KH_2PO_4, причем оказалось возможным дать сразу в том же растворе, который содержит фосфорную кислоту, также и соли кальция и магния (не говоря о других элементах).

Кроме реакции среды и концентрации раствора, имеет значение и форма соединений, в которой даются необходимые элементы; так, сера должна быть дана в солях серной (а не сернистой) кислоты, фосфор—в солях фосфорной кислоты;

[1] Упускалось из виду, что эти соединения образуются только при озолении, в растении же, конечно, содержатся, например, не углекислый калий, а соли калия с органическими кислотами.

соли азотной кислоты гораздо лучше переносятся, чем азотистой, и т. д. (однако утверждение, что все элементы должны быть даны непременно в высших степенях окисления, не оправдывается для азота, который может быть вводим не только в виде азотнокислых, но при известных условиях и в виде аммиачных солей).

Далее Кнон (и другие исследователи) вскоре столкнулись со следующим обстоятельством: помимо исходной реакции, пришлось считаться с той тенденцией к ее изменению, которая зависит от неодинакового восприятия растениями основания и кислоты из отдельных солей; так, если дать растениям азот в виде $NaNO_3$, то растение будет быстро поглощать азотную кислоту и перерабатывать ее в органические соединения, в растворе же останется избыток натрия; хотя он и будет находиться не в виде свободной щелочи, а будет соединяться с углекислотой, выделяемой корнями, все же раствор будет становиться щелочным; а так как растения обычно требуют азота больше, чем калия, фосфора (и тем более серы, магния, железа), то от источника азота и зависит больше всего изменение реакции раствора. Особенно сильный сдвиг реакции, но уже в сторону кислотности, вызывают соли аммония с сильными кислотами, как NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, вследствие энергичного поглощения аммиака растениями и образования свободных кислот (позднее это явление получило название «физиологической кислотности»).

Поэтому первые исследователи предпочли работать с нитратами, так как тенденция к щелочности смягчается избыточной углекислотой, выделяемой растениями (образуются бикарбонаты), а кроме того, введение Кнопом в практику водных культур кислого фосфата калия придавало исходному раствору кислую реакцию, поэтому остатки оснований, получающиеся при использовании растением нитратов, вызывают постепенный переход к нейтральной реакции.

Наиболее удобным оказалось давать азот в виде $Ca(NO_3)_2$, так как образующийся бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$ не вызывает такой щелочности, как бикарбонат натрия и калия.

Кнон на основании своих опытов предложил давать на литр раствора 1 г $Ca(NO_3)_2$ и по 0,25 г KH_2PO_4 и $MgSO_4$; этим удовлетворяется потребность растения в азоте, фосфоре и сере, а также в магнии и кальции[1], но того количества калия, какое дано в KH_2PO_4, еще недостаточно, поэтому добавляется некоторое количество калия в виде KNO_3 и немного железа в виде $Fe_2(PO_4)_2$*.

С таким питательным раствором Кнон достиг хорошего развития растения. Первое время сама возможность вырастить растение и довести его до плодовешения без почвы привлекала общее внимание, и постепенно удалось достигнуть в водных культурах не только такого роста, как в поле, но и еще большего; так, вскоре Ноббе сообщил, что он получил в водной культуре растение гречихи, сухой вес которого (120 г) превышал вес семени в 4 736 раз, в то время как в поле, даже на плодородной почве, это отношение не превосходило 1 : 1 000; для овса был достигнут вес растения в 19,4 г, в то время как растение, взятое с поля, весило 1,752 г, а выращенное на огородной почве весило 5,26 г и т. д.

Интересно, что Кнон и вскоре затем напечатавшие свои работы Штоман и Ноббе (Tharand) отмечают в виде отдельного тезиса, что растения водных культур достигли полного развития, не имея другого источника углерода, кроме углекислоты атмосферы. Следовательно, еще в шестидесятых годах считалось нужным окончательно констатировать эту независимость питания растения от углерода почвы (еще в 1861 г. Сакс вводил в питательный раствор экстракт гумуса и убедился, что это не содействовало росту Phaseolus nana).

[1] Кальций здесь дается в сущности не по учету прямой потребности растения в нем, а по необходимости дать с азотной кислотой эквивалентное количество основания, которое, соединяясь с углекислотой, не придавало бы раствору слишком большой щелочности; но если при этом получается больше кальция в растворе, чем должно поглотить растение, то этот избыток все же имеет (как оказалось впоследствии) положительное значение, так как для правильного развития корневой системы важно, чтобы из окружающего ее раствора кальций не был поглощен до конца, так как при отсутствии кальция в растворе, окружающем корни, наступают нежелательные изменения в свойствах клеточных стенок (см. ниже о значении кальция для растений).

* Подробнее о питательных смесях для выращивания растений в искусственной среде см. ниже, стр. 98.

Раз метод был установлен, им стали пользоваться для решения целого ряда вопросов многие работники на опытных станциях; но имена Кнопа, Ноббе и Вольфа особенно прочно связаны с этим движением.

Разработка метода искусственных культур, получившего название метода *синтетического*, позволила окончательно установить то, что было лишь приблизительно намечено сначала Соссюром, а затем Шпренгелем и Либихом при помощи метода *аналитического*. Только при выращивании растений в искусственной среде путем строгого применения метода разницы оказалось возможным установить, какие элементы действительно необходимы для растений и какие находятся в золе случайно. Только теперь можно было с уверенностью сказать, что в употребляемых удобрениях существенно и что составляет балласт.

Можно сказать, что шестидесятые годы подарили науке новую главу о минеральном питании и *разработкой этой главы физиология обязана именно агрохимическим опытным станциям*. Несомненно, что толчок к этой разработке был дан тем движением, которое вызвал Либих; хотя он сам и не склонен был к экспериментальной проверке своих выводов, но из них вытекал ряд вопросов, требовавших этой проверки.

Поэтому если часто говорится, что агрохимические опытные станции обязаны своим возникновением Либиху, то это верно только в косвенном смысле, а не в прямом. Либих был более химиком, чем агрохимиком, в противоположность своему современнику Буссенго, который прежде всего хотел знать «мнение растения». Но, несмотря на это, Либих своими произведениями будил потребность в научном объяснении с.-х. явлений, и это вызвало к жизни опытные станции, занявшиеся чрезвычайно плодотворной экспериментальной работой.

В результате этих работ в выводы Либиха, сделанные на основании метода аналитического, были внесены многие частные поправки. Так, путем последовательного исключения из питательной смеси отдельных элементов золы установлена была безусловная необходимость для корневого питания тех 7 элементов, которые входят в состав кноповской смеси, т. е. K, Ca, Mg, Fe, N, P, S.

В то время как Либих по анализу золы делал заключение о большом значении кремнекислоты для злаковых, опыт показал, что злаки можно вырастить, вовсе не давая им кремнекислоты: если без нее, например, пленки на зернах проса могут не иметь обычной твердости, то на ход ассимиляции отсутствие ее не влияет (подробнее о значении кремния см. ниже, стр. 76).

Либих склонен был также говорить суммарно о щелочах, не противополагая калий натрию, опыт же показал, что без натрия растения свободно могут обходиться. Позднее было констатировано, что калий не может быть заменен не только натрием, но и литием, рубидием или цезием (опыты Birner'a и Lucanus'a в 1866 г.), так же как кальций нельзя заменить барием, магний—цинком и железо—марганцем.

ОБ ИСТОЧНИКАХ АЗОТА РАСТЕНИЙ. РАБОТЫ БУССЕНГО И ГЕЛЬРИГЕЛЯ

Резкое расхождение фактов с предположениями Либиха обнаружилось в вопросе об источниках азота растений. В то время как Либих считал, что углекислый аммиак атмосферы является достаточным источником азота, на деле пришлось вводить в водные культуры как раз азот в наибольших количествах по сравнению с другими элементами.

Надо отметить, что в первых изданиях своей книги Либих, настаивая на значении фосфора и щелочей, одновременно с ними называл и аммоний как важную составную часть удобрений, но в последующих изданиях упоминание об аммиачных удобрениях было выпущено; повидимому, на Либиха произвел впечатление тот факт, что травы не только обходятся без азотистых удобрений, но еще и улучшают азотистое питание следующих за ними хлебов. Не различая особенностей питания клевера, Либих объяснил особое поведение многолетних трав тем, что они, начиная вегетацию весной раньше хлебов и продолжая ее осенью гораздо дольше, успевают больше поглотить аммиака из воздуха (и осадков),

чем хлеба. Таким образом Либих практически как бы предвидел роль травосеяния в деле обогащения почвы азотом, но он не различал значения бобовых и злаковых (и вообще объяснение таких явлений во времена Либиха еще не могло быть дано,—это стало возможным лишь после работ Пастера).

История изучения вопроса об источниках азота связана прежде всего с работами упоминавшегося уже выше современника Либиха—французского ученого Буссенго, который справедливо считается основателем современной агрохимии, и с более поздними работами Гельригеля, разъяснившего своими блестящими опытами причины особого отношения бобовых растений к питанию азотом.

В 1836 г., будучи профессором химии в Лионском университете, Буссенго[1] предпринял в устроенной им самим частной лаборатории на ферме Бехельброни ряд основных работ по изучению круговорота веществ в земледелии, что и явилось фундаментом для создания новой отрасли знания—агрономической химии.

Это было первым по времени систематическим применением к изучению с.-х. действительности точных методов химического анализа, развившихся на базе, созданной Лавуазье; недаром такой выдающийся химик, как Дюма, сказал, что Буссенго стал для агрохимии тем, чем Лавуазье был для химии. Без такого учета круговорота веществ оставались темными вопросы об истощении почвы, о способах восстановления плодородия поля с помощью удобрений, о значении севооборота.

Используя усовершенствовавшиеся к этому времени методы определения углерода, водорода и азота (и сам их совершенствуя), Буссенго предпринимает, начиная с 1836 г., ежегодные анализы урожаев; он взвешивает и анализирует корни и листья свеклы, клубни и ботву картофеля, затем анализирует зерно и солому следующей за ними яровой пшеницы и, наконец, заключающего севооборот овса, определяя в них не только содержание органогенов, но и количество и состав золы. В то же время анализированы были все удобрения, вносившиеся за время севооборота, и тем подведен был баланс прихода и расхода питательных веществ за целый севооборот, понимая под приходом внесение их с удобрениями, а под расходом—вынос с урожаями.

Нужно иметь в виду, что все это происходило в эпоху, когда не только среди сельских хозяев, но и среди таких ученых того времени, как Берцелиус, сильна была еще гумусовая (или углеродная) теория плодородия почвы и питания растений, унаследованная от Тэера, который недооценил значения работ Пристлея, Ингенгуза, Сенебье и Соссюра по ассимиляции углерода листьями из углекислоты и придавал главное значение органическому веществу почвы и удобрения. Поэтому учет прихода и расхода углерода, проведенный Буссенго, имел большое значение для того времени; он обнаружил тот факт, что массовое накопление углерода в урожаях не стоит ни в каком соотношении с его количеством в навозе (например 15 987 кг углерода в урожае и 3 368 кг в навозе при культуре земляной груши); но если Буссенго мог ожидать этого уже на основании предыдущих исследований названных выше физиологов, то совершенно новым был факт, что количество азота в урожаях за целый севооборот превосходит то его количество, которое дается растению в виде навоза (даже если весь азот навоза считать в конце концов усвоенным за пять лет севооборота, чего на самом деле нет); этот излишек азота в урожаях тем выше, чем больше участие клевера или люцерны в изучавшемся севообороте.

Повидимому, Буссенго приступил к своим исследованиям по учету круговорота веществ в земледелии под влиянием впечатлений, полученных во время

[1] Буссенго родился в 1802 г. После окончания горной школы (в С.-Этьене), в возрасте 20 лет, он отправился в Южную Америку, где находился в течение 6 лет. Годы пребывания в мало исследованной тропической стране оказались чрезвычайно полезными для Буссенго. Он там мог не только многое наблюдать, но и многое исследовать. Используя свои знания по химии, он изучал процессы отложения селитры, образование залежей гуано, устраивал походные лаборатории чуть ли даже не в «кратерах вулканов», как это утверждали о нем его современники. Вскоре по возвращении на родину Буссенго утверждается профессором химии в Лионе, затем был профессором в Париже, а с 1839 г. был избран членом французской Академии наук.

своего длительного путешествия по Южной Америке. Так, он сам рассказывает, как его еще в 1822 г., во время пребывания под тропиками, поразила, например, такая картина: на Перуанском побережье выдающаяся по бесплодности песчаная почва с помощью небольшого количества гуано превращается в плодородные поля, дающие богатейшие урожаи кукурузы. Но анализ показывал Буссенго, что гуано состоит почти исключительно из аммонийных солей[1], и вот под впечатлением этого факта, этой своеобразной «песчаной культуры» у Буссенго начало складываться мнение, впоследствии все более укреплявшееся, о преобладании значения азота в удобрениях; к этому присоединилась затем мысль о значении азотистых составных частей растений как источника для образования белков в животном организме; так постепенно вопрос о круговороте азота в природе привлекает его все больше и не дает ему покоя в течение длинного ряда лет.

Когда Буссенго перешел к изучению европейского хозяйства и к учету основных черт круговорота веществ в нем, то прежде всего у него явился вопрос, каким же образом без внесения азотистых веществ со стороны получаются хорошие урожаи, причем почва не истощается в отношении азота. Так как урожаи не только не падают, но при соблюдении правильного плодосмена они склонны возрастать, то, очевидно, должен быть какой-то источник азота растений кроме навоза, так как с навозом далеко не весь азот урожаев возвращается почве (азот отчуждаемого зерна в навоз не попадает); урожаи должны были бы постепенно падать, если бы не было какого-то источника для пополнения этого дефицита. Буссенго начинает прежде всего с анализов урожаев на азот, одновременно обращая внимание на то, что содержание белков в кормах должно лежать в основе их оценки. Его первая работа, напечатанная в 1836 г., посвящена именно этому вопросу, она, видимо, основана на исследовании урожаев с фермы Бехельброни.

В 1837 г. и в начале 1838 г. Буссенго развивает «азотную» теорию удобрений, противопоставляя ее гумусовой (углеродной) теории Тэера. Так, он констатирует, что наиболее активны те удобрения, которые наиболее богаты азотом (см. цитату, приведенную выше, на стр. 36—37). Установив значение азотистых удобрений и связь истощения почвы с содержанием азота в урожае, Буссенго сейчас же констатирует главное исключение из общего правила и говорит:

«Но если культуры, вообще говоря, истощают почву, то есть между ними и такие, которые делают ее более плодородной, таков, например, клевер».

«Нужно думать, что культуры, улучшающие почву, не ограничиваются обогащением ее только углеродом, водородом и кислородом, но также и азотом».

Из следующих строк видно, что дело идет об усвоении азота воздуха.

Откуда у Буссенго в 1836—1837 гг. имелись данные для утверждения, что азотный дефицит, происходящий от того, что азот навоза никогда не может покрывать собой весь вынос азота урожаями, выравнивается за счет азота воздуха, усвоенного клевером?

Во-первых, на это говорил уже хозяйственный опыт, позволивший в цифрах выразить положительное влияние клевера на следующую за ним пшеницу (записи хозяйства в Бехельброне). «В общепринятом севообороте[2] это влияние пожнивных остатков является очевидным,—говорит Буссенго,—и отчасти[3] этим можно объяснить, каким образом довольно ограниченного количества удобрений может хватать на все продолжение такого интенсивного севооборота. Для клевера это влияние поражает всех: тогда как пшеница, предшествующая клеверу, следуя непосредственно за пропашным растением, дает в наших условиях 15—17 гектолитров зерна, пшеница, идущая после клевера, дает 20—21 гектолитр».

Во-вторых, в 1836 г. Буссенго уже имел предварительные данные по приходу и расходу азота при разных севооборотах, из которых вытекало заключение об избытках азота

[1] Или веществ, легко дающих аммиак при разложении в почве (мочевая кислота).

[2] Здесь разумеется распространенное в северной Франции пятиполье: пропашные, яровая пшеница, клевер, озимая пшеница, овес; этот севооборот близок к норфольскому четырехполью, сыгравшему историческую роль при переходе от зернового трехполья к плодосмену в Западной Европе.

[3] Слово «отчасти» стоит здесь не случайно, так как только часть азота, взятого клевером из воздуха, откладывается в пожнивных остатках, остальное же находится в надземных частях, попадает в навоз, и этим путем клевер действует на поднятие урожая не только идущего за ним озимого, но и следующих культур.

в урожаях по сравнению с азотом в удобрениях и о значении клевера в таком превышении выноса азота, связанном не с истощением, а с обогащением почвы. Доказательством этого являются следующие факты: в своем сообщении 1836 г. Буссенго приводит данные на содержанию азота в семе клевера и люцерны, в соломе хлебов и вики, в клубнях картофеля и земляной груши, в корнях свеклы, брюквы и моркови, в зернах и соломе гороха, бобов, фасоли, чечевицы, кукурузы, гречихи, пшеницы, ржи, овса, ячменя, т. е. всех растений, культивировавшихся в Бехельброне. С другой стороны, как видно из другого сообщения, Буссенго была известна высота урожаев каждой культуры по аккуратно ведшимся в хозяйстве записям, причем Буссенго пользовался десятилетними средними. Таким образом у Буссенго с первого же года его работы по учету круговорота веществ по пятипольному севообороту были все данные для полного подсчета баланса—ведь все поля этого севооборота имелись в натуре за каждый отдельный год.

Еще более ясно видно, что Буссенго именно так и поступал, из его сообщения в 1838 г.; в этом сообщении на основании анализов отдельного года (1838 г.) он подводит баланс азота для трех севооборотов и находит для двух севооборотов с клевером избытки азота от 94 до 163 кг на гектар, в то время как в зерновом трехпольне имелся лишь весьма небольшой плюс, объясняемый наличностью малых количеств азота в атмосферных осадках.

Таким образом, та реформа земледелия, которую проводили в конце XVIII и начале XIX столетия такие организаторы-практики, как Шубарт в Австрии, Тэер в Германии и Домбаль во Франции, вводившие плодосмен с клевером вместо зернового трехполья, оказалась основанной на изменении азотного баланса в хозяйстве, а не углеродного, как это думали до Буссенго.

В-третьих, Буссенго, не ограничиваясь данными о повышении урожаев хлебов под влиянием клевера и учетом азотного баланса для ряда севооборотов, в 1837 и 1838 гг. проводит первые физиологические опыты по вопросу об отношении растений к азоту воздуха; прямые данные этих опытов обнаружили различие между бобовыми и злаковыми по их отношению к азоту воздуха; так, в опытах 1837 г. для клевера, росшего в течение 3 месяцев в прокаленном песке, была констатирована прибыль азота в 42 мг, в то время как для пшеницы никакой прибыли нельзя было заметить. В 1838 г. для гороха за 2½ месяца констатируется прибыль азота в 55 мг, в то время как для овса наблюдалась даже небольшая потеря азота (хотя и близкая к пределам погрешности анализа). Таким образом, уже в 1837—1838 гг. Буссенго имеет в руках тот самый факт, разъяснение которого только через пятьдесят лет (1887) удалось дать Гельригелю.

Приведем здесь баланс азота для ряда севооборотов, изученных Буссенго в период 1836—1841 гг. (в килограммах на 1 га).

Севообороты	Азот в навозе	Всего в урожаях	Излишки азота (на севооборот)
1. 1) Унавоженный пар, 2) пшеница, 3) пшеница	82,8	87,4	4,6
2. 1) Картофель, 2) пшеница, 3) клевер, 4) пшеница и турнепс позднинной, 5) овес	203,2	250,7	47,5
3. 1) Свекла, 2) пшеница, 3) клевер, 4) пшеница и турнепс позднинной, 5) овес	203,2	254,2	51,0
4. 1) Картофель, 2) пшеница, 3) клевер, 4) пшеница и турнепс позднинной, 5) горох, 6) рожь	243,8	353,6	109,8
5. 1) Корнеплоды, 2) яровое, 3) клевер, 4) озимое	182,1	304,5	122,4
6. 1) Пшеница (один урожай) и 5 лет люцерны	224,0	1 078,0	854,0

Из этих данных видно, что излишки азота в урожаях (по сравнению с количеством азота в удобрениях) связаны с наличием в севообороте бобовых; при этом, чем большая площадь в севообороте занята бобовыми, тем больше получаемый избыток азота.

Буссенго тогда же высказал мнение, что эти излишки азота происходят из воздуха и что именно способностью клевера обогащать почву азотом объясняются более высокие урожаи пшеницы после клевера, чем после картофеля и корнеплодов. Но наиболее интересен опыт Буссенго с непрерывной культурой люцерны[1], валовое содержание азота в урожаях которой по годам распределялось так (в килограммах):

Годы	1	2	3	4	5	Сумма
Количество N	79	237	294	237	188	1 035

[1] Economie rurale, II, 309.

В этом опыте сама люцерна не получала удобрения, а под предшествующую ей пшеницу дано было с навозом 224 кг азота; так как урожай пшеницы увес 43 кг азота, то на долю люцерны могло остаться 181 кг, а вынесено было люцерной за пять лет 1 035 кг, т. е. избыток азота составляет 854 кг, или в среднем 171 кг за год (не считая азота в корневых остатках); если откинуть первый год жизни люцерны, когда она слабо развита, и взять четыре следующих года, то среднее накопление азота в надземных частях за год составит свыше 200 кг.

Отсюда было ясно, что люцерна имеет какой-то свой источник азота, независимый от навоза (при этом Буссенго еще не было учтено обогащение азотом почвы за счет корневых остатков люцерны; как теперь известно, его можно оценить в 100 кг на 1 га за год, так что хорошо развитая люцерна может усвоить за счет воздуха свыше 300 кг на 1 га ежегодно).

Позднее Буссенго вернулся к этому вопросу, видимо, под влиянием утверждения Либиха о том, что растения получают азот из углекислого аммиака, находящегося в воздухе[1]. Но в опытах пятидесятых годов он не мог более воспроизвести явления фиксации азота бобовыми, которое он с такой ясностью констатировал в поле (см. выше сказанное об опыте с люцерной). Это объясняется тем, что, изолируя растения от внешнего воздуха[2] (а значит и от пыли), прокаливая тщательно песок и даже самый сосуд, в котором развивались растения, он невольно стерилизовал свои культуры в период, когда самой идеи стерилизации еще не существовало; кроме того, во второй период своих опытов Буссенго всегда исходил из семян, тогда как в опытах 1837—1838 гг. он иногда брал молодые растения клевера с поля, отмывая корни их от земли; понятно, что эти молодые растения могли быть заражены бактериями, самого существования которых в 1837 г. Буссенго не подозревал.

В итоге получилось, что если в первых опытах удалось наблюдать связывание азота бобовыми, то в дальнейшем, чем чаще работал Буссенго, тем более ускользало от него то явление, которое имеет место в поле, и загадка этого кажущегося противоречия между полем и лабораторией была разъяснена только в послепастеровский период работой Гельригеля.

Но если полного объяснения явлению еще не было, то тот факт, что благодаря клеверу и люцерне азотный дефицит в хозяйстве с избытком покрывается, был твердо установлен Буссенго уже за два первых года его работ в Бехельброне (1836—1838 гг.).

Эти работы Буссенго в основных чертах уже были проведены раньше появления знаменитой книги Либиха. И если над созданием основ современной агрохимии работал не только Буссенго во Франции (с 1836) и Либих в Германии (с 1840), а также Лоэс и Гильберт в Англии (с 1843), то все же Буссенго имеет преимущественное право на звание основателя агрохимии, притом не только по хронологическим данным, но и по другим мотивам, а именно: Буссенго был не только мыслителем, но и экспериментатором; он добывал ценные новые факты, ставя опыты с растениями не только в полевой обстановке, но и производя чисто физиологические исследования, всегда относимые к классическим образцам точной работы; он любил говорить, что для проверки мнений ученых нужно спрашивать мнение самого растения. Но, создавая научные основы земледелия, Буссенго (в отличие от Либиха) совершенно не занимался популяризацией своих открытий, ограничиваясь докладами в Академии наук и статьями в специальных журналах.

Если бы Буссенго даже ничего иного не сделал, кроме установления баланса азота в земледелии путем систематического анализа урожаев и удобрений за целый севооборот, и тогда значение работ его в агрохимии было бы очень велико. Надо иметь в виду состояние науки того времени. Даже такие химики, как Бунзен, с удивлением узнавали из его исследований, что растительное вещество содержит азот—элемент этот до тех пор считался исключительным уделом животного организма. Даже после работ Буссенго, так блестяще выяснивших баланс азота в хозяйстве, Либих долго и упорно настаивал на своих первых взглядах по азотному вопросу.

Опыты 1836—1837 гг. по азотному балансу были только началом исследований Буссенго в области агрохимии и физиологии растений. Буссенго прожил после этого еще 50 лет

[1] На деле результаты опытов Буссенго 1837—1838 гг. не могут быть этим объяснены, так как только бобовые дали прирост азота, а злаки его не обнаружили, тогда как углекислый аммиак доступен тем и другим.

[2] Эти опыты ставились под стеклянными колпаками, в которые воздух проходил через серную кислоту.

и долгое время работал чрезвычайно продуктивно, причем главными областями работ его были физиология растений и агрохимия.

Для выяснения вопроса об особенностях питания азотом различных растений Буссенго, кроме полевых опытов, проводил с 1837 г. опыты в сосудах, куда насыпался прокаленный песок или глина. Он явился, таким образом, основателем метода, который в дальнейшем получил название *вегетационного метода*.

Ряд работ Буссенго по физиологии растений был связан с вопросами ассимиляции углерода листьями растений. Буссенго установил, что источником углерода служит рассеянная в природе углекислота, и провел многочисленные исследования по выяснению отношения между объемами разложенной углекислоты и образовавшегося кислорода, росту растений в темноте, влиянию внешних условий на ассимиляцию углерода листьями и т. д.

Изучение особенностей питания животного и растительного организма привело Буссенго к выводу о мочевине и аспарагине как об аналогах в азотистом обмене и о более экономном использовании азота растениями. Своими исследованиями по азотистому обмену Буссенго положил начало биохимическому направлению в агрохимических исследованиях[1].

Наблюдения Буссенго относительно накопления азота в почве под культурой клевера и люцерны указывали на то, что в природных условиях существует какое-то связующее звено между атмосферой, с одной стороны, и растениями и почвой—с другой. Поэтому хотя опытами в водных и песчаных культурах было ясно установлено, что растения только постольку бывают обеспечены азотом, поскольку мы даем корням азот в связанной форме (в большинстве питательных смесей в виде селитры) и что свободный азот воздуха растениями не используется, тем не менее были факты, указывавшие, что этим азотный вопрос не исчерпан; в сельскохозяйственной же действительности обнаруживалось все больше фактов, говорящих за особое положение бобовых среди других культурных растений по отношению к источникам азота. Кроме прежних наблюдений Буссенго относительно клевера и люцерны, весьма рельефно это проявилось для бобов в опытах на Ротамстедской опытной станции (Англия), произведенных в период 1850—1860 гг. При этом на одном участке (I) высевалась непрерывно пшеница, на другом (II) пшеница чередовалась с бобами.

Урожаи пшеницы во втором случае были гораздо выше, причем содержание азота в урожаях было следующим:

I	10 урожаев пшеницы		262 кг азота на 1 га
II	5 »	»	253 » » » 1 »
	5 »	бобов	574 » » » 1 »

На втором участке урожаи содержали в сумме втрое больше азота, чем на первом, и в то же время почва не только не стала беднее азотом, но урожаи пшеницы на ней повысились. Очевидно, бобы имели какой-то особый источник азота, а пшеница выигрывала от обогащения почвы корневыми остатками бобов.

Затем давно была известна способность люпина расти на бедных песчаных почвах и делать эти почвы пригодными для культуры ржи и картофеля. Что здесь замешан вопрос об азоте, это хорошо выяснилось в хозяйственном опыте Шульца в Люпице (Германия), который показал, что на бедной песчаной почве можно получать удовлетворительные урожаи ржи и картофеля, не применяя ни селитры, ни навоза, а культивируя люпины на зеленое удобрение и вносят под них калийные и фосфаты.

В то время как в шестидесятых годах Шульц не мог добиться урожаев картофеля выше 90 ц, с семидесятых годов, после введения системы «люпин—фосфаты—калийные соли», урожаи эти стали подниматься следующим образом:

1874—1876 гг.	1877—1879 гг.	1880—1882 гг.	1883—1885 гг.	1886—1888 гг.
91 ц	122 ц	138 ц	176 ц	185 ц

При этом не только урожаи уносили гораздо больше азота, чем при культуре без люпина, но и почва постепенно обогащалась азотом (это показали

[1] Методы исследования Буссенго отличались большой точностью. Характерно, что когда К. А. Тимирязев в молодости отправился в заграничную командировку для подготовки к научной работе по физиологии растений, то он, кроме работы у представителей основных наук (физики и химии), избрал своим учителем в области экспериментирования с растениями не кого-либо из ботаников, но именно Буссенго, и как раз об этом своем учителе он вспоминает с наибольшей теплотой.

анализы почвы из-под люпина, произведенные Меркером в 1881 г.). Стало очевидным, что люпин является каким-то мостом между азотом атмосферы и почвой (а значит и культурными растениями, не обладающими особенностями люпина).

Улучшая почвы для других растений, семи бобовые в то же время оказывались мало чувствительными к азотистому удобрению или же совсем на него не реагировали, т. е. вели себя в природе иначе, чем в лабораторных опытах Буссенго пятидесятых годов[1].

Причины своеобразного поведения бобовых, констатированного Буссенго в конце тридцатых годов, были, наконец, разъяснены Гельригелем в восьмидесятых годах. Его опыты были близки к опытам Буссенго, но они приходились на другую эпоху, когда учение Пастера о бактериях стало общепризнанным.

Заведуя с.-х. опытной станцией (в Dahme, позднее в Bernburg'е), Гельригель с 1862 г. занимался определением количества отдельных элементов питания (N, P, K), необходимого для получения нормальных урожаев с.-х. культурных растений. Оказалось, что установление таких норм для азота натолкнулось на непредвиденные затруднения. Именно при песчаных культурах (в песке *не прокаленном*, в отличие от опытов Буссенго) злаки обнаруживали известную правильность, давая урожай тем больший, чем больше было дано в сосуды селитры; бобовые же развивались вне всякой зависимости от этого фактора: в некоторых случаях растения в сосудах без селитры погибали, а в других прекрасно развивались.

Эти обстоятельства заставили Гельригеля обратиться к изучению условий развития растений в сосудах, именно проследить влияние объема сосудов, влажности, освещения, свойств семян[2]. Но с этой стороны не получилось никакого объяснения причин особенного поведения бобовых, и последующие опыты 1883—1884 и 1885 гг. обнаружили лишь еще более ясно различие между ними и злаковыми. И только в 1886 г. Гельригелем была опубликована решающая работа об усвоении азота бобовыми. В это время известный французский ученый Бертело сделал указания, что как в опытах Буссенго, так и при повторении их в Ротамстеде условия опыта не отвечали природным, ибо в прокаленном песке отсутствовали микроорганизмы, населяющие почву; Бертело даже наблюдал небольшую прибавку азота в почве, населенной микроорганизмами, в то время как в стерилизованной почве этого не наблюдалось.

С другой стороны, еще в 1865 г. клубеньки на корнях бобовых исследовались нашим ботаником Ворониным, который признал микроорганизмы виновниками их образования; но ни в какую связь с усвоением азота наличность клубеньков тогда не ставилась. Позднее Брунгорст опубликовал работу, посвященную анатомии клубеньков на корнях бобовых.

При опытах 1886 г. Гельригель испытал влияние как стерилизации почвы, так и заражения почвы на усвоение азота бобовыми. Результат получился совершенно рельефный: только те из стерилизованных сосудов, которые были вновь заражены почвенным настоем, дали растения, снабженные клубеньками, способные развиваться независимо от внесения связанного азота. Если же заражения не было, не было и клубеньков, и тогда бобовые не отличались от злаковых в отношении к азотистому удобрению.

[1] Так, в 1856 г. в Ротамстеде (Англия) были заложены опыты по действию минеральных удобрений на смешанную луговую растительность, которые показали, что под влиянием односторонного азотистого удобрения повышается процент злаков и понижается процент бобовых. Удобрение же калием и фосфором, наоборот, стимулировало развитие только бобовых (потому что злаковые не могли воспользоваться этими веществами при недостатке азота). В 1860 г. анализами, произведенными в том же Ротамстеде, было выяснено, что хлеба при культуре без азота содержали в урожае с 1 га 34 кг азота, а урожай клевера в среднем за 3 года уносил по 135 кг азота в год с каждого гектара (если бы тогда же было определено содержание азота в почве, то убедились бы, что оно возросло, но этого в то время не было сделано).

[2] Эти опыты дали материал для известной книги Гельригеля «Naturwissenschaftliche Grundlagen des Ackerbaues», вышедшей в 80-х годах.

То количество азота, которое невольно вносилось с водной вытяжкой из почвы, было совершенно ничтожно и не могло обусловить собой пышного развития растений. Кроме того, контрольный опыт с внесением того же количества прокипяченного экстракта из почвы показал, что весь эффект от него под влиянием кипячения исчезает, и горох в этом случае не усвоил азота, клубеньки на его корнях отсутствуют. Работы Гельригеля, продолжавшиеся в течение значительного ряда лет, отличались большой обстоятельностью; он ставил не отдельные опыты, а целые серии их, в которых зараженные сосуды чередовались с незараженными[1]. Вот пример из серии опытов с серделлой:

№ опыта	Заражение (+)	Урожай на сосуд (в граммах)	Прибыль азота (в граммах)	Клубеньки
1	—	0,092	0	0
2	+	16,864	0,348	+
3	—	0,063	0	0
4	+	18,190	0,395	+
5	—	0,084	0	0
6	+	16,411	0,443	+
и т. д.				

Отсюда Гельригель сделал вывод, что бобовые, развивавшись на почве, содержащей соответственные бактерии, заражаются ими и образуют на корнях клубеньки, после чего получают способность усваивать свободный азот воздуха, но без такого симбиоза бобовые неспособны его использовать, так же как и растения других семейств.

Сообщив о своих наблюдениях на съезде натуралистов в Берлине осенью 1886 г., *Гельригель тем дал ключ к разрешению давней загадки*[2], *к установлению того исключения, которое не подчинялось общему правилу Буссенго* (последний, желая работать в возможно чистых условиях и удаляя всякие следы азота, тем самым большей частью удалял и бактерий, главных виновников этого «исключения»).

Таким образом, Гельригель показал, что в известной мере правы были старые авторы (Тэер и др.), давая некоторым растениям название обогащающих почву, но только их понимание этого обогащения было недостаточным: бобовые увеличивают в почве не только количество органического вещества, но еще являются и азотособирателями. Учет обнаруживает, что после удачного посева клевера почва может получить азота и органического вещества не менее чем с обычной нормой навозного удобрения (30—35 т навоза на 1 га)[3].

Опыты Гельригеля обратили на себя всеобщее внимание и были повторены в нескольких местах (в том числе в Москве Коссовичем), причем получилось полное подтверждение работ Гельригеля и были получены дополнительные данные о путях проникновения азота в растение, о способе заражения бактериями и о строении клубеньков.

---

[1] См. описание этой серии работ: «Untersuchungen über die Stickstoffnährung der Leguminosen von Hellriegel und Wilfarth», 1888.

[2] Таким образом, в 1936 г. исполнилось 50 лет со времени открытия Гельригеля и 100 лет прошло от начала работ Буссенго, положивших основание агрономической химии.

[3] Особое положение бобовых по отношению к азоту позволяет им быть пионерами в заселении чисто минерального субстрата. Примеры встречаются в весьма разнообразных областях. Так, один из видов дрока, Sarothamnus scoparius (или Spartium scoparium) способен расти на осыпях, способствовать их закреплению и образованию на них почвенного слоя, на которых впоследствии способны расти и другие растения; по той же причине верблюжья колючка (Alhagi camelorum) способна распространяться в полупустынях Средней Азии, то же относится к солодковому корню (Glyzzerhiza), тем же объясняется, что отвалы железнодорожных насыпей легко используются культурой многолетнего люпина (Lupinus polyphyllus), потому же этот и другие виды люпина (и тому же отличающиеся от клевера большей усвояющей способностью корневой системы) способны обращать бесплодные пески в культурные земли. На более богатых глинах и суглинках нередко можно видеть, как места, на которых при земляных работах был снят почвенный слой, покрываются сплошь красным (или белым) клевером, который в этих случаях не встречает конкуренции со стороны злаковых растений и других семейств. Нужно заметить, что если бобовые среди растений полевой культуры являются единственным семейством, заслужившим название «азотособирателей», то среди остальной флоры имеются все же формы, также обладающие клубеньками и способные использовать азот воздуха; таковыми являются, например, ольха (Alnus glutinosa), лох (Elaagnus) и одно японское хвойное—Podocarpus. Все эти растения имеют клубеньки (или подобные им образования), причем образование их вызывается другими микроорганизмами, чем у бобовых.

Отметим здесь же, что, кроме бактерий, живущих в клубеньках бобовых, способность связывать азот атмосферы, переводя его через аммиак в аминокислоты и белки, свойственна еще некоторым (немногим) из свободно живущих бактерий, которые тоже нуждаются в безазотистом органическом веществе как источнике энергии (Clostridium, Azotobacter связывают азот воздуха путем восстановительного процесса с помощью органического вещества, первый в анаэробных, а второй в аэробных условиях). Однако использование этих бактерий не так легко осуществить, ибо если даже вносить в почву повышенные количества органического вещества (найди для этого дешевые его формы), то нельзя достигнуть того, чтобы его использовала не вся масса бактерий и грибов, живущая в почве, а только те бактерии, развитие которых нам желательно. В этом отношении симбиоз с бобовыми является гораздо более выгодным случаем, ибо бобовое кормит углеводами только данный вид бактерий и не впускает внутрь корня других видов (ближе об использовании азота воздуха этим путем будет говориться в главе о зеленом удобрении и о бактериальных удобрениях).

При всей убедительности фактов, найденных Гельригелем, и ряда подтверждающих наблюдений других авторов все же были лица, пытавшиеся дать иное толкование этим наблюдениям. Так, указывалось, что из опытов Гельригеля следует только то, что бобовые пользуются каким-то источником азота, недоступным другим растениям, но что это за источник, из опытов еще не видно.

Наиболее ясное и окончательное доказательство того факта, что накопление азота бобовыми происходит за счет свободного азота (а не углекислого аммония), получено было Шлезингом и Лораном (1896), которые давали растениям точно отмеренный объем воздуха и потому могли учесть в конце опыта не только прибыль азота в растении, но и убыль газообразного азота из атмосферы. Для этого растения выращивались в замкнутом стеклянном сосуде, в который вводили определенный объем чистого азота, кислорода и углекислоты (последняя в несколько приемов); по окончании вегетационного периода газовая смесь выкачивалась с помощью ртутного насоса и брались пробы для анализа.

Вот баланс азота для одного из опытов:

До опыта		После опыта	
В почве	4,3 мг	В почве	17,5 мг
В семени	28,2 »	В растении	49,1 »
Всего	32,5 мг	Всего	66,6 мг

Таким образом, прибыль азота равнялась 34,1 мг. Дано же было газообразного азота в начале опыта 2 483,3 см³, после опыта найдено 2 457,5 см³, убыль равняется 25,8 см³, что составляет 32,4 мг азота. Для длительного опыта, охватывающего целый вегетационный период, при сложности манипуляций с большим объемом газов, найденные величины (32,4 и 34,1 мг) нужно признать достаточно близкими между собою, таким образом *прирост азота в растении совпадает с убылью его в окружающей атмосфере.*

Азот этот идет на образование белковых веществ, которыми чрезвычайно богаты клубеньки; состав клубеньков резко отличается от состава корней, как это видно из следующего сопоставления для люпина (в процентах):

	Клубеньки	Корни
Белки (N×6,25)	45,3	7,1
Безазотистые экстрактивные вещества	32,5	34,6
Жиры	5,3	1,3
Клетчатка	9,4	52,9
Зола	7,5	4,1

Но были еще скептики, которые и этим фактам пытались дать иное толкование. Так, берлинский ботаник Франк полагал, что клубеньки богаты белками не потому, что их образование стоит в причинной связи с фиксацией азота воздуха, но что они являются только складочным местом, в котором бобовые откладывают азотистые вещества, что азот воздуха, может быть, усваивается растениями через листья и что способность его фиксировать присуща не одним бобовым, а и всем растениям, но только у бобовых она сильнее выражена, чем у других семейств.

Для проверки этих утверждений Франка был проведен ряд опытов Коссовичем в Петровской академии при кафедре К. А. Тимирязева (в типичное, теперь принадлежащей селекционной станции); одна серия опытов относилась к вопросу, поступает ли азот, фиксируемый бобовыми, через листья или через корни. Для того чтобы получить ответ на этот вопрос, Коссович выращивал растения (горох), окружая непосредственно атмосферой, лишенной азота, в одних случаях корни (I), в других—надземные части растений (II); в том и другом случае брались молодые ростки гороха, уже имеющие клубеньки на корнях, в песок вводились все необходимые составные части нормальной смеси, кроме азота.

Чтобы не дать азота воздуха корням, в первой серии опытов через песок пропускалась в течение всего опыта смесь кислорода с водородом (последний был взят только как инертный газ, чтобы разбавить кислород); корни от проникновения наружного воздуха изолировались, а надземные части развивались свободно.

Во второй серии опытов, наоборот, корни получали воздух, но листьям давалась все время смесь из водорода, кислорода и углекислоты[1].

В результате оказалось, что во второй серии различий в развитии растений не обнаружилось, количество азота в растениях было одинаково, все равно получали ли листья водород или азот; но в первой серии эти различия были, а именно: фиксация азота наблюдалась только там, где имел место свободный доступ воздуха к корням, например:

Содержание азота в растениях (в миллиграммах)

		a	b
Корни получали	воздух	43	48
	водород + кислород	17	11

Таким образом, результаты опытов Коссовича говорили против мнения Франка относительно участия листьев в фиксации азота воздуха бобовыми растениями и подтверждали вывод из работ Гельригеля относительно роли клубеньков.

Можно сказать, что открытие Гельригеля, выяснившее в основном вопрос об особенностях питания азотом бобовых растений, завершает первый этап развития точных знаний, лежащих в основе современного учения о питании растений. Установление относящихся к этому вопросу фактов дало возможность разрешить главнейшие противоречия, возникавшие при построении основных научных представлений в агрохимии со времени ее основоположников—Буссенго и Либиха.

Заканчивая на этом исторический очерк о развитии взглядов на питание растений, мы перейдем далее к изложению современного состояния наших знаний в этой области и прежде всего обратимся к рассмотрению роли отдельных элементов питания в жизни растений.

РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Целью возделывания растений является производство органического вещества, причем это вещество создается растением за счет минеральных соединений, главным образом из углекислоты и воды, при участии энергии солнечного луча. Основным процессом, приводящим к образованию безазотистых веществ (крахмала и других углеводов), является восстановление углекислоты, идущее с выделением кислорода. Схематически этот процесс можно представить такой формулой[2]:

$$6H_2CO_3 = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Таким образом, из углерода, заимствованного растениями из углекислоты воздуха, вместе с водородом и кислородом воды образуются углеводы; эти первичные продукты синтеза служат дальше материалом, из которого образуются в растении другие безазотистые соединения (продукты уплотнения[3], как клетчатка, или продукты окисления, как органические кислоты, или продукты восстановления, как жиры).

Но *роль безазотистых веществ в растении может быть сравнена лишь с топливом на заводе* (крахмал и жиры) или *со строительным материалом и готовыми стенами завода* (клетчатка), *самый же работающий механизм построен иначе*, ибо *главной составной частью протоплазмы и ядра являются белки и их производные*, для построения которых, кроме углерода, кислорода и водорода, нужны азот, сера и фосфор, а для правильного функционирования всего механизма нужны еще некоторые зольные элементы (калий, кальций, магний, железо). И как на фабрике тот или иной механизм может при обильной подаче сырья произвести громадное количество продукта, непропорциональное собственной

[1] Коссович. Об усвоении растениями свободного азота. 1895.

[2] Подробнее об этом см. в примечании на стр. 71.

[3] Дальнейший переход от простейших углеводов типа глюкозы к уплотненным молекулам более сложных углеводов, как крахмал и клетчатка, происходит с выделением воды по такой схеме:

$$nC_6H_{12}O_6 - nH_2O = (C_6H_{10}O_5)n.$$

массе, так и в растении протопласт может образовать гораздо большую массу углеводов, чем он весит сам. Поэтому в растении обычно вес углеводов преобладает над весом наиболее важных в жизни клетки белковых веществ.

Насколько углеводы преобладают в составе растения, видно из следующего сопоставления: если представить весь растительный мир высушенным и растертым в общую массу, то ее состав (в процентах) был бы приблизительно следующим:

	C	H	O	N	Зола
Средний состав растительной массы	45	6,5	42	1,5	5
Состав крахмала и клетчатки	44,4	6,2	49,4	—	—

Таким образом, весовой состав растительной массы близок к составу крахмала и клетчатки вследствие количественного преобладания углеводов; сравнительно меньшая часть приходится на азотистые вещества (белки и их производные) и на золу. Однако *именно азот и зола, находящиеся в растении в меньшем количестве, чем углерод, представляют для нас наибольший интерес*; с одной стороны, без их участия невозможно образование даже и безазотистых и беззольных органических веществ (какими являются углеводы), а с другой стороны, снабжение растений азотом и элементами золы наиболее поддается нашему воздействию: они-то и играют главную роль в удобрениях.

Воздействие на состав атмосферы является трудной задачей, если говорить о культуре в поле, и пока оно ограничено преимущественно парниковой и тепличной культурой. Воздействие же с помощью удобрений на условия питания зольными элементами и азотом в широкой мере приложимо и в полевой культуре.

Если необходимость азота, фосфора, серы, калия, кальция, магния и железа для растений окончательно выяснилась еще в шестидесятых годах прошлого столетия, то освещение *вопроса о роли* этих элементов в жизни растения во многих случаях оказалось более трудным; особенно это касается роли металлов. Углубление сведений о роли элементов в жизни растений является и в настоящее время одним из важнейших и интереснейших вопросов в агрохимии и физиологии.

АЗОТ

Азот входит в состав всех аминокислот, из которых построена сложная молекула белка; в итоге на азот приходится от 16 до 18% от веса белка. Этот факт делает понятным исключительно большое значение азота для растений, так как белковые вещества являются главной составной частью протоплазмы; они присутствуют в каждой живой клетке и представляют собой *материальную основу всякого жизненного процесса*. Без азота не могут образоваться белковые вещества, без белковых веществ не может быть протоплазмы, а следовательно, и жизни.

Кроме собственно белков, азот входит в состав нуклеиновых кислот, которые содержатся в сложном веществе клеточных ядер[1].

Азот входит далее в состав хлорофилла (пиррольные ядра), принимающего участие в таком важнейшем процессе, как фотосинтез. Кроме того, азот входит в состав фосфатидов, многих глюкозидов, алкалоидов и других органических

[1] Сложные вещества клеточных ядер, так называемые нуклеопротеиды, содержат, кроме белков, нуклеиновые кислоты в соединении с белком как основанием. Нуклеиновые кислоты представляют соединение фосфорной кислоты с углеводными остатками и азотистыми основаниями; при гидролизе нуклеиновые кислоты распадаются на фосфорную кислоту, углеводный комплекс и азотистые гетероциклические основания (пуриновые и пиримидиновые).

азотистых веществ в растениях. Однако чаще всего среди этих соединений количественно преобладают белковые вещества.

В качестве источника азота для питания растений могут служить как соли азотной кислоты, так и соли аммония, а также соли азотистой кислоты[1]. Как уже было сказано выше, особое положение по отношению к источникам азотистого питания занимают бобовые растения, которые могут усваивать свободный азот атмосферы с помощью клубеньковых бактерий (см. стр. 53). Для большинства же растений (небобовых[2]) наиболее распространенными источниками питания азотом служат соли азотной кислоты (нитраты) или же соли аммония. Соли азотистой кислоты (нитриты) в почвах содержатся в очень малом количестве, они являются неустойчивой промежуточной формой азотистых соединений (в почвах) и в питании растений в природной обстановке сколько-нибудь существенного значения не имеют.

О сравнительном значении таких главнейших источников азотистого питания растений, как аммиак и нитраты, подробнее будет сказано ниже (см. стр. 91). Здесь же укажем лишь на то, что при питании азотом в виде солей азотной кислоты поглощенные растением нитраты уже в корне начинают быстро восстанавливаться до аммиака[3]. Этот процесс осуществляется в растении при участии углеводов, которые в данном случае подвергаются окислению за счет кислорода нитратов.

Поступивший в растение аммиачный азот (или азот аммиака, образовавшегося в растении при восстановлении нитратов) не накопляется в растений, а при участии безазотистых органических веществ—углеводов и продуктов их окисления (кетонокислоты, оксикислоты и непредельные кислоты)—идет на образование аминокислот и амидов. В частности, в растениях в довольно большом количестве может при этом происходить накопление аспарагина—амида аминоянтарной кислоты:

$$COOH \cdot CHNH_2 \cdot CH_2 \cdot CONH_2$$

и глютамина—амида аминоглютаровой кислоты:

$$COOH \cdot CHNH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CONH_2.$$

Образование этих соединений в растениях важно в том отношении, что накопление аммиака в тканях (как в растительных, так и в животных) было бы вредным для организма, аспарагин же (или глютамин) без вреда для растения может накопляться в значительных количествах.

Азот аспарагина (группа NH_2) в дальнейшем в растении используется для образования разнообразных аминокислот[4] как жирного, так и ароматического ряда, а аминокислоты в свою очередь идут на образование белков.

Наряду с синтезом белков в растениях постоянно идут и процессы распада белков, причем у ассимилирующих растений синтез превалирует над распадом и последний поэтому остается замаскированным. В результате гидролиза белков[5] в качестве первичных продуктов распада получаются свободные аминокислоты, которые при последующем окислении в дентельных органах растения отщепляют азот в форме аммиака[6].

[1] Растения способны в некоторой степени использовать в качестве источника азотистого питания растворимые органические соединения (как амиды и отчасти аминокислоты), но они труднее проникают в корни, чем, например, нитраты или аммиачные соли.

[2] А также и для бобовых в отсутствии заражения клубеньковыми бактериями.

[3] Но все же в растении нитратов может содержаться гораздо больше, чем аммиака (особенно при обильном питании нитратным азотом).

[4] При этом имеет место так называемое «переаминирование» аминокислот, т. е. переход группы NH_2 из одной углеродной цепочки в другую. Этому процессу, повидимому, принадлежит главная роль в образовании целого ряда аминокислот (около 20), являющихся компонентами белковой молекулы. Прямое же включение аспарагиновой кислоты в состав белковой молекулы имеет место лишь в небольших количествах (до 4—5%).

[5] Аналогично тому, как происходит распад белков до аминокислот при переваривании белков в животном организме (под влиянием протеолитических ферментов), а затем в тканях аминокислоты окисляются с отщеплением аммиака.

Таким образом, аммиак является главным исходным материалом для синтеза органических азотистых соединений в растениях, а также конечным продуктом при их распаде[1]. Аспарагин же представляет безвредное для растения органическое азотистое соединение, образование которого является способом обезвреживания аммиака.

Можно провести известную аналогию между ролью аспарагина в растении и ролью мочевины в животном организме[2]. Образование мочевины в животном организме также происходит за счет аммиака, появляющегося в процессе распада белков и окисления аминокислот, и предотвращает накопление аммиака в организме.

Вместе с тем есть и существенная разница между растением и животным организмом в этом отношении, так как организм животного не использует вновь азота мочевины, выделяя ее в моче, а растения поступают более «экономно», используя азот аспарагина снова для синтеза белков.

При этом характерно, что мочевина содержит углерод только окисленный, тогда как в цепочке аспарагина имеются и окисленные и неокисленные атомы углерода. Таким образом животный организм, не экономя азота (который уходит с выделениями), в то же время избегает таким путем траты энергетического материала, которая имеет место, если продукты выделения содержат неокисленный углерод[3].

Процессы обмена азотистых веществ в растительном организме начинаются одновременно с прорастанием семени, когда запасные белковые вещества семени подвергаются гидролизу и вместе с тем в растущих частях происходит синтез белков и образование других азотистых соединений.

При прорастании некоторых семян с высоким содержанием запасных белков (например у бобовых) распад этих белков часто сопровождается накоплением очень большого количества амидов; иногда около 50% азота запасных белков переходит в форму аспарагина, который затем служит источником азота для синтеза других азотистых веществ. На свету по мере развития синтетической деятельности относительно бо́льшая часть содержащегося в растении (или в том или другом органе растения) азота превращается в азот белковых веществ.

Процессы синтеза и распада азотистых веществ происходит в течение всей жизни растения, но по-разному в различные сроки и в разных органах растения.

Во время роста растения происходит передвижение азотистых веществ из относительно более старых листьев в молодые растущие органы. При созревании семян белковые вещества, содержащиеся в листьях, в какой-то части подвергаются гидролизу[4] и продукты гидролиза (повидимому, аминокислоты), передвигаются в семена, где снова образуются белки.

При осеннем листопаде у многолетних растений значительная часть азота не теряется с опадающими листьями, а передвигается в другие органы растения.

Общее содержание азота в разных растениях и в различных органах растения колеблется в довольно больших пределах. Много азота содержат семена (преимущественно в виде запасных белковых веществ), а из вегетативных органов—листья растений, в особенности молодые; в стеблях и корнях растений содержание азота бывает обычно ниже. Вот некоторые примеры:

[1] Так как, с одной стороны, аммиак, поглощенный растением или образовавшийся внутри растения за счет азотной кислоты, всегда является исходным материалом для синтеза белковых веществ в растении, а с другой стороны, аммиак является также и конечным продуктом распада белков в растении (как и в животном организме), то автор еще в 1915 г. выдвинул положение, что «аммиак есть альфа и омега азотистого обмена веществ в растениях».

[2] Впервые мысль об этой аналогии была высказана еще Буссенго, но лишь много позднее в результате экспериментальных исследований автора данной книги над ролью аспарагина в растении эта точка зрения получила дальнейшее развитие и затем общее признание.

[3] У некоторых бесхлорофилльных низших организмов (грибов) обнаружено накопление мочевины, играющей, повидимому, роль, аналогичную аспарагину в высших растениях, а именно образование мочевины обезвреживает аммиак, а затем азот мочевины (если имеются углеводы) используется снова организмом.

[4] Сильный распад белков в листьях может быть вызван искусственно путем подвядания их (это наблюдается, например, при «сушке» табачных листьев).

Содержание азота в процентах на сухое вещество

	Горох		Пшеница		Сахарная свекла
	I	II	I	II	
В зерне	3,65	4,07	2,65	2,78	—
В соломе	1,40	1,12	0,56	0,72	—
В ботве	—	—	—	—	1,5
В корне	—	—	—	—	0,8

Распределение азота (в процентах) между различными группами соединений в растениях можно видеть из следующего примера (анализ растений озимой ржи):

Формы соединений азота	Вся надземная часть растений		Зерно
	29/V	24/VI	
Общий N	2,93	2,56	2,41
Белковый N	1,52	1,79	2,02
N аминокислот	0,96	0,40	0,39*
Амидный N	0,45	0,37	

Преобладание *белкового азота* выступает здесь весьма рельефно. Но в сочных органах, как клубни картофеля, корни свеклы и т. п., относительное содержание небелковых форм азотистых веществ часто бывает повышенным, особенно при обильном азотистом питании.

Приведем для иллюстрации распределения азота между разными группами соединений еще данные анализов табака, в которых, кроме белкового, аминокислотного и амидного азота, учитывалось содержание азота никотина и неорганических азотистых соединений—нитратов и аммиака.

Распределение азота между разными группами соединений (в процентах от общего азота) в табачном растении

Срок и фаза	Белковый N	Аминокислотный N	Амидный N	Аммиачный N	Нитратный N	N никотина
5—6 пар листьев (30/VI)	86,5	2,12	1,35	0,81	5,06	4,11
Начало образования коробочек (21/VIII)	74,2	3,54	2,24	1,88	0,24	10,66

Как видно, с возрастом происходит перегруппировка азотистых соединений, сопровождающаяся в данном случае ростом относительного содержания азота никотина в общей сумме азотистых соединений (причем процент белкового азота несколько снижается).

При недостаточном снабжении растений азотом содержание азотистых веществ в органах растения снижается, растения развиваются слабо; особенно резко недостаток азота сказывается на развитии листьев. Внешним признаком недостаточного питания азотом является светлая[1] окраска листьев.

Усиление питания растений азотом в определенные периоды роста способно оказывать существенное влияние на интенсивность процессов синтеза органических азотистых соединений (в частности белковых веществ) в растениях. В связи с этим находится ряд фактов, говорящих о том, что при усиленном азотистом питании стимулируются ростовые процессы, удлиняется вегетационный период, может быть замедлено старение листьев и задержано созревание растений. Надо, однако, иметь в виду, что все эти процессы, в частности и самый синтез и распад азотистых веществ в растениях, и их интенсивность зависят не только от уровня снабжения азотом, но и от общего состояния организма, являющегося результатом всей совокупности внешних и внутренних условий его развития. Среди этих условий большую роль играет возраст растения в це-

* Весь небелковый азот.

[1] Точнее светло-зеленая, так как недостаток азотистого питания не вызывает побеления листьев, как это может иметь место в случае типичного и ярко выраженного хлороза (например при недостатке железа).

лом и данного органа растения и уровень снабжения углеводами (в результате фотосинтеза, передвижения продуктов ассимиляции или наличия запасных углеводов); также большое значение имеет и присутствие ряда других элементов питания (фосфор, кальций, калий и др.).

При усилении азотистого питания (и наличии других питательных веществ) растения развивают мощную ассимилирующую поверхность, листья приобретают темнозеленую окраску. Такие листья отличаются повышенным содержанием белков и обычно более продолжительное время сохраняют свою жизнедеятельность. Путем соответствующего регулирования азотистого питания растений, оказывающего резкое влияние на развитие вегетативных органов и на размеры образующейся ассимилирующей поверхности листьев, можно добиться значительного увеличения продуктивности растения. Немалое значение условия азотистого питания могут иметь и для качества получаемой с.-х. продукции, причем в одних случаях желательно бывает повысить содержание азотистых веществ в растениях (например белка в зерне пшеницы), в других же—повышения содержания азотистых веществ стараются избегать (например некоторые небелковые азотистые вещества в корнях сахарной свеклы снижают ее качество).

СЕРА

В отношении содержания серы в растениях долгое время удерживались неправильные представления, так как данные о содержании серы в золе растений принимали за содержание серы в растении.

Между тем в процессе озоления, если не применять специальных мер предосторожности, происходят крупные потери серы. Это ясно видно из сопоставления данных о содержании серы по Вольфу (анализ золы) и более новых данных (например, Харта и Петерсона), полученных при устранении потери серы при озолении.

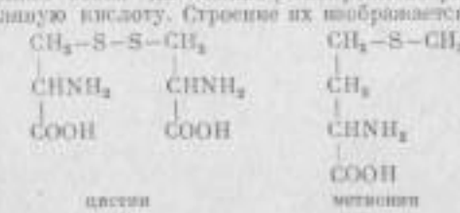
В 1 кг воздушно-сухого вещества содержится серы (S) (в граммах):

Растения	По Харту и Петерсону	По Вольфу
Люцерна (сено)	2,87	1,70
Рожь (зерно)	1,23	0,11
Пшеница	1,64	0,03
Сои	3,41	0,34
Лук	5,68	1,15

В общем можно сказать, что сера содержится в растениях в количестве десятых долей процента, считая на сухое вещество. Больше серы содержится в семенах и листьях, меньше ее в стеблях и корнях, что отвечает распределению белков, в которые входит главная часть серы. Растения могут усваивать серу только в окисленной форме, т. е. из солей серной кислоты (K_2SO_4, $CaSO_4$, $MgSO_4$ и т. д.). Поступившая в растение сера в большей своей части восстанавливается, образуя различные органические соединения, но часть ее содержится в виде солей серной кислоты. Из последних в первую очередь надо указать на сернокислый кальций—в растениях под микроскопом часто можно обнаружить сростки кристаллов (друзы) гипса.

В восстановленной форме сера в растениях входит главным образом в состав белка. В белке содержатся две аминокислоты, содержащие серу,— цистин и метионин, в то время как азот содержат все аминокислоты. Поэтому содержание серы в белке всегда меньше, чем содержание азота.

Цистин представляет собой ди-α-амино-β-тиопропионовую кислоту, а метионин—α-амино-γ-метилтиомасляную кислоту. Строение их изображается формулами:



Кроме того, в растениях встречается так называемый глютатион, представляющий собой трипептид, образованный с участием аминокислот: глютаминовой, глиокоэля и цистеина. Цистеин же образуется при восстановлении цистина, именно в цистине содержится дисульфидная группа—S—S—, легко при восстановлении присоединяющая два атома водорода и образующая две сульфгидрильные группы—SH, характерные для цистеина:

$$\begin{array}{l} CH_2-S-S-CH_2 \\ | \qquad\qquad | \\ CHNH_2 \qquad CHNH_2 \\ | \qquad\qquad | \\ COOH \qquad COOH \\ \text{цистин} \end{array} + H_2 \rightleftarrows 2 \begin{array}{l} CH_2-SH \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \\ \text{цистеин} \end{array}$$

При окислении сульфгидрильная группа легко отдает водород и превращается обратно в дисульфидную. Этой легкостью, с какой происходит отдача и получение водорода сульфгидрильной и дисульфидной группами, и объясняется та важная роль, какую играет цистеин и особенно глютатион в окислительно-восстановительных процессах в растениях.

Сера в растениях, помимо указанных соединений, может встречаться и в других формах. Так, в семенах горчицы содержится аллил-горчичное масло, представляющее собой сложный эфир изо-тио-циановой кислоты ($CS:N\cdot C_3H_5$), а в чесноке содержится чесночное масло, представляющее собой тио-эфир [$(C_3H_5)_2S$].

Петерсон (H. Peterson) приводит следующие данные содержания отдельных фракций серы в растениях (в граммах S на 1 кг сухого вещества):

	Всей серы	В том числе сульфатной
Капуста	8,18	1,95
Сено люцерны . .	3,61	1,79
Рис	4,22	0,51

При прорастании семян, когда вообще преобладают окислительные процессы, восстановленные соединения серы частично подвергаются окислению до образования сульфатной серы, которая в дальнейшем, особенно при наступлении ассимиляции, снова используется молодыми растениями при образовании белков. При недостатке серы растения приостанавливают свой рост, листья становятся светлозелеными, а при резком недостатке серы—и почти совсем белыми.

ФОСФОР

Фосфор, как правило, усваивается растениями в виде солей ортофосфорной кислоты. Имеются также указания на некоторое использование фосфора из солей метафосфорной кислоты[1].

В растениях фосфорная кислота встречается в виде органических и минеральных соединений. Минеральные соединения фосфора в растениях представлены солями кальция, магния и калия. Обычно в растениях значительно больше фосфора содержится в виде органических соединений. Но при обильном питании фосфором до конца вегетации растений, что часто бывает в условиях вегетационного опыта, может оказаться большое количество и минерального фосфора, сосредоточенного в корнях и стеблях растений.

Характерным для фосфора является то, что, вступив в соединения с органическим веществом, фосфорная кислота не претерпевает резких превращений, подобно анионам азотной или серной кислоты, которые подвергаются восстановлению.

Фосфор является непременной составной частью тех сложных белков (нуклеопротеидов), которые играют важную роль в построении клеточного ядра; при этом, в отличие от азота и серы, фосфор не входит в состав молекулы простого белка, но он входит в состав нуклеиновой кислоты, которая в соединении с белком дает нуклеопротеиды; нуклеопротеиды построены как соли белка (играющего роль основания) с нуклеиновой кислотой, а так как последняя представляет сложное производное фосфорной кислоты, то этим существенное значение фосфора в жизни растений достаточно подчеркивается.

[1] Исследованиями, проведенными в нашей лаборатории И. С. Шуловым, указано на возможность усвоения растениями фосфора из органического соединения—фитина; однако следует иметь в виду, что фитин представляет собой сложный эфир той же фосфорной кислоты, и не исключена возможность, что усвоению фосфора фитина предшествует гидролиз, сопровождающийся отщеплением фосфорной кислоты.

Кроме того, фосфор входит в состав ряда других органических соединений, играющих важную роль в жизни растительных организмов. Значительное количество фосфора в растениях содержится в виде фитина $C_6H_6(OH_2PO_3)_6$, представляющего собой сочетание молекулы шестиатомного спирта инозита $(CHOH)_6$ с шестью молекулами фосфорной кислоты.

Фосфорная кислота также содержится в широко распространенной группе веществ—фосфатидах. Фосфатиды принадлежат к группе липоидов—соединений, родственных жирам; как и жиры, они образованы с участием глицерина и жирных кислот; но, кроме того, в них входит остаток фосфорной кислоты и азотистого основания (например холина). Сюда относится сравнительно хорошо изученный фосфатид—лецитин, встречающийся во всех деятельных растительных тканях. Фосфатиды обладают свойствами гидрофильных коллоидов, и им придается большое значение при рассмотрении вопроса о проницаемости плазмы для некоторых веществ.

По данным Стоклаза, имеется некоторая связь между содержанием белка и фосфатидов в семенах растений: в семенах, богатых белком, содержится высокое количество и фосфатидов. При созревании семян содержание фосфатидов в них повышается; особенно богат фосфатидами зародыш.

Фосфор играет весьма важную роль также в углеводном обмене у растений (как и у животных). Именно образование эфиров с фосфорной кислотой является начальной фазой ряда превращений сахаров в процессах дыхания и брожения.

Интересно, что крахмал содержит небольшое, но постоянное количество фосфорной кислоты (большей частью не свыше 0,2% P_2O_5).

Хорошо известно на практике благоприятное влияние фосфора на образование зерна у хлебов, а также на отложение сахара у свеклы и винограда, крахмала в картофельных клубнях, что, повидимому, связано с участием фосфора в превращении углеводов. В опытах на быв. Льняной опытной станции ТСХА и в Институте льна обеспечение льна фосфором приводило к повышению качества льняного волокна, состоящего из клетчатки.

Имеются указания, что введение фосфора вызывает смещение окислительно-восстановительного потенциала, повышая восстановительные свойства ткани растений (в частности, способствует восстановлению нитратов до аммиака).

При крайнем недостатке фосфора растения приостанавливают рост стебля и листьев (не говоря об образовании семян). Происходит скручивание листьев, образование фиолетовых и красноватых пятен на листьях и быстрое отмирание ткани в пораженных местах.

При прорастании семян за счет распада сложных органических соединений образуется значительное количество минеральных фосфатов.

Общее содержание фосфора в растениях составляет десятые доли процента. Как подразделяется фосфор по фракциям, можно видеть из следующего примера для красного клевера (растения убраны перед цветением):

Сено красного клевера содержит фосфора	В граммах на 1 кг сухого вещества	В процентах от общего количества P
Общее количество фосфора	5,54	100
Неорганического фосфора	0,70	13
Фосфора фитина	3,0	54
» лецитина	0,50	9
» нуклеина	0,50	9
» других соединений, содержащих фосфор	0,84	15

Наибольшая часть фосфора в клевере таким образом входит в состав фитина.

КАЛИЙ

В группе щелочных металлов калий занимает исключительное место по значению как для высших, так и для низших растений. В то время как животный организм оказывает предпочтение натрию перед калием, для растений имеет место обратное—содержание калия в них превышает содержание натрия часто в 50, а иногда даже в 100 раз[1]. Уже Соссюр, давший в 1804 г. первые точные анализы золы растений, всегда содержащей калий, вывел заключение, что калию принадлежит существенная роль в жизни растений, а в конце тридцатых годов Шпренгель уже определенно говорил о сернокислом калии как о важном удобрении (особенно при культуре клевера). Либих, основываясь на данных анализов Соссюра, подчеркивал значение калия для растений и отмечал связь калия с образованием углеводов в растениях, указывая на то, что растения, откладающие сахар в корнях или крахмал в клубнях, содержат в золе много калия.

Однако первые опытные доказательства необходимости калия для растений получены Сальм-Горстмаром только в 1846 г. (при опытах в песчаных культурах), а более строгие опыты по вопросу о значении калия были проведены Бирнером и Луканусом в 1866 г. в водных культурах с овсом. В этих опытах при исключении калия из смеси растения развивались очень слабыми, а введение солей натрия, лития, цезия и рубидия не заменяло калия.

Ноббе (1870 г.) наблюдал, что в отсутствие калия у гречихи в хлорофилльных зернах не образуется крахмала. Гельригель также обнаружил известную связь между наличием калия и образованием углеводов в растении: так, например, у ячменя то скудное количество зерен, которое образовалось при недостатке калия, было чрезвычайно бедно крахмалом (между тем как при азотном голодании, как бы мало ни образовалось зерен, содержание крахмала в них было нормальным). В клубнях картофеля при резко выраженном недостатке калия (в песчаных культурах) содержание крахмала падало до 7% против 17% в сосудах с полной питательной смесью, а абсолютное количество снижалось до 2,6 г против 92 г, содержавшихся в клубнях нормальных растений.

Аналогичное явление наблюдалось для сахарной свеклы, причем развитие листьев страдало меньше, чем развитие корня, который был, помимо малого веса, еще и очень водянистым.

Вильфарт отмечал, что в опытах с сахарной свеклой при отсутствии калия отложение сахара в корне подавляется в гораздо большей мере, чем образование органического вещества вообще.

Приведем здесь данные опытов Вильфарта и Виммера, наглядно иллюстрирующие влияние калийного питания сахарной свеклы на накопление сахара в корне (песчаная культура):

	Без калия	0,14 г K_2O	3,3 г K_2O
Урожай свежей массы растений (в граммах на сосуд)	26,0	56,0	441,0
Процент сахара в корнях	2,2	5,6	15,3

Из более поздних работ, в которых проводилось определение различных групп углеводов, приведем пример из опытов Найтингела с томатами:

Содержание в процентах	Листья		Черешки	
	с калием	без калия	с калием	без калия
Редуцирующие сахара	2,34	2,01	1,56	1,00
Сахароза	1,20	0,35	0,00	0,00
Крахмал и декстрин	2,48	1,00	4,22	0,95

[1] Самое слово «калий» происходит от арабского названия того растения («Kali»), сжиганием которого добывали щелочь; и до сих пор одно из растений солончаковой флоры носит у ботаников название Salsola Kali.

Здесь обнаруживается явное снижение образования крахмала и растворимых сахаров (особенно сахарозы) при калийном голодании.

В ряде опытов, проведенных, в частности, в нашей лаборатории, наблюдалось сильное влияние уровня калийного питания на образование сахарозы в листьях (пшеницы, ячменя, кан-сагыза и других растений). Вот, например, данные одного из опытов с ячменем в водных культурах (опыт Дмусара и Бойченко):

Содержание сахаров в процентах к сухому веществу листьев	1/2 K	2 K
а) Редуцирующие сахара	3,38	1,82
б) Сахароза	1,79	4,24

Таким образом, калий оказывает влияние не только на общее количество образующихся углеводов, но и изменяет соотношение между разными группами их.

Если связь калийного питания с накоплением углеводов (отмеченная в общей форме еще Либихом) находит согласное подтверждение у ряда авторов, то далеко нет однообразия в мнениях о том, в какой именно стадии образования (или превращения, передвижения) углеводов калий играет главную роль: в первичном ли синтезе простейших углеводов в листе или в их передвижении к местам отложения, или, наконец, в переходе от простых сахаров (глюкозы) к более сложным углеводам, как тростниковый сахар или крахмал.

Многие авторы полагали, что калий играет активную роль при самом процессе асимиляции, причем основанием для этого служила аналогия с рядом синтетических реакций, известных в органической химии, для которых необходимо присутствие калия. Так, Эбермайер указывал, что, например, окись углерода, реагируя с металлическим калием, дает калийное производное гексаоксибензола:

$$6CO + 6K = C_6(OK)_6,$$

из которого при действии кислоты получается гексаоксибензол $C_6(OH)_6$, между тем как с натрием такой синтез не идет.

Соответственно этому чешский агрохимик Стоклаза высказал мнение, что калий принимает активное участие в восстановлении H_2CO_3 сначала до HCOOH (муравьиная кислота), а затем до формальдегида (HCOH) и в процессе последующей полимеризации его с образованием глюкозы ($C_6H_{12}O_6$). Стоклаза даже предполагал, что калий входит в состав хлорофилла; если это последнее предположение отпало после работ Вильштеттера, показавшего, что из металлов только магний входит в состав хлорофилла, то явились попытки связать роль калия при асимиляции с его радиоактивностью. Однако это предположение не подтверждено никакими экспериментальными данными (во всяком случае другие радиоактивные элементы калия не заменяют).

Затем необходимо считаться с тем фактом, что калий нужен для развития и бесхлорофилльных организмов, следовательно при построении гипотез о его роли в растении нельзя ограничиваться одним процессом ассимиляции. Этим, однако, не ослабляется сказанное о значении калия в деле накопления и отложения углеводов.

Надо сказать, что, помимо отложения углеводов, ряд авторов отмечает влияние калия и на другие важнейшие стороны жизни растения; так, например, подчеркивают тот факт, что распределение калия связано с распределением белков в тканях растений,—его много в зонах роста (например в конусе нарастания), им богат камбий (но бедна древесина); зерна бобовых, богатые белками, содержат больше калия, чем зерна злаков; отсюда предположение о том, что калий имеет какое-то отношение и к образованию или превращению белковых веществ. Так как материал для построения углеродной цепочки в аминокислотах доставляется углеводами, то зависимость образования белков от наличности калия можно также поставить в связь с влиянием калия на образование углеводов[1].

Самый факт влияния калия на обмен азотистых веществ в растениях установлен достаточно четко. Даже в краткосрочных опытах с молодыми проростками растений наблюдается усиление поступления азота в присутствии калия, а кроме того, и определенное влияние калия на процессы синтеза азотистых веществ. Вот, например, данные одного из опытов с

[1] С этой же точки зрения можно объяснить положительное влияние калия на отложение жира в семенах масличных растений, так как жиры в растениях образуются из углеводов.

проростками сахарной свеклы 8-дневного возраста, которые в течении 24 часов находились в различных условиях питания азотом и калием (Любарская):

Условия питания	Прирост азота в растениях (в миллиграммах на 100 растений)			
	Общего N	N органических веществ	Белкового N	N аминокислот
$(NH_4)_2SO_4$	2,50	0,98	0,40	0,14
$(NH_4)_2SO_4 + KCl$	4,32	2,05	1,89	1,08

Как видно, в присутствии калия в растения поступило больше азота (это наблюдалось и при аммиачном и при нитратном питании) и в то же время образовалось больше органических азотистых веществ. В особенности резко выделяется значение калия для синтеза белковых веществ в том случае, когда источником азотистого питания служит аммиачная соль[1].

При недостатке калия, наряду с ослаблением интенсивности ассимиляции и других синтетических процессов, довольно определенно выявляется и замедление процессов оттока пластических веществ из листьев к местам потребления или отложения[2]. Вместе с тем имеются указания на то, что при калийном голодании растений усиливается трата углеводов на дыхание.

Уже из сказанного можно сделать заключение о том, что роль калия в растении является весьма многосторонней. Ко всему этому надо добавить, что немалая роль приписывается калию в части влияния его на физическое состояние коллоидов, образующих плазму и входящих в состав клеточных стенок: степень набухания этих коллоидов может колебаться в значительных пределах в зависимости от присутствия тех или других катионов в питательном растворе, причем калий (в противоположность кальцию и магнию) способствует набуханию коллоидов. Поддержание той степени набухания коллоидов, которая необходима для нормального течения процессов обмена веществ и других функций организма, повидимому, является одной из важнейших сторон роли калия в растении. В связи с этим находится также влияние калия на процессы поступления воды в клетки растения. Так, отмечается, что калий, способствуя поступлению воды, является важным фактором создания осмотического давления и тургора и (в отличие от кальция) несколько уменьшает испарение.

Повышением тургора клеток в известной степени можно объяснить наблюдения относительно повышения морозоустойчивости растений под влиянием достаточного обеспечения калием[3].

После того как было установлено, что калий не входит в состав хлорофилла, остался открытым вопрос о том, в какие же соединения, важные для жизни растений, входит калий. Из молодых органов растений значительная часть калия может быть извлечена водной вытяжкой (если взять высушенное растение или убитое нагреванием), меньшая часть его находится в форме, не только не переходящей в водную вытяжку, но не выделяющейся и при электродиализе; с возрастом растений доля менее подвижного калия увеличивается. Во всяком случае способность растений избирательно поглощать калий в количествах, заметно превышающих его концентрацию в окружающей среде, очевидна; это особенно ясно видно на примере водных растений; так, у водорослей концентрация калия внутри клетки может в 40 раз превышать содержание его в мор-

[1] Были высказаны предположения, что в этом случае имеет значение влияние калия на окислительно-восстановительные процессы в клетках растения (Турчин).

[2] Некоторыми авторами с этим ставится в связь также присутствие значительного количества калия в проводящей системе растений.

[3] Здесь может играть роль и повышение содержания углеводов под влиянием усиления калийного питания.

ской воде (тогда как для натрия имеет место обратное); подобные факты имеются и для представителей пресноводной флоры[1].

В общем же надо сказать, что вопрос о формах соединений калия в растениях пока остается исследованным далеко не полно.

Кроме влияния на массу и химический состав урожая, размер снабжения калием может сказываться на внешнем виде и на анатомическом строении отдельных органов растения[2].

Так, у злаков, кроме малой энергии кущения, при недостатке калия стебли характеризуются короткими междоузлиями, а листья, особенно нижние, вяло повисают книзу, несмотря на достаточное снабжение растения водой.

На других объектах (из двудольных) наблюдалось подавление развития боковых побегов из пазух листьев, в то время как главный стебель продолжает расти; нижние листья засыхают, а верхние развиваются только за счет оттока калия из отмирающих старых листьев.

При резком недостатке калия характерным признаком голодания растений является появление бурых пятен на пластинках листа, причем страдание начинается с периферической части листа, в то время как центральная часть листа около жилок остается еще зеленой. Наряду с этим, благодаря неравномерности роста листовой пластинки и сосудистой системы, листья растений при калийном голодании часто приобретают неправильную форму.

В условиях повышенного снабжения калием (как в вегетационных, так и в полевых опытах) листья обычно имеют более светлую окраску (особенно при внесении хлористых солей), однако усиление азотистого питания в этих условиях может возвратить листьям темнозеленый цвет.

Определение хлорофилла показало, что содержание его (в процентах от веса листьев) при внесении калийных солей снижается. Однако здесь могут быть замешаны побочные влияния. При благоприятных условиях ассимиляции на единицу хлорофилла образуется больше крахмала, и тогда процент хлорофилла в листьях будет пониженным. Это, видимо, и имеет место при внесении калийных солей. Но у нормально развитых растений вес всех листьев и особенно поверхность их гораздо больше, чем у растений, испытывающих недостаток калия.

Таким образом, нормальное растение совершенно иначе строит свой лист, чем голодающее: первое развертывает большую поверхность и по ней распределяет хлорофилл, образуя на единицу веса хлорофилла много ассимилятов, а во втором случае можно говорить об избыточном и потому «безработном» хлорофилле.

Механические элементы при недостатке калия не получают должного развития. Введение калия способствует нормальному развитию сосудистых пучков, клетки колленхимы утолщаются, лубяные пучки становятся более мощными (хотя микрохимическое исследование показывает, что калий скопляется не в этих элементах, а в клетках камбия, ситовидных трубках, сердцевинных лучах и в коре). Весь стебель при этом становится более прочным и менее наклонным полегать.

У *льна* калийные соли повышают выход волокна вследствие большого развития лубяных пучков. Но при этом небезразлично, с какими анионами вводится калий. В опытах Тобдера K_2SO_4 давал наилучшие результаты: лубяные клетки толстостенны, с малой полостью, плотно прилегают друг к другу (потому многогранны), лубяные пучки плотные, образуют почти сомкнутое кольцо; в случае же 40% соли (где преобладал KCl и присутствовал NaCl) клетки имели округлые очертания, большую полость и относительно менее уплотненные стенки, чем в случае K_2SO_4, и пучки были не столь плотными. На другом объекте (*рамие*) наблюдалось, что рыхлое расположение волокон сменялось под влиянием калийных солей наклонностью давать более сплошные пучки, и точно так же K_2SO_4 вызывал утолщение стенки, а 40% соль—увеличение полости клеток при меньшей толщине стенок лубяных волокон.

[1] Об избирательном поглощении калия говорят также опыты, обнаруживающие физиологическую кислотность калийных солей (т. е. более быстрое поглощение калия, например, из раствора K_2SO_4, по сравнению с серой), которая у некоторых растений (подсолнечник, кукуруза, сахарная свекла, горох) довольно заметно выражена (о физиологической кислотности солей—см. ниже, стр. 88).

[2] Кроме того, имеются указания (Laurent), что растения шпината, выращенные при преобладании калия в питательной смеси, дают в потомстве больший процент мужских растений, тогда как при преобладании азота в потомстве получается перевес женских особей (хотя на винограде Laurent этого не мог констатировать).

Что касается развития корней, то уже в упомянутых ранее опытах Вильфарта наблюдалось, что у корнеплодов недостаток калия неблагоприятно влияет прежде всего на развитие корня. Распределение сухого вещества урожая между корнями и листьями свеклы менялось так в зависимости от дозы калия:

	Минимальная доза калия	Промежуточная доза калия	Нормальная доза калия
Листья	90%	80%	34%
Корни	10%	20%	66%

Такие резкие эффекты, конечно, получаются лишь в песчаных культурах; однако и в полевых условиях при многолетнем повторении той же схемы результат может быть достаточно ясен.

Относительно влияния калийного питания на ход созревания данные не отличаются согласием, что и не удивительно, даже если речь идет не только об очень различных объектах, но и при одном и том же объекте—о разных дозах вносимого калия с разными анионами, при разном содержании его в почвенном субстрате, при различном уровне снабжения другими питательными веществами. Так, Шаффнит говорит об ускорении созревания при внесении калия (и фосфора), в отличие от азота, который вызывает запаздывание в созревании; в частности, он подчеркивает значение калия для своевременного вызревания древесины во времени наступления холодов у тех пород, которые чувствительны к морозам. С другой стороны, Рёссель приводит случай запаздывания в созревании для плодовых деревьев под влиянием калийного удобрения на легких почвах, а также приводит данные опыта с хлопчатником в Северной Каролине, где фосфорнокислое удобрение повышало, а калийное понижало процент коробочек, открывшихся ко времени первого сбора хлопка. Но такие наблюдения трудно поддаются обобщению, так как не во всех опытах можно различить влияние калия от влияния сопутствующего аниона (Cl и пр.), от влияния отношения K : P : N, так же как и от общих условий развития растения (влага, тепло), складывающихся весьма различно.

При резком недостатке калия растения нередко делаются легко доступными поражениям грибными заболеваниями. Так, корни свекловицы и клубни картофеля, выращенные в песчаных культурах при недостатке калия, легко загнивают (Крюгер), но и в полевых условиях наблюдались грибные заболевания для тимофеевки (при культуре болот) и для клевера на делянках, не получивших калия (Фейлицен). В Ротамстеде наблюдалось, что исключение из полного удобрения калия давало гораздо больший процент заболевания Helminthosporium, чем исключение фосфора.

Но нередко на фоне, не столь бедном калием, внесение калия (и фосфора) повышает стойкость против заболевания лишь постольку, поскольку этим устраняется односторонний избыток азота, при котором наклонность к грибным заболеваниям является повышенной.

КАЛЬЦИЙ

Необходимость кальция для растений признавалась уже Соссюром (1804) на основании анализов золы растений, всегда содержащих Ca. Однако окончательное доказательство значения Ca, как необходимого элемента, было получено при применении метода водных культур Кнопом, Саксом и др. Потребность в кальции для высших растений настолько сильно выражена, что часто проявляется еще в стадии прорастания—в отсутствии кальция проростки начинают страдать даже раньше, чем исчерпаны запасы семени. Так, Бем наблюдал (1875 г.), что в отсутствии кальция ростки бобов начинают отмирать раньше, чем исчерпан запас углеводов в семенодолях; отсюда он сделал вывод, что кальцию принадлежит специфическая роль при транспорте углеводов; однако работы автора (1894) показали, что не только углеводы, но и белки семенодолей мобилизуются лучше в присутствии кальция, весь обмен веществ идет более энергично и о специфической связи кальция с передвижением углеводов говорить трудно. Вообще следует заметить, что если необходимость Ca для растений можно считать четко установленной, то объяснения его роли давались весьма разнообразные. Обыкновенно говорят, следуя мнению, высказанному еще Либихом, что кальций служит «для нейтрализации избыточных кислот в растении»; но хотя действительно отложение кристаллов трудно растворимого щавелевокислого кальция представляет общераспространенное явление, однако ничем не доказано, что в этом случае кальций служит для удаления избыточной кислоты, а не наоборот—щавелевая кислота служит для удаления из раствора избыточного кальция, тем более что накопление органических кислот вовсе не представляет для растения какого-то неустранимого зла: образуясь при окислительных процессах за счет углеводов, они могут и дальше окисляться до углекислоты и воды. И мы действительно видим, что отнюдь не во всех растениях откладается щавелевокислый кальций; так, например, злаки и осоки его не содержат, а между тем они также без кальция развиваться не могут.

Своеобразно, что хотя кальций не входит в состав хлорофилла, однако зеленые растения богаче кальцием, чем бесхлорофилльные (бактерии и грибы частично могут, повидимому, вовсе обходиться без кальция); наружные листья капусты, содержащие хлорофилл, богаче кальцием, чем внутренние бесцветные; клевер богат кальцием, а паразитирующая на нем кускута бедна им и т. д.

Давно было подмечено ботаниками неодинаковое отношение различных растений к количеству извести в почве, на основании чего возникло деление растений на «любящие известь» и избегающие ее избытка. Так, бук предпочитает почвы с достаточным содержанием извести и выносит значительные ее количества, а каштан избегает известковых почв; по зарослям эспарцета в степи можно выделить участки почвы с бо́льшим содержанием извести, чем под преобладающей злаковой растительностью, и, наоборот, Aira caespitosa является показателем почв, бедных известью, а особенно не мирятся с известью виды Sphagnum и ряд других мхов. Однако в прежних наблюдениях этого рода недостаточно различалось влияние реакции среды от влияния иона кальция как такового; именно данные растительной географии не позволяют еще заключить, что мешает расти на известняках определенным группам растений—обилие ли ионов Ca или более щелочная реакция, это решает только физиологический опыт. Такие опыты показали, что для Sphagnum губительна именно щелочная[1] реакция, хотя бы она была вызвана и не кальцием, растворы же нейтральных солей кальция, как $CaSO_4$ и $Ca(NO_3)_2$, гораздо менее вредят этим растениям, чем $CaCO_3$; то же относится к вереску, росянке и многим другим растениям, «боящимся извести».

Таким образом, нужно различать потребность растений в извести, которая измеряется количеством кальция, уносимого с урожаем, от отношения растений к реакции среды, активным регулятором которой является известь; в том и другом случае между растениями существуют разительные различия, причем эти два ряда показателей изменяются не параллельно друг другу; например, люпин уносит больше кальция, чем пшеница, и в то же время страдает от такого содержания $CaCO_3$ в почве, которое благоприятно для пшеницы (подробнее см. в главе о применении извести.

Помимо прямой потребности того или иного вида растения в кальции, последний должен находиться в среде, окружающей корни, в известном соотношении с другими катионами.

Прежде всего было подмечено (Boehm, 1875) значение соотношения между кальцием и магнием; именно оказалось, что в отсутствие (или при ясно выраженном недостатке) кальция растению может вредить магний, введенный в тех количествах, в которых в присутствии кальция он не только хорошо переносится растением, но без которых не получается и нормального развития. В девяностых годах Оскар Лёв развил теорию о необходимости определенного соотношения между кальцием и магнием для получения нормального урожая каж-

[1] Некоторые виды Sphagnum развиваются наилучше при pH =3,5 и гибнут уже при pH=5,5, другие требуют pH =5,5 и гибнут при нейтральной реакции и т. д.

дого растения. Если последующие опыты не подтвердили строгого постоянства соотношения CaO : MgO для отдельных растений, то все же вред значительных отклонений (особенно в сторону преобладания магния) был подмечен Лёвом правильно. Впоследствии это оказалось лишь частным случаем явления, ставшего известным под названием антагонизма оснований и играющего важную роль в жизни как растительных, так и животных организмов. Так, представитель животной физиологии Жак Леб наблюдал (1902), что личинки морских ежей гибнут в растворе NaCl той концентрации, какая отвечает содержанию NaCl в морской воде, но если добавить к раствору NaCl какую-либо соль кальция, то вредное действие Na устраняется. Последующие работы на растительных объектах показали также токсическое действие одновалентных катионов и сильное антитоксическое действие кальция (Osterhout), причем также проявилось весьма энергичное защитное действие кальция против вредного действия отдельных одновалентных катионов, односторонне преобладающих в растворе; так, чтобы обезвредить влияние натрия, достаточно было ввести кальций в отношении к натрию, как 5 : 100, тогда как для достижения той же цели с помощью калия требовалось отношение 30 : 100.

Таким образом, с помощью кальция легче всего восстанавливается *физиологическая уравновешенность* раствора, нарушение которой (особенно в сторону преобладания магния) может резко сказываться на корневой системе растений. По наблюдениям Ганштеена (Норвегия), корневая система бобовых и злаковых в растворах солей калия и магния (без кальция) обнаруживает характерные заболевания—именно происходит разрушение клеток в зоне роста корня, клеточные стенки ослизняются и раствор мутнеет; дело в том, что пропитывающие клеточные стенки пектины и липоиды, дающие с кальцием мало растворимые и мало набухающие соединения, с калием дают соединения с обратными свойствами, тогда составные части клеточной стенки начинают переходить в окружающий раствор и делают его мутным.

Опыты Домонтовича, проведенные в лаборатории автора (1920), подтвердили эти наблюдения; именно при культуре по методу изолированного питания та часть корней, которая получала только соль кальция ($CaSO_4$ или $CaCl_2$), имела здоровый белый цвет, обладала должной твердостью консистенции и, благодаря обильному развитию, совершенно заполнила объем того сосуда (широкой пробирки), в котором дан был кальций; другая же часть корней, развивавшаяся в сосуде гораздо большего объема (несколько литров), получившая все питательные вещества, кроме кальция, была слабо развита, обнаруживая явления ослизнения, и не имела нормального цвета.

При этом вес корневой массы (в воздушно-сухом состоянии) во внутреннем сосуде (в пробирке), содержавшем только $CaSO_4$, равнялся 4,9 г, а в наружном (большом) сосуде, содержавшем все необходимые вещества, кроме Ca, он был в пять раз меньше (1,0 г).

Таким образом, наиболее отчетливо выявляется необходимость для развития нормальной корневой системы наличности ионов кальция в растворе, окружающем корни; нежелательные изменения клеточных стенок наступают, если Ca в окружающем растворе не дано или если он вытесняется из соединений (с липоидами, пектиновыми веществами и пр.) односторонним избытком Mg, K или Na.

Ионы водорода могут еще более энергично вытеснить Ca; здесь также существуют явления антагонизма, и если одновременно с концентрацией ионов водорода повышать концентрацию ионов кальция, то растения окажутся способными выносить более кислую реакцию, чем без введения дополнительных количеств Ca, хотя бы этот кальций был связан с сильными кислотами и концентрация ионов водорода не снижалась. Так, в опытах, проведенных в нашей лаборатории Домонтовичем (1923), введение $CaCl_2$ оказало такое влияние на рост корней пшеницы:

	pH	5,3	4,9	4,7	4,3	4,0
Средняя длина корней (в миллиметрах)	без Ca	25	29	24	3	0
	с Ca	64	64	70	67	48

В то время как подкисление дестиллированной воды совершенно парализовало рост при pH = 4,0, при подкислении раствора $CaCl_2$ до той же концентрации ионов водорода рост не только продолжался, но все еще превышал рост корней без Ca при pH = 5,3.

Возможно, что эта способность кальция обезвреживать (до известной степени) ионы водорода играет роль в тех случаях, когда на подзолистых почвах вносится кальций в форме, неспособной устранять кислотность, но могущей увеличивать стойкость растения против кислотности (гипсование клевера)[1].

Также в нашей лаборатории была вскоре подмечена еще и способность кальция обезвреживать избыток иона NH_4; так, в опытах Дикусара (1926 г. и 1927 г.) было найдено, что замена нитратного питания на аммиачное вызывает понижение поступления кальция в растение, т. е. кальций и аммоний также в какой-то мере являются антагонистами; поэтому наличие достаточного количества кальция в питательном растворе является одним из условий, необходимых для нормального развития растений при питании азотом в форме аммиачных солей; надо полагать, что дело здесь не ограничивается только явлениями антагонизма, но и связано с влиянием Ca на процессы превращения азотистых веществ в растениях.

Кроме одновалентных и двухвалентных катионов (H, K, Na, Mg), кальций может обезвреживать ионы и трехвалентных металлов (Al и Fe), которые могут присутствовать в кислой среде (в частности в кислых почвах).

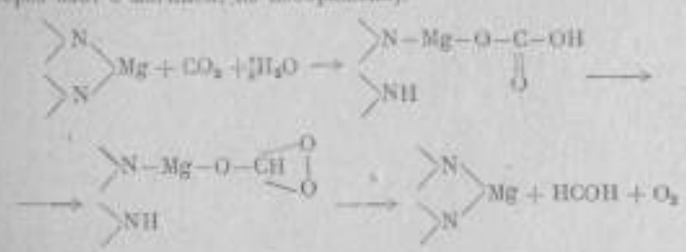
МАГНИЙ

Для магния не только установлена прямым опытом его безусловная необходимость для развития растений, но еще и известны вполне определенные соединения, в состав которых входит магний; к числу их относится прежде всего такое важное вещество, как хлорофилл. Исследованиями Вильштеттера и Штоля доказано, что магний является непременной составной частью молекулы хлорофилла и занимает в ней вполне определенное положение, именно он связан с азотом пиррольных колец (замещает водород в группах—NH—); он принимает непосредственное участие при фотосинтезе в образовании того промежуточного соединения хлорофилла с углекислотой, которое под влиянием энергии солнечных лучей претерпевает затем перегруппировку, и в конечном итоге от него отщепляется обратно уже не углекислота (H_2CO_3), а формальдегид (CH_2O) и кислород (O_2)*.

Однако участие в образовании хлорофилла и в процессе ассимиляции не является единственной функцией магния в растении; это видно уже из того факта, что магний нужен и для бесхлорофилльных организмов, да и в зеленых растениях только меньшая часть магния связана с хлорофиллом (это обнаруживается определением магния в спиртово-эфирной вытяжке, в которую переходит хлорофилл, но не переходит минеральные соединения магния).

[1] Это не исключает, а только дополняет другие полезные стороны гипсования (см. ниже стр. 416).

* Схематически этот процесс можно представить так (часть молекулы хлорофилла, соединенная через азот с магнием, не изображена):



В результате полимеризации формальдегида получается моносахарид (глюкоза): $6HCOH \rightarrow C_6H_{12}O_6$.

У низших организмов, в связи с отсутствием хлорофилла, магний в спиртово-эфирную вытяжку не переходит, но необходимость магния для них доказана еще давнишними опытами Ролена (Raulin) с Aspergillus, вес мицелия которого при возможно полном исключении магния достигал лишь 1,1% от нормального веса.

Характерно, что магний вместе с фосфором содержится преимущественно в жизнедеятельных тканях (в отличие от кальция, главное количество которого отлагается в отживших частях растения), и давно было высказано предположение, что магний имеет какое-то отношение к поступлению и передвижению фосфора в растениях. В последнее время показано, что магний активирует некоторые ферменты, например фосфатазы, способствующие образованию и расщеплению соединений глюкозы с фосфорной кислотой, играющих большую роль в углеводном обмене.

При созревании семян магний в значительной степени передвигается вместе с фосфором из листьев в семена, где отлагается в виде соли инозитофосфорной кислоты (фитин). Обычно по мере созревания происходит разрушение хлорофилла в вегетативных органах, в связи с чем уменьшается содержание магния в спиртово-эфирной вытяжке, и происходит отток магния к семенам; если же удалить органы плодоношения, то и распада хлорофилла не происходит, растение остается зеленым, продолжается развитие вегетативной массы (М. А. Егоров).

Кроме хлорофилла и фитина, часть магния в растении находится в соединении с пектиновыми веществами.

При недостатке магния происходит остановка роста, замечается своеобразный хлороз, именно листья становятся пестрыми вследствие того, что бледнеют участки между жилками листьев, вдоль же последних сохраняется зеленая окраска. С другой стороны, одностороннее питание магнием является вредным, и даже обычное для питательных смесей количество магния может быть идоитым для растения, если дать только соль магния, растворенную в дистиллированной воде; введение других катионов (особенно кальция) устраняет это вредное влияние одностороннего питания магнием.

ЖЕЛЕЗО

Недостаток железа сказывается очень резко на развитии растений, причем не только наблюдается задержка роста, но и образование светложелтых, а затем и почти совершенно белых листьев (явление хлороза). Связь такого заболевания растений с недостатком железа была подмечена еще в 1843 г. Гри (Gris), причем оказалось, что смачивание больных листьев слабым раствором какой-либо соли железа вызывает их позеленение.

Однако в природных условиях хлороз чаще наблюдается не от того, что в почве мало железа, а от неблагоприятных условий для перехода его в раствор; это случается, например, на почвах, богатых известью, особенно при культуре на них растений, в природных условиях приспособившихся к слабокислой реакции почвы, как люпин (кроме того, бывают случаи хлороза, вызванные другими причинами, чем недостаток железа).

Первоначально думали, что недостаток железа мешает образованию хлорофилла потому, что железо входит в состав хлорофилла; но когда строение молекулы хлорофилла было выяснено (работы Вильштеттера), то оказалось, что из зольных элементов только магний входит в состав хлорофилла, и тогда пришлось признать, что присутствие железа в растении является только необходимым условием для образования хлорофилла.

Однако роль железа в растениях не ограничивается его отношением к образованию хлорофилла,—это ясно из того факта, что не только зеленые растения, но и бесхлорофилльные организмы не могут развиваться при отсутствии железа; считается, что железо играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в растениях, что ставят в связь с его способностью

переходить из окисной формы в закисную и обратно; железу приписывается большая роль в процессах дыхания и полагают, что оно входит в состав некоторых дыхательных ферментов.

В растение железо может поступать как в окисных, так и в закисных соединениях, но во втором случае естественно ожидать перехода значительной его части в окисные соединения; однако при повышении дозы железа в питательном растворе раньше сказывается вредное действие закисной формы, чем окисной. В некоторых случаях удобно давать железо в соединении с органическими кислотами, например в виде цитрата, что предохраняет железо от выпадения в осадок при подщелочении раствора (благодаря способности лимонной кислоты давать комплексные соединения с железом).

В самом растении железо, видимо, находится в малоподвижных высокомолекулярных соединениях; это видно уже из того факта, что при хлорозе оно не перемещается из ранее образовавшихся зеленых листьев в более молодые (хлоротические).

В нашей лаборатории наблюдался «полошнчатый хлороз» листьев кукурузы при ее выращивании по методу изолированного питания, причем одна прядь корней получала железо, а другая не получала. Поступая по сосудистым пучкам в одну половину листа, железо вызывало нормальную зеленую окраску только этой половины, но оно не могло проникнуть в поперечном направлении, и другая половина листа оставалась хлоротичной.

При всей важности железа для жизни растений его требуется много меньше, чем калия или кальция; содержание железа в растениях выражается чаще всего сотыми долями процента.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

В то время как значение N, P, S, K, Mg, Ca и Fe было подмечено еще в 50-х и 60-х годах XIX века при опытах в водных и песчаных культурах с «химически чистыми» (по тогдашним представлениям) солями, необходимость микроэлементов (так условно обозначаются элементы, которые требуются растениям в малых количествах) была подмечена гораздо позднее (преимущественно в XX веке). Это связано с тем, что: 1) потребность растений в микроэлементах (бор, марганец, медь, цинк и др.) гораздо меньше, чем потребность в азоте, калии и некоторых других элементах; 2) злаки (рожь, овес, пшеница, ячмень, кукуруза), с которыми преимущественно ставили опыты в период изучения водных и песчаных культур, отличаются несколько меньшей потребностью в микроэлементах, чем сахарная свекла, табак, бобы, конопля и другие культуры, с которыми стали работать позднее; 3) обычные реактивы, песок и дистиллированная вода содержат все-таки примеси микроэлементов, и для того, чтобы подметить потребность растения в этих последних, необходимо применять более чистые реактивы, чем обычно употребляемые в лабораториях для аналитических целей, а также обращать особое внимание на чистоту дистиллированной воды.

Марганец. Значение марганца вначале было замечено в опытах с низшими организмами. Так, в опытах Бертрана с Aspergillus, если употреблялись специально очищенные реактивы, гриб не мог расти нормально в отсутствие марганца, конидии вовсе не развивались; при введении марганца в количестве одной части на миллиард частей раствора вес гриба увеличивался в несколько раз, и конидии развивались нормально. Недостаток марганца для высших растений приводит к нарушению образования хлорофилла и вызывает задержку в росте. Бренчли (Ротамстед) обнаружила наибольшее стимулирование роста растений при концентрации $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ в 1 : 10 000 000.

В нашей лаборатории Гальцев (1907—1909) и Чириков (1913—1914) наблюдали положительное действие марганца на развитие клевера и пшеницы при внесении его в дозах 0,05—0,1 г MnO на сосуд. Позднее Шестаков и Шмыденков наблюдали сильную задержку в развитии конопли в отсутствие марганца, а также наличие пятнистого хлороза и закручивание листьев. В природных

условиях внесение марганца может быть полезно на известковых почвах, где марганец труднее доступен растениям вследствие перехода его растворимой части в плохо растворимые соединения. Этим объясняется успех применения марганцевых удобрений во Флориде. В Западной Европе недостаток усвояемого марганца замечен на переизвесткованных почвах; на овсе в таких случаях проявляется заболевание «серой пятнистостью». Это заболевание заключается в том, что на листьях от основания появляются продолговатые серо-зеленые или буро-зеленые пятна, постепенно сливающиеся в полосы; листья при этом начинают загибаться. В то же самое время верхняя часть листа может сохранять зеленый цвет. При сильном развитии болезни может появиться белый колос, растения имеют «обожженный» вид. В таких случаях внесение в почву марганца устраняет наступление заболевания растений.

Что касается объяснения полезного действия марганца, то его связывают с влиянием на окислительно-восстановительные процессы. В частности, в работах последнего времени (Burström и др.) установлено влияние марганца на редукцию нитратов.

В вегетационных опытах внесение марганца в питательный раствор иногда не оказывает резкого влияния на урожай растений. Это может быть связано с наличием примеси марганца в хлорном железе, которое применяется в питательных смесях в качестве источника железа.

Наряду с положительным известны случаи вредного действия избыточных количеств марганца—это относится, например, к некоторым кислым латеритам субтропиков, в которых марганец составляет иногда главную часть поглощенных катионов (такие случаи наблюдались в Калифорнии); на Гавайских островах, где обычной культурой являются ананасы, приходится бороться со своеобразным хлорозом у растений, вызываемым избытком растворимого марганца в этих кислых почвах и индуцированным антагонизма между марганцем и железом. Такой хлороз лечат, опрыскивая растения раствором $FeSO_4$, а в предупреждение этого явления вносят в почву значительное количество извести (а также навоза).

Бор. Maze (Франция, 1915 г.) наблюдал, что в дистиллированной воде растение в присутствии казалось бы всех (по прежним представлениям) необходимых элементов через несколько недель останавливается в росте, тогда как при употреблении водопроводной воды та же самая смесь дает нормальное развитие растений; при испытании дополнительного введения ряда элементов в питательную смесь удалось получить нормальное развитие и на дистиллированной воде; при этом выяснилось значительное влияние введения бора (в виде буры, 4 мг на 1 л раствора). Вслед затем в различных странах, в том числе и у нас, в Союзе, было проведено большое число исследований как в условиях вегетационного, так и полевого опыта, которые показали не только весьма важное значение бора как питательного элемента, но в ряде мест и практическое значение содержащих бор удобрений.

В очень малых количествах бор встречается в том «чистом» кварцевом песке, который применяется при вегетационных опытах и в реактивах; следы бора можно найти даже в некоторых случаях в дистиллированной воде. В питательный раствор может попасть небольшое количество бора также из стекол стеклянных и глазурованных сосудов, в которых ставятся опыты. Кроме того, на результаты опыта влияет также содержание бора в семенах и неодинаковая потребность растений в отношении бора. Все это вносит большое разнообразие в результаты многочисленных опытов с бором.

При условии полного отсутствия бора в питательном растворе недостаток в нем сказывается на развитии растения очень рано. Но и в обычных условиях постановки опыта в водных и песчаных культурах растения скоро начинают ощущать недостаток бора, особенно же те из них, которые имеют мелкие семена: сахарная свекла, табак и др.

Недостаток бора сказывается на замирании точки роста. Это было выяснено на ряде растений: сахарной свекле, льне, кенафе, подсолнечнике и т. д. Сахарная свекла в вегетационных опытах часто болела гнилью сердечка. В Германии это заболевание сахарной свеклы встречается и в полевых условиях. Полагали, что заболевание это паралитического характера, вызываемое грибком Phoma betae. Однако при включении в питательный раствор бора сахарная и кормовая свекла не болеют гнилью сердечка (Бобко и Белоусов, Бранденбург). Этими опытами и разрешился вопрос в том смысле, что отсутствие бора вызывает замирание точки роста, а гниение сердечка и сухая гниль у свеклы представляют собой вторичное явление. Очевидно, недостаток бора является первой причиной и при заболевании льна бактериозом. В опытах с кенафом и подсолнечником (Шестаков и Шмыгденков) при недостатке бора точно так же наблюдалось замирание точки роста, резкое страдание молодых листьев, которые к тому же теряли способность поворачиваться в течение дня к солнцу. После отмирания верхушечной точки роста из пазухи листа (обычно последовательно от молодых к старым листьям) развивались побеги, которые затем также скоро останавливались в росте. В то же время старые листья по внешнему виду были совершенно здоровы. Анатомический анализ страдающей части растений показал разрушение проводящей системы при недостатке бора. Все это приводит к выводу о малой подвижности бора в растениях. При недостатке бора и расстройстве в связи с этим проводящей системы углеводы (редуцирующие сахара) задерживаются в пластинке листа (Белоусов), а это вызывает, очевидно, нарушение снабжения углеводами различных органов растений и подавление ассимиляции. Очень важно снабжение растений бором к моменту цветения. В рыльце, завязи, пестиках и тычинках содержится значительное количество бора, и обеспечение им растений к этому времени приводит к усиленному оплодотворению и плодообразованию. При недостатке бора многие цветы опадают без оплодотворения, и урожай семян резко понижается или семян не получается даже совсем. Бор играет большую роль и в развитии корневой системы. При исключении бора из питательного раствора корневая система развивается слабее и на корнях бобовых не образуются клубеньки (Бренчли).

В природной обстановке бор оказывает значительное действие на переизвесткованных почвах (например при частом применении дефекационной грязи на полях, близких к сахарным заводам), а также на известкованных подзолистых почвах (при дозировке извести по гидролитической кислотности). Встречаются почвы, бедные усвояемыми соединениями бора и независимо от известкования, притом как на севере (бедные песчаные почвы), так и на юге (своеобразные заболевания на обширных табачных плантациях в голландских колониях на о. Суматра оказались зависящими от недостатка бора).

Но, с другой стороны, известен ряд случаев вредного действия бора. Так, в Калифорнии в некоторых почвах засушливых местностей бор является ядовитой составной частью; наблюдались также случаи опадения листьев у апельсинных, лимонных деревьев, у винограда от затопления водами, содержащими бор в количестве 50 : 1 000 000; иногда в калийных солях (Америка) встречается содержание бора, заставляющее избегать больших доз таких солей, а затем там же (в штате Виргиния) наблюдался вред от навоза, обработанного бурой (для уничтожения мух).

В полевых опытах, проведенных в СССР, положительное действие бора наблюдалось при внесении его под лен, клевер (особенно семенной), люцерну (в подзолистой зоне) и другие культуры (см. подробнее, стр. 429).

Медь. Медь содержится в растениях в очень малом количестве (от 0,001 до 0,01%). При проведении опытов в обычных условиях в водных и песчаных культурах недостаток меди не отмечается благодаря наличию примеси ее соединений в реактивах. Если же опыты ставятся в особо чистых условиях, то возникает необходимость включать в питательную смесь и небольшое количество какой-либо соли меди, так как в этих условиях уже проявляется недостаток ее—на листьях образуются светлые пятна и задерживается рост растений. По внешнему виду страдание листьев несколько напоминает пятнистый хлороз, который получается при недостатке марганца. Предпо-

лагается, что медь в растениях играет некоторую роль при окислительных процессах.

В почвах обычно содержится небольшое количество меди, но этого количества меди вполне достаточно для получения высоких урожаев растений; однако при культуре низинных торфяников очень часто растения страдают от недостатка меди. Это явление было отмечено уже давно в разных странах. Заболевание растений получило различные названия: «болезнь обработки» (Urbarmachungskrankheit), «болезнь верещатников» (Heidemoorkrankheit), «белая чума» (Weisseuche). Все эти названия болезни растений мало вскрывают суть дела. У хлебных злаков заболевание заключается в том, что кончики листьев становятся белыми и растения хотя и выбрасывают колосья, но не дают нормального развития зерна. В результате страдания растений урожай зерна снижается, но урожай общей массы может не измениться. При сильно выраженном страдании листья засыхают, а выброшенные колосья становятся белыми и зерна совершенно не развиваются или же растения кустятся, но не выбрасывают колосьев. В таком случае снижается не только урожай зерна, но и урожай общей массы.

По данным Института болотного хозяйства, вышеотмеченное заболевание растений распространено на почвах низинных болот БССР, в Кировской, Смоленской, Московской и других областях. В последнее время делаются попытки на основании анализа почвы (торфа) по содержанию в ней меди судить о возможности заболевания растений от недостатка меди. Установлено, что ячмень и яровая пшеница более страдают от этого заболевания, чем озимая рожь и озимая пшеница, овес различных сортов страдает неодинаково, а страдание картофеля замечено лишь в искусственных условиях. Ясно выражено страдание и понижение урожая семян у крестоцветных и бобовых.

Внесением меди в почву в виде $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (20—30 кг на 1 га) болезнь совершенно устраняется[1].

РОЛЬ КРЕМНИЯ, ХЛОРА И НАТРИЯ

Если рассмотренные выше элементы являются в такой степени необходимыми для растения, что их полное исключение вызывает остановку роста и различие между ними состоит лишь в размере потребности в том или другом элементе, то могут быть случаи, которые не укладываются в эту категорию. Именно некоторые элементы, не играя прямой роли в питании растений, могут быть в известной мере косвенно полезными для более сильного роста, для образования наибольшей массы урожая или для придания ей тех или иных свойств без того, чтобы их отсутствие останавливало развитие или мешало растению пройти весь жизненный цикл с неплохими даже результатами. Так как отношение растений к таким элементам может быть неодинаковым и действие их не всегда четко выражено, то понятно, что часто могли встречаться разногласия между отдельными авторами по вопросу о значении таких элементов, в особенности если эти авторы работали с различными объектами.

Кремний. По вопросу о значении кремния для растений было немало разногласий. Если Либих, идя аналитическим путем, не мог в своих первых выступлениях отграничить значение кремния от значения первостепенных элементов, то первые же опыты выращивания растений без кремния обнаружили, что его роль была преувеличена.

У ряда растений в стеблях содержится большое количество кремния. На этом основании был высказан взгляд, согласно которому кремний, отложенный в стеблях, обусловливает устойчивость хлебных злаков против полегания, но это не подтвердилось.

Еще в 1862 г. было показано, что кукуруза развивается нормально, если ей не давать кремния, но все-таки такое растение содержало в золе 0,7% SiO_2

[1] О применении удобрений, содержащих микроэлементы, см. стр. 429.

(вместо 20%), так как крупные семена кукурузы содержат заметные количества SiO_2 (не говоря о возможности заимствования из стенок стеклянного сосуда, если их не покрыть парафином). Поэтому позднее были проведены опыты выращивания четырех поколений кукурузы подряд без введения SiO_2, со всеми предосторожностями против возможности участия составных частей стекла; при этом и в четвертом поколении не было отступлений от нормы в развитии растения и плодоношении[1]. Но возможны специфические случаи, когда, при отсутствии кремнекислоты, те органы, где она обычно отлагается, без нее будут обладать иными физическими свойствами (пленки зерен проса, волоски крапивы), хотя в остальном развитие растений нисколько не нарушается. Позднее отмечены наблюдения, что в случае крайнего недостатка фосфора введение коллоидальной кремнекислоты несколько улучшает развитие растений, способствуя лучшему использованию скудного запаса фосфора в среде, окружающей корни. Но это влияние наблюдается в такой крайней степени фосфорного голодания и так невелико по абсолютным размерам, что практического значения не имеет.

Хлор. В течение довольно долгого времени был спорным вопрос о значении хлора для растений. Ноббе утверждал, что, например, у гречихи, выращенной без хлора, нарушается передвижение углеводов из листьев к зернам и наблюдается скручивание листьев. Но дело в том, что мы не можем вносить или исключать один хлор, ибо дело идет не о свободном хлоре, а о солях хлористоводородной кислоты. Поэтому нужно поставить опыт так, чтобы, вводя или удаляя анион, не слишком уменьшить количество какого-либо катиона из числа необходимых для растения или не создать этим изменением в питательном растворе тенденции к кислой или щелочной реакции (см. сказанное ниже о физиологической реакции солей).

В первое время развития метода водных культур эти обстоятельства не принимались во внимание. Когда же нами были проведены опыты (1902 г.) с введением и удалением хлора без изменения количеств основных питательных веществ в растворе и с устранением побочных влияний реакции, то оказалось, что к присутствию или отсутствию хлора гречиха относилась совершенно безразлично. Но если специфическая роль хлора в случае гречихи не нашла себе подтверждения в наших опытах и явлений, описанных Ноббе (скручивание листьев), не наблюдалось, то на известных объектах (свекла, лен) все же отмечалось благоприятное действие хлора не в смысле прямого питательного его значения, но благодаря косвенному влиянию на поступление других элементов; так, например, если в питательную смесь, содержащую $(NH_4)_2SO_4$ и KH_2PO_4, внести NaCl, то может увеличиться скорость поступления в растения ионов калия и аммония (ионы хлора обладают большей подвижностью, чем SO_4'', H_2PO_4' и HPO_4'', а более быстрое поступление в растение анионов должно сопровождаться усилением поступления катионов, в частности $K^{\cdot}$ и $NH_4^{\cdot}$). Однако различные растения неодинаково относятся к накоплению хлора в их тканях; так, в то время как сахарная свекла, родственная некоторым солончаковым формам, относится благоприятно к известному содержанию хлора, у картофеля, наоборот, хлориды вызывают снижение содержания крахмала и повышение количества воды в клубнях (есть также указания на чувствительность к хлоридам горчицы).

Натрий. Иногда бывает трудно провести различие между благоприятным косвенным действием некоторых элементов и прямым их питательным значением, тем более что обе функции могут совмещаться; повидимому, такой пример

[1] Впрочем, в последнее время появились указания на необходимость кремния растениям в малых количествах (как микроэлемента). В частности, четкие результаты в этом смысле получены в опытах со столовой свеклой [Raleigh, Plant. Phys., V. 14, 1939]. Возможно, что, как и в случае с другими микроэлементами, выявление необходимости кремния (в малых количествах) затруднялось присутствием небольших примесей его в реактивах, а также особенностями взятых для опыта растений. Кроме примеси в реактивах, источником небольших количеств Si могут быть стенки стеклянного сосуда. Оказалось, что парафинирование таких сосудов не вполне предохраняет от этого, так как в слое парафина образуются трещины; Raleigh свои опыты проводил в железных сосудах.

мы имеем в случае натрия. Натрий обнаруживает полезное косвенное действие, как усилитель калийного питания, так как не только в почве имеет место переведение в раствор поглощенного калия при внесении солей натрия, но и в самом растении натрий при недостатке калия может способствовать перемещению калия из прекративших рост частей растений к точкам роста; это наглядно показал следующий опыт Риппеля: если поставить срезанные ветви сирени в одном случае в дистиллированную воду, а в другом ввести еще NaCl, то почки развиваются сильнее во втором случае вследствие лучшего снабжения их калием.

Но, с другой стороны, есть ряд фактов, указывающих на прямое значение натрия для некоторых растений, в частности для сахарной свеклы, на которую, например, сильвинит, содержащий примесь NaCl, оказывает лучшее действие, чем чистый хлористый калий. Так как в большинстве таких случаев не расчленено действие натрия и хлора, то представляет интерес следующий опыт (Дружинина и Ширшова), в котором количество хлора было постоянным, изменялось только соотношение между внесенными в почву количествами KCl и NaCl:

	I	II	III	IV
Дано на сосуд K	16	12	8	4
» » » Na	0	4	8	12
Прирост веса урожая на сосуд (в граммах)	89	108	160	119
» сахара (в граммах)	18,5	20,2	31,7	21,9

Здесь отмечается положительное влияние частичной замены калия на натрий при постоянном количестве хлора, но нужно заметить, что в этом опыте равенство внесенных с удобрениями K и Na (III) не означает равенства наличности этих элементов, так как главная масса калия содержалась в почве (деградированный чернозем). Кроме того, и здесь, как и при оценке микроэлементов, приходится считаться с индивидуальностью отдельных растений в значительной мере, чем при оценке значения семи основных элементов (N, P, S, K, Ca, Mg, Fe), и многое, наблюденное на сахарной свекле, может не иметь того же значения, например, для картофеля и ряда других растений.

При полном исключении калия из питательного раствора натрий не может заменить его, и растения при добавлении натрия страдают так же (в отсутствие калия), как и без него; таким образом, основных функций калия натрий заменить в растении не может.

Известно, что калий способствует передвижению растворимых углеводов из листьев в другие органы. Опыты, проведенные в нашей лаборатории, показывают, что натрий (NaCl), внесенный дополнительно к калию, также усиливает отток углеводов из пластинки листа сахарной свеклы в корень.

ПОСТУПЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЕ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Известно, что углекислоту высшие растения берут из воздуха через листья, поступление же воды, зольных элементов и азота в основном происходит через корни[1].

Поступление веществ в корни растения из окружающей среды представляет сложный процесс, детали которого во многом еще не выяснены с исчерпывающей полнотой. Остановимся здесь на рассмотрении главнейших фактов и существующих представлений в этой области, которые необходимы для лучшего понимания условий, создающихся при питании растений в естественной обстановке.

Растения не воспринимают находящиеся в окружающем растворе вещества пассивно, вместе с транспирационным током воды. Достаточно убедительным

[1] Искусственно и зольные элементы могут быть введены прямо в листья, например путем смачивания листьев раствором соответствующего вещества. Весьма демонстративны в этом отношении опыты с железом, именно смачиванием листьев раствором соли железа можно частично устранить хлороз, вызванный недостатком Fe (см. стр. 72 и 74). Успешные опыты с внекорневым (через листья) питанием Mg, K проводились в нашей лаборатории Домонтовичем и Железновым (1929 г.).

доказательством этого факта является то обстоятельство, что состав зольных веществ растения не отвечает составу раствора, окружающего корни. Растение воспринимает минеральные вещества в ином соотношении. Мало того, разные растения при выращивании на одинаковом растворе или на одной и той же почве обнаруживают разный состав золы, хотя и подверженный некоторым колебаниям, но для каждого типа растения сохраняющий известные типичные черты. Это видно из следующих примеров:

Растения и их части	В 100 частях золы содержится[1]						Процент золы в сухом веществе
	K_2O	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	SiO_2	
Пшеница (зерно)	30,5	2,8	12,0	48,9	1,3	1,5	2,1
Ячмень (целое растение)	25,4	5,8	3,0	10,3	2,9	42,8	6,5
Красный клевер (в цвету)	32,3	34,9	10,9	9,6	3,2	2,7	6,9
Клубни картофеля	60,1	2,6	4,9	16,9	6,5	2,0	3,8
Листья табака	19,1	26,0	7,4	4,7	6,1	5,8	17,2
Корень хрена	39,0	10,1	3,7	10,4	24,7	7,2	8,5
Кора старого дуба	4,4	92,8	1,2	0,4	0,3	0,6	7,2
Хвощ	8,0	8,6	1,8	1,4	2,8	70,6	26,7

Приведенные в этой таблице данные характерны для целых групп растений. Так, не только пшеница, а вообще зерновые хлеба содержат в золе зерен много калия и фосфорной кислоты, меньше магния и еще меньше кальция. Ячмень не составляет исключения, но приведенные во втором ряду данные относятся к целому растению, и здесь сказалось большое содержание кремнекислоты в соломе злаков. Далее, в золе соломы катионы располагаются в ином порядке, именно здесь K>Ca>Mg, в то время как в зернах мы имеем ряд: K>Mg>Ca. Для клевера и других бобовых характерно большое содержание калия и кальция в золе вегетативных органов; то же относится и к листьям табака. Зола клубней картофеля отличается очень высоким содержанием калия (как и у корнеплодов) при низком проценте кальция. Зола хрена богата серой не случайно: крестоцветные, содержащие горчичные масла (соединения типа RCNS), вообще более богаты серой, чем другие растения. В коре дуба отложено много избыточного кальция, что часто имеет место в отмирающих тканях. Наконец, хвощ характеризуется таким высоким содержанием кремнекислоты в золе, что превосходит в этом отношении даже солому злаковых[2].

Способность растений воспринимать и накоплять одни вещества в большем количестве, чем другие, нередко называют «избирательной способностью». Однако этот термин в применении к растительным организмам имеет, понятно, иной смысл, чем когда говорят о животных.

Рассматривая сначала более простую систему, чем высшее растение в целом, а именно взаимодействие отдельно взятой растительной клетки с окружающим

[1] Для упрощения таблицы не дано содержание Na_2O, Fe_2O_3 и Cl.

[2] Нужно заметить, что содержание золы и состав ее в отдельных растениях не являются строго постоянными; здесь имеют место значительные отклонения, зависящие от состава субстрата, от возраста растения, от соотношения в развитии органов (областенность, соотношение между вегетативными и репродуктивными органами), от климатических условий и т. д., но эти отклонения не устраняют наличия отмеченных выше закономерностей, как это видно из таких примеров:

	Процент золы в сухом веществе	В 100 частях золы содержится			
		K_2O	CaO	MgO	P_2O_5
Зерна пшеницы	1,6—2,5	23,2—4,1	0,6—8,2	9,1—16,3	39,2—53,7
Солома пшеницы	4,5—7,0	9,5—27,4	2,7—8,9	1,3—5,2	2,2—8,9

ее раствором, мы можем констатировать наличие нескольких факторов, влияющих на поступление в клетку растворенных веществ.

1. Если концентрация находящегося во внешнем растворе вещества выше, чем в клетке, то оно может диффундировать из окружающей среды по общим правилам проникновения молекул (или ионов[1]) через перепонки от большей концентрации данного вещества извне (например нитраты) к меньшей (внутри клетки). Этот процесс, вместо того чтобы окончиться после выравнивания концентрации снаружи и внутри клетки, может идти здесь непрерывно, если к процессу диффундирования вещества извне присоединяются еще и другие явления внутри клетки, постоянно снижающие концентрацию поступающего вещества. Так, например, при поступлении таких ионов, как NO_3', SO_4'', H_2PO_4', в наличии в клетке синтетических процессов азот, сера, фосфор (после ряда превращений) входят в состав органических соединений, что вызывает дальнейшее поступление минеральных веществ извне. Для того чтобы шел такой процесс, не нужно непременно образование нерастворимых веществ, а достаточно образования высокомолекулярных соединений коллоидного типа, неспособных диффундировать во внешний раствор. Таково, например, образование за счет аммиака и нитратов белковых соединений, часть которых хотя и растворима в воде, но во внешнюю среду не диффундирует. Количество белков будет расти за счет простых соединений (аммиака, азотной кислоты), которые будут продолжать поступать в клетку по мере потребления их в процессе синтеза более сложных веществ.

Так как различные вещества, проникающие в клетку, далеко не все и не в одинаковых размерах участвуют в синтезе органических соединений, то и для поступления различных веществ создаются неодинаковые условия[2].

[1] Заметим, что когда говорят о поступлении *ионов*, то по существу речь идет об эквивалентном прохождении катионов и анионов; надо только принимать во внимание, что, кроме катионов и анионов той или другой соли, в растворе всегда присутствуют ионы H^+ и OH', а также продукты диссоциации углекислоты (H^+ и HCO_3'). Так, например, поступление аниона NO_3' из раствора $NaNO_3$ может совершаться или параллельно с поступлением катиона Na^+, или вместе с ионом водорода в обмен на *выделяемые* растением во внешний раствор анионы HCO_3' (см. ниже о связи между поступлением и дыханием, а также схему на стр. 89).

[2] Подобное явление извлечения из окружающего раствора одних веществ предпочтительно перед другими может быть демонстрировано в упрощенном виде такой моделью. Возьмем цилиндр из пористой глины и введем в него достаточное количество углекислого бария; затем погрузим этот цилиндр в слабый раствор двух веществ, именно серной кислоты и поваренной соли. Оба вещества будут проникать внутрь цилиндра, но приток хлористого натрия после выравнивания концентрации во внешней и внутренней среде остановится; серная же кислота, дающая с барием нерастворимое соединение ($BaSO_4$), будет выводиться из раствора, и вследствие снижения концентрации внутрь цилиндра будут проникать постоянно все новые и новые количества H_2SO_4. Если мы ввели достаточно $BaCO_3$, то наша модель клетки, при всей ее грубости, все-таки извлечет всю серную кислоту из раствора, а большая часть NaCl в нем останется.

Отметим, что роль полупроницаемой перепонки, через которую могут проходить одни вещества и не могут проходить другие, в клетке принадлежит не клеточной стенке, а протоплазме (или ее внешнему пограничному слою), так как клеточная стенка легко пропускает самые разнообразные вещества.

Если мы в клетке имеем осмотическое давление, то оно зависит от свойств плазмы, а клеточная стенка лишь защищает нежную плазматическую оболочку и не только от внешних воздействий, но и от риска разрыва от внутреннего давления, вызываемого осмотическим явлением.

Если, например, мы внутри имеем клеточный сок, содержащий растворимые углеводы (сахара), и слой плазмы, изолирующий клеточный сок от внешнего раствора, то именно плазма играет роль полупроницаемой перепонки, т. е. перепонки, легко проницаемой для воды и трудно проницаемой для сахаров. Вода из внешнего раствора проникает внутрь клетки и создает в ней давление тем большее, чем больше в клетке находится сахара (а наиболее распространенный представитель простых сахаров—глюкоза—легко образуется в клетках за счет крахмала, который как нерастворимое в воде вещество осмотического давления не вызывает).

Помимо того что плазму в целом можно рассматривать как полупроницаемую перепонку (если иметь в виду проникание вещества из внешнего раствора в клеточный сок у клеток с сильно развитой вакуолью), следует различать еще и два пограничных слоя протоплазмы: наружный пограничный слой (плазмолемма) и внутренний пограничный слой (тонопласт). Между этими двумя пограничными слоями находится слой так называемой «мезоплазмы». Соответственно, различают такие два случая поступления вещества в клетку: 1) вещество проникает через наружный пограничный слой в мезоплазму и 2) вещество проникает через наружный пограничный слой, мезоплазму и тонопласт в вакуоль (немецкие термины «Intrabilität» и «Permeabilität»; см., например, З. Шгруггер, Практикум по физиологии растительных клеток и тканей, М.—Л., 1939).

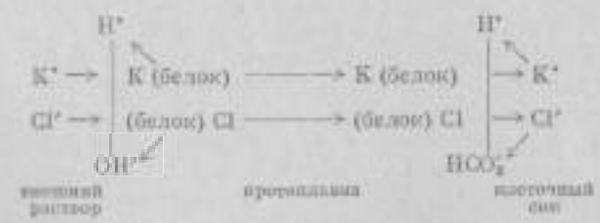
2. Присутствие в клетке неспособных к диффузии через внешний пограничный слой плазмы ионов оказывает некоторое влияние на распределение между внешним раствором и содержимым клетки ионов, способных проникать через такого рода «перепонку».

Так, согласно правилу Донана о «перепоночном равновесии», присутствие недиффундирующих анионов по одну сторону полупроницаемой перепонки (например, внутри клетки) может быть причиной повышения концентрации по эту же сторону перепонки способных к диффузии катионов[1]. Так как содержание в клетках высокомолекулярных органических соединений (таких, например, как белки) изменяется в процессе их синтеза (или распада), то это может вызывать соответствующие изменения в распределении ионов между внешним раствором и клеткой.

3. Коллоиды протоплазмы обладают способностью адсорбировать и десорбировать растворенные вещества. Адсорбционные процессы у внешней поверхности плазмы можно рассматривать в качестве первого этапа поступления веществ из внешнего раствора в клетку. При этом различия в способности адсорбироваться коллоидами протоплазмы могут, повидимому, оказывать соответствующее влияние и на соотношение поступающих в клетку веществ. В определенных условиях удается наблюдать явления обмена ионов между внешней средой и коллоидами растительных клеток[2].

Процесс поступления солей в клетку с участием адсорбции по Бруксу (Brooks, 1937) можно представить следующим образом: белковые вещества плазмы, имеющие как ацидоидные (кислотные), так и базоидные (основные) группы, адсорбируют у внешней поверхности плазмы катионы и анионы питательных солей, а затем, после миграции к внутреннему слою протоплазмы, десорбируют их в клеточный сок в обмен на ионы H^+ и HCO_3', всегда присутствующие в живой клетке, ибо при дыхании образуется CO_2, дающая с водой H_2CO_3.

Соответственно этому, одновременное поступление и катионов и анионов соли Брукс[3] изображает такой схемой:



[1] Концентрация не способных к диффузии анионов, наоборот, в этом случае должна быть здесь меньше. Если же по одну сторону перепонки находятся недиффундирующие катионы, то влияние их на распределение проникающих катионов и анионов должно быть обратным. Математическое выражение этого правила и его вывод приводится нами в другом месте (см. стр. 143).

[2] Так, при погружении корней в раствор соли K, Na или Mg (и не содержащий Ca) поглощение катионов K, Na или Mg сопровождается выделением корнями ионов кальция, причем кальций выделяется в количестве большем, чем при опускании корней в дистиллированную воду. Аналогичное явление (выделение корнями калия) наблюдалось в недавних опытах Иенни (Jenny) при погружении корней в суспензию глины, содержащей в адсорбированном состоянии Na, Ca, H или NH_4.

[3] Trans. Faraday Soc., 33, 1002 (1937). Заметим по поводу этой схемы, что CO_2 образуется при дыхании не в клеточном соке, а в протоплазме, поэтому десорбция, т. е. вытеснение катиона и аниона поступившей соли из соединения с белком может иметь место и в отсутствие в клетке вакуоли.

Протоплазма, согласно этому представлению, обладает «мозаичной» структурой (наличие основных и кислотных групп белковых молекул).

4. Процессы *обмена веществ* в клетке и, в частности, *окислительные процессы при дыхании*, по всей вероятности, играют важнейшую роль в качестве факторов, регулирующих поступление веществ в клетку из окружающей среды. Во всяком случае, зависимость между накоплением минеральных веществ в клетках и интенсивностью биохимических процессов в них установлена с несомненностью. Поступление растворенных веществ в клетку происходит *не только по направлению от большей концентрации к меньшей* (как это раньше представляли), но часто, например, клеточный сок имеет значительно более высокую концентрацию минеральных веществ, чем внешний раствор, из которого эти вещества поступают в клетку. Это хорошо было показано на больших клетках водорослей Valonia и Nitella, из которых клеточный сок легко может быть извлечен.

Так, например, в одном из определений концентрация калия в клеточном соке водоросли Valonia оказалась в 43 раза выше, чем в окружающем растворе (Остергаут). В другом опыте (Хогланд и Дэвис) концентрация калия в клеточном соке Nitella была в 13 раз, а сумма ионов $Cl' + Br'$ в 100 раз выше, чем во внешнем растворе.

Для того чтобы создавалась и поддерживалась такая разница в концентрации ионов между внешним раствором и клеточным соком, необходима затрата энергии, источником которой являются, очевидно, биохимические процессы в клетке и в первую очередь процесс дыхания.

Помимо того, что дыхание является источником энергии, необходимой для активного поглощения растворенных веществ, известное значение имеет и то обстоятельство, что при дыхании образуется CO_2, а следовательно, H_2CO_3 и ионы $H^{\cdot} + HCO_3'$, выделяемые из клетки во внешний раствор.

Поступление питательных веществ в высшее растение представляется, конечно, более сложным, чем в отдельно взятую клетку. Перечисленные выше факторы сохраняют свое значение по отношению к каждой клетке корневой системы, через которые (клетки) проходит транспирационный ток и осуществляется первая ступень вхождения веществ из внешней среды в растение. Эти вещества не остаются в клетках корней, а поступают далее в сосудисто-проводящую систему, по которой передвигаются к стеблям и листьям, где главным образом и происходит их ассимиляция.

Несомненно, что *ассимиляция в растении поступающих через корни веществ имеет первостепенное значение в качестве фактора, определяющего суммарные размеры поступления.*

Менее определенна роль таких факторов, как указанное выше «перепоночное равновесие» (Доннана), або статического равновесия ни в клетках корня, ни в растении в целом не устанавливается, а происходит *динамический процесс поступления веществ и ассимиляции их растениями.*

Адсорбция растворенных веществ коллоидами усвояющей части корневой системы, повидимому, может иметь *существенное значение*, особенно когда растение вынуждено поглощать питательные вещества из растворов очень слабой концентрации, как это чаще всего имеет место в природе.

Зависимость поглощения минеральных веществ растениями от *интенсивности дыхания корней* констатирована достаточно четко. Люндегорд (1933) отмечал особенно тесную связь между *дыханием* и поглощением растениями *анионов*, имея в виду, в частности, возможность своего рода «обмена» между поступающими в растение анионами (например, NO_3', SO_4'', Cl') и выделяющимся во внешний раствор (в процессе дыхания) анионом HCO_3'.

В опытах с нитратами и хлоридами K, Na, Rb, Ca, Mg и NH_4 Люндегорд и Бурштрем находили параллелизм между поглощением анионов NO_3' и Cl' и выделением корнями углекислоты. Однако интенсивность дыхания связана не только с поступлением анионов (и обменом на ионы HCO_3'), но и с поглощением солей вообще, включая и катионы. Так, например, Петри (Petrie, 1933) наблюдал более интенсивное поглощение калия и кальция, наряду с анионами NO_3', SO_4'', Cl', при нормальном содержании кислорода в растворе, чем при пониженной

концентрации его (что вызывало понижение интенсивности дыхания). Так, в одном из опытов наблюдалось:

Концентрация кислорода (в процентах)		21	2—3
Дыхание (в миллиграммах CO_2 в час)		3,92	2,07
Поглощено (в миллиграмм-ионах на 1 г сухой массы корней)	$K^{\cdot}$	9,10	6,04
	SO_4''	0,24	0,12
Вес корней (в граммах)		0,149	0,137

Так как дыхание клеток корневой системы зависит от притока ассимилятов в корни из листьев, то и *поглощение минеральных веществ должно находиться в связи с развитием и деятельностью ассимилирующих органов.* Изменения в интенсивности ростовых и ассимиляционных процессов с возрастом растения сказываются соответствующим образом и на поступлении веществ в растение.

Развитие *самой корневой системы*, увеличение ее поглощающей поверхности, понятно, также сказывается на ее способности поглощать питательные вещества. Образование мощной корневой системы с большой усвояющей поверхностью имеет особенно существенное значение в тех случаях, когда растения берут питательные вещества из трудно растворимых соединений, для усвоения которых необходимо активное воздействие корней на внешнюю среду и тесный контакт между корневыми волосками и содержащей питательные вещества твердой фазой[1].

Способность проникновения в растение *не ограничена* строго одними *только необходимыми для жизни растения веществами*; растение может воспринимать в избытке некоторые вещества, необходимые лишь в очень ограниченном количестве. Поэтому-то *не анализ золы, а опыт выращивания растений в искусственной среде решает вопрос о размерах потребности растения в том или другом элементе.* Можно сказать, что растение располагает достаточными возможностями поглощать и усваивать питательные элементы, если они имеются в должном количестве в окружающем растворе, но оно не может устранить частичного поступления и других элементов, если они безвредны (иначе изменяются свойства плазмы и происходит отравление растения).

Нормальное функционирование корневой системы растения возможно только при известных свойствах внешнего раствора, как общая концентрация солей в нем, концентрация ионов водорода (реакция раствора) и соотношение количества других элементов.

Избыточная концентрация окружающего раствора, встречающаяся, например, в засоленных почвах, вредна для растения: она затрудняет поступление воды в клетки корня, и при перенесении растения из слабого раствора солей в крепкий или избыточном внесении солей (хотя бы и важных для жизни растения) может получиться даже отнятие воды от клеток (плазмолиз). Но достаточно уже замедления поступления воды из окружающего раствора в корень, чтобы растения начали страдать или даже погибли; когда листья испаряют больше воды, чем им подает корень, то наступает завядание, от которого растения могут оправиться только в случае, если потеря воды листьями не перешла известного критического предела. В связи с этим при искусственном выращивании растений применяют лишь слабые растворы (2—3 г на 1 л). Ниже мы увидим, что и почвенный раствор имеет обычно еще более низкую концентрацию.

РЕАКЦИЯ СРЕДЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАСТЕНИЯ

При выращивании растений в искусственной среде (в водных или песчаных культурах) было обнаружено существенное значение реакции среды: для того чтобы растение нормально развивалось, приходится избегать как щелочной, так и излишне кислой среды.

[1] Ввиду того большого значения, какое имеет в агрохимии вопрос об усвоении питательных веществ из трудно растворимых соединений, мы возвратимся ниже к более подробному его освещению (см. стр. 103).

В природных условиях реакция почвенного раствора также имеет большое значение,—она не должна отклониться за известные пределы, но разные растения обнаруживают неодинаковую чувствительность к этим отклонениям.

Для того чтобы иметь возможность точнее охарактеризовать отношение растений к реакции раствора, пользуясь общепринятыми обозначениями (в частности, символом pH), нам необходимо ближе остановиться на некоторых свойствах растворов и на явлениях диссоциации, понимание которых имеет большое значение также и в связи с видами почвенной кислотности, о которых нам придется говорить в следующей главе.

Как известно, ряд химических соединений (соли, кислоты, щелочи) обладает способностью в водных растворах распадаться на ионы, т. е. части молекул, имеющие противоположные электрические заряды. Соединения эти, называемые электролитами, сообщают растворам способность проводить электрический ток. Прохождение тока через раствор сводится к передвижению частиц, несущих заряды, т. е. ионов, и чем больше в растворе веществ, способных распадаться на ионы, тем больше электропроводность раствора; чистая вода практически тока не проводит.

Процесс распадения молекул на ионы, происходящий при растворении того или иного вещества в воде, носит название электролитической диссоциации. Для обозначения ионов, имеющих положительный заряд (катионы), ставят точки, а ионов с отрицательными зарядами (анионы)—штрихи (например, $K^{\cdot}$, NO_3'). Электролитическая диссоциация протекает таким образом, что молекула соли распадается на ион металла (катион) и анион, состоящий из остатка кислоты; молекула кислоты распадается с отщеплением положительно заряженного иона водорода и отрицательно заряженного иона—остатка кислоты, а щелочи при диссоциации дают ион металла и в качестве аниона—группу OH' (гидроксил), например:

Соли	Кислоты	Основания
$KCl \rightarrow K^{\cdot} + Cl'$	$HCl \rightarrow H^{\cdot} + Cl'$	$NaOH \rightarrow Na^{\cdot} + OH'$
$CaCl_2 \rightarrow Ca^{\cdot\cdot} + 2Cl'$	$HNO_3 \rightarrow H^{\cdot} + NO_3'$	$NH_4OH \rightarrow NH_4^{\cdot} + OH'$
$Na_2SO_4 \rightarrow 2Na^{\cdot} + SO_4''$	$H_2SO_4 \rightarrow 2H^{\cdot} + SO_4''$	$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{\cdot\cdot} + 2OH'$

У сильных электролитов в разбавленных растворах распадение молекул на ионы идет нацело. У слабых электролитов в растворе наряду с ионами остается еще некоторое количество недиссоциированных молекул. Чем большее число молекул распадается на ионы, тем больше будет степень диссоциации.

Для всех кислот характерным является содержание водорода, способного в растворе отщепляться в виде иона. Кислый характер растворов вызывается именно присутствием положительно заряженного иона водорода и (при условии одинаковой концентрации ионов водорода) не зависит от того, с каким кислотным остатком (радикалом) этот водород был связан.

Кислоты бывают сильные и слабые. Различие между теми и другими заключается в степени диссоциации. Например, если мы возьмем одинаковые объемы децинормальных растворов уксусной и соляной кислот, то в этих объемах будем иметь по одинаковому числу молекул кислоты, но HCl, являющаяся сильной кислотой, диссоциирует очень сильно (в данных условиях примерно 98% ее молекул распадутся на ионы). Уксусная кислота значительно слабее соляной и распадается на ионы в тех же условиях всего на 1% и создает концентрацию иона H, по сравнению с соляной кислотой, в 98 раз меньшую. Таким образом, в растворах уксусной и соляной кислот одинаковой общей концентрации мы будем иметь различную концентрацию водородного иона и соответственно различную силу проявления кислотных свойств (кислый вкус, растворяющее действие на металлы, действие на живые организмы и т. д.).

Но концентрация ионов водорода в растворе определяет только *активную кислотность раствора*. От активной кислотности следует отличать *потенциальную кислотность*, которая зависит от содержания в растворе недиссоциированных молекул кислоты. Если вернуться к вышеприведенному примеру, то в растворе соляной кислоты мы имели большую активную кислотность и почти полное отсутствие потенциальной кислотности; в растворе уксусной кислоты, напротив, при малой активной кислотности находилось большое количество недиссоциированных молекул, создающих значительную потенциальную кислотность раствора. Эти недиссоциированные молекулы, не принимая участия в создании активной кислотности, тем не менее, при прибавлении раствора щелочи могут вступать в реакцию со щелочью и нейтрализовать ее. Сумма активной и потенциальной кислотности составляет общую кислотность раствора. Общая кислотность определяется с помощью титрования.

Сильные кислоты	Слабые кислоты
Соляная HCl	Азотистая HNO_2
Азотная HNO_3	Уксусная CH_3COOH
Серная H_2SO_4	Угольная H_2CO_3

Количественно различие между сильными и слабыми электролитами характеризуется величинами *констант диссоциации* (K). Чем выше константа диссоциации кислоты, тем

большая часть молекул кислоты, при определенной ее концентрации, находится в диссоциированном состоянии:

$$K = \frac{C_H \cdot C_A}{C_{HA}},$$

где C_H и C_A обозначают концентрации продуктов диссоциации, а C_{HA}—концентрацию недиссоциированных молекул кислоты.

Многоосновные кислоты имеют несколько ступеней диссоциации; так, например, H_2CO_3 имеет две ступени диссоциации, а H_3PO_4—три ступени. Каждая ступень диссоциации имеет свою константу диссоциации, причем часто практически сказывается лишь первая ступень. Приведем здесь величины констант диссоциации многоосновных кислот, с которыми постоянно приходится встречаться в агрохимии:

Кислоты	Ступень диссоциации	t°C	K
H_2CO_3	I. $H_2CO_3 \rightleftarrows H^{\cdot} + HCO_3'$	18	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
	II. $HCO_3' \rightleftarrows H^{\cdot} + CO_3''$	18	$4{,}6 \cdot 10^{-11}$
H_3PO_4	I. $H_3PO_4 \rightleftarrows H^{\cdot} + H_2PO_4'$	18	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$
	II. $H_2PO_4' \rightleftarrows H^{\cdot} + HPO_4''$	18	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$
	III. $HPO_4'' \rightleftarrows H^{\cdot} + PO_4'''$	18	$3{,}6 \cdot 10^{-12}$
H_2SO_4	I. $H_2SO_4 \rightleftarrows H^{\cdot} + HSO_4'$	25	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$
	II. $HSO_4' \rightleftarrows H^{\cdot} + SO_4''$	25	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$

Для всех щелочей или оснований общим является гидроксильный ион—OH', сообщающий растворам щелочную реакцию. В зависимости от степени диссоциации различают основания сильные и слабые, например:

Сильные основания	Менее сильные	Слабые
NaOH	$Ca(OH)_2$	$Fe(OH)_3$
KOH	NH_4OH	$Al(OH)_3$

При взаимной нейтрализации из кислоты и щелочи получается соль. При этом из водородного иона кислоты и гидроксильного иона щелочи получаются нейтральные молекулы воды. Вместе с исчезновением водородных и гидроксильных ионов исчезает и кислый и основной характер исходных растворов. Катионы щелочи и анионы кислоты при нейтрализации не претерпевают изменений. Так, если соли нацело диссоциированы, то эти ионы так и остаются в растворе в виде ионов:

$$\underset{\text{соляная кислота}}{(H^{\cdot} + Cl')} + \underset{\text{едкий натр}}{(Na^{\cdot} + OH')} = \underset{\text{хлористый натрий}}{(Na^{\cdot} + Cl')} + \underset{\text{вода}}{H_2O}.$$

Значительное накопление водородных или гидроксильных ионов свойственно кислым и щелочным растворам; по мере же приближения к нейтральной точке количество их уменьшается. Однако в водных растворах всегда остается хотя бы очень небольшое количество водородных и гидроксильных ионов. Даже совершенно чистая вода все-таки проявляет явления диссоциации, распадаясь на ионы ($H_2O = H^{\cdot} + OH'$), хотя и в ничтожной мере, а именно: при нейтральной реакции вода содержит в 1 л одну десятимиллионную грамма ионов водорода и эквивалентное количество гидроксильных ионов. Таким образом, в воде и в нейтральных растворах концентрации водородных и гидроксильных ионов одинаковы, и каждая равна $\frac{1}{10^7}$.

Введение одноименных ионов подавляет диссоциацию воды, поэтому при прибавлении как кислоты, так и щелочи, отщепляющих ионы $H^{\cdot}$ или OH', диссоциация воды уменьшается таким образом, что произведение (но не сумма) концентраций ионов $H^{\cdot}$ и OH' остается постоянной величиной, равной 10^{-14} или:

$$K_w = [H^{\cdot}] \cdot [OH'] = \frac{1}{10^7} \cdot \frac{1}{10^7} = \frac{1}{10^{14}} (*).$$

* Квадратные скобки заменяют слово «концентрация».

Прибавляя к воде кислоту, мы увеличиваем концентрацию водородных ионов и одновременно, в силу подавления диссоциации воды водородными ионами кислоты, уменьшаем число гидроксильных ионов в растворе. Наоборот, вводя щелочь и повышая концентрацию гидроксилов, уменьшаем содержание водородных ионов: произведение концентраций этих ионов остается постоянным и равным $\frac{1}{10^{14}}$ (*), а если изменение концентрации каждого из них связано определенной зависимостью с изменением концентрации другого, то для характеристики реакции раствора достаточно назвать концентрацию или ионов водорода или ионов гидроксила. Обычно принято указывать концентрацию ионов водорода, причем чаще всего приходится иметь дело с концентрацией от 0,001-нормальной (0,001-*н*) до концентрации в миллион раз меньшей. Как известно, подобный ряд величин для упрощения выражается как 10^{-3}, 10^{-4} и т. д., или $\frac{1}{10^3}$, $\frac{1}{10^4}$ и т. д.

Для дальнейшего упрощения в данном случае принято писать только ту степень, в которую возводится 10 (в знаменателе дроби), и обозначать этот показатель символом pH. Тогда мы для выражения вышеизложенных соотношений имеем лишь один ряд величин pH для всех оттенков реакций, например:

	Кислая		Слабокислая		Нейтральная	Слабощелочная		Щелочная
pH	3	4	5	6	7	8	9	10

Этим рядом целых чисел заменяются два ряда дробных величин:

Концентрация ионов водорода	$\frac{1}{10^3}$	$\frac{1}{10^4}$	$\frac{1}{10^5}$	$\frac{1}{10^6}$	$\frac{1}{10^7}$	$\frac{1}{10^8}$	$\frac{1}{10^9}$	$\frac{1}{10^{10}}$
Концентрация ионов гидроксила	$\frac{1}{10^{11}}$	$\frac{1}{10^{10}}$	$\frac{1}{10^9}$	$\frac{1}{10^8}$	$\frac{1}{10^7}$	$\frac{1}{10^6}$	$\frac{1}{10^5}$	$\frac{1}{10^4}$

Символ pH постоянно употребляется в литературе по агрохимии и ряду других дисциплин. Нужно лишь помнить, что *значение его изменяется в обратном направлении с возрастанием концентрации ионов водорода* (т. е. чем ниже pH, тем больше кислотность раствора), потому что pH есть степень, в которую возводится число 10, стоящее *в знаменателе* той дроби, которая служит для выражения концентрации ионов водорода**.

Растения отличаются различной чувствительностью к кислотности, которая прежде не могла быть точно учтена; только усовершенствованная в последние 20—25 лет методика определения pH позволила разделить растения на несколько групп в этом отношении, а именно: одни из них совершенно не выносят кислой реакции и могут развиваться только при нейтральной или слабощелочной реакции, как люцерна (близко к ней стоят сахарная свекла и ячмень); за ними идут пшеница, горох, клевер, еще менее требовательны рожь и лен. Наиболее же выносят кислую реакцию почвы люпин и овес; при этом одни растения, выносящие кислую реакцию, могут расти и при другой реакции: так, например, овес является обычным растением для кислых северных почв и в то же время удается в черноземной полосе на тех самых почвах, которые так хорошо отвечают требованиям свекловицы; овес удается даже на богатых известью почвах Средней Азии, тогда как люпин более строго приурочен к почвам кислого

* Эта величина K_w отвечает температуре 25° Ц; с изменением температуры она несколько меняется, например:

t°Ц	0	18	25	50
$K_w \cdot 10^{14}$	0,12	0,59	1,04	5,66

** Более точно pH определяется как отрицательный логарифм величины, выражающей концентрацию ионов водорода, например, $\lg(2 \cdot 10^{-2}) = \lg 2 - 2 = (0{,}3 - 2) = -1{,}70$; но, меняя знак, пишут pH = 1,70.

интервала и не выносит почв, богатых основаниями. Эти отношения разных растений к реакции среды выражаются приблизительно такими значениями pH:

Растение	Оптимум	Растет в пределах	Растение	Оптимум	Растет в пределах
Люпин	4—5	4—6	Клевер	6—6,5	5—8
Картофель	5	4—8	Горох	6—7	5—8
Овес	5—6	4—8	Пшеница	6—7	5—8
Рожь	5—6	4—7	Свекла	7	6—8
Лен	5—6	4—7	Люцерна	7—8	6—8

Приведенные цифры имеют относительное значение, так как влияние реакции среды отчасти зависит от того фона, на который оно налагается; так, в растворе, богатом другими катионами, та же степень кислотности переносится лучше, чем если мы возьмем чистую воду и доведем реакцию до известной степени pH прибавлением одной только кислоты. Точно так же и в почвах, в зависимости от состава почвенного раствора, степень вреда от кислотности неодинакова. Поэтому приведенные нормы pH не следует считать за абсолютные, но они дают сравнительную характеристику отношения культурных растений к реакции среды[1].

Влияние реакции среды на растение проявляется различным образом. Кроме прямого действия концентрации ионов водорода (во внешнем растворе) на состояние коллоидов поверхности корневой системы, при подкислении раствора может происходить проникновение ионов водорода в ткани и изменение pH клеточного сока. При этом обычно не происходит выравнивания реакции; так, например, наблюдалось, что при подкислении внешнего раствора на единицу pH реакция клеточного сока изменялась всего только на 0,1 pH. Следовательно, растение проявляет способность как бы сопротивляться изменению реакции при повышении кислотности внешнего раствора. Очевидно, это связано с буферным действием протоплазмы и клеточного сока.

Концентрация ионов водорода (и гидроксила) оказывает некоторое влияние на поступление солей в растение. Не раз отмечалось, что кислая реакция должна повышать поступление анионов (вместе с ионом водорода), а щелочная, наоборот,—поступление катионов. Такого рода зависимость наблюдается, в частности, когда растению предоставляется в качестве источника азота NH_4NO_3. Но известно немало фактов, которые не согласуются с этим правилом. Так, например, Люндегорд в тщательно проведенных опытах с проростками овса наблюдал (в интервале от 5,5 до 6,5 pH) заметное повышение поступления магния и некоторое снижение поступления кальция при переходе к более высоким значениям pH. Поступление же калия в этих опытах не обнаружило вообще каких-либо закономерностей в зависимости от pH. Таким образом, нельзя говорить о влиянии pH на поступление катионов или анионов вообще, ибо при разном составе раствора результат может быть различным.

Вообще необходимо заметить, что характер действия концентрации ионов водорода на растение находится в определенной зависимости от содержания в растворе других ионов. Отрицательное действие ионов водорода проявляется резче при малом количестве других катионов и особенно кальция, который играет в этом отношении исключительную роль (см., например, результаты опыта, приведенного на стр. 70, где говорилось о роли кальция).

Влияние состава питательного раствора на положение оптимальной точки pH наблюдалось у нас в опытах (И. Дмусара) по сравнению источников азота (аммиака и нитратов) для растений[2]. В течение нескольких *лет* одинаково наблюдалось, что если установить гра-

[1] См. также об этом ниже, в главе об известковании почв.

[2] Подробнее о сравнительном значении этих форм азотистого питания см. ниже, стр. 91.

дации pH в 4,0—5,5—7,0—8,0, то при аммиачном питании (для сахарной свеклы) оптимальным было pH =7,0, а при нитратном pH =5,5, например:

Средний вес корня в граммах	pH	4,0	5,5	7,0	8,0
	Нитратное питание	29	220	55	27
	Аммиачное питание	0	33	185	11

Аналогичные результаты наблюдались нами и в опытах с кукурузой. При анализе растений было обнаружено пониженное содержание кальция в листьях растений, развивавшихся при кислой реакции и аммиачном питании:

Содержание Ca в процентах	pH	5,5	7,0
	Нитратное питание	0,32	0,48
	Аммиачное »	0,18	0,38

Таким образом, получается, что при известных условиях избыток ионов $H^{\cdot}$ и $NH_4^{\cdot}$ в растворе может затруднять поступление кальция в растение. Соответственно этому, нам удавалось значительно усилить развитие растения (свекла) в кислом интервале (pH =5,5) при аммиачном питании введением в питательный раствор повышенных количеств кальция (в виде $CaSO_4$), например:

CaO в миллиграммах на литр	4,0	160
Вес растений в граммах	100,0	248,0

Таким образом, мы имеем дело со сложным взаимодействием между концентрацией ионов водорода, аммония и кальция, и ожидать простой зависимости развития растений от pH нельзя. Повышение содержания магния и калия в растворе способно влиять в том же направлении, как и содержание кальция, но количественно это влияние слабее, чем влияние кальция.

При рассмотрении вопроса о влиянии реакции среды на поступление питательных веществ в растение следует иметь в виду, помимо прямого действия pH на растение, также и косвенное влияние, которое оказывается путем изменения состава раствора, связанного с различным значением pH. Изменение реакции питательного раствора может вызывать или растворение или, наоборот, выпадение в осадок различных питательных элементов. Так, в зависимости от реакции среды находится растворимость солей фосфорной кислоты. При этом растворимость фосфорнокислых солей Ca и Mg увеличивается при подкислении и уменьшается при подщелочении раствора[1]. Растворимость фосфорной кислоты фосфатов железа и алюминия, наоборот, в известном интервале pH повышается при подщелочении раствора и уменьшается при подкислении (слабом).

Изменение реакции среды далее сопровождается или выпадением в осадок или растворением таких соединений, как $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, а также соединений марганца и др. Выпадение железа под влиянием подщелочения может вызвать недостаток его для растения (что случается иногда в водных культурах) и заболевание хлорозом. С другой стороны, при подкислении среды увеличение растворимости соединений алюминия (а иногда и марганца) способно оказать явно вредное действие на растение[2], причем разные растения проявляют неодинаковую чувствительность к наличию в растворе алюминия (при кислой реакции).

О ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ СОЛЕЙ

С химической стороны соли, вносимые в питательный раствор в искусственных культурах, как и применяемые в целях удобрения, могут быть или нейтральными, как $NaNO_3$, KCl, K_2SO_4, или же обладать кислыми или щелочными свойствами. Так, например, соли $(NH_4)_2CO_3$, K_2CO_3, K_2HPO_4 сообщают раствору щелочную реакцию, так как при гидролизе (взаимодействие с водой) дают более сильное основание и менее сильную кислоту (или кислую соль):

$$K_2CO_3 + H_2O \rightarrow KOH + KHCO_3;$$
$$KHCO_3 + H_2O \rightarrow KOH + H_2CO_3 \text{ и т. д.}$$

[1] Так как при переходе к щелочной реакции образуется малорастворимая соль $CaHPO_4$ или даже $Ca_3(PO_4)_2$, а при кислой—$Ca(H_2PO_4)_2$—соль, хорошо растворимая в воде.

[2] Примеры и значение этого фактора в почвенных условиях см. ниже, стр. 398.

Соли слабого основания и сильной кислоты, как $FeCl_3$ (вносится в искусственных питательных смесях), сообщают раствору кислую реакцию:

$$FeCl_3 + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3HCl.$$

Однозамещенные фосфаты $Ca(H_2PO_4)_2$, KH_2PO_4 и др. также подкисляют раствор (вследствие диссоциации H_2PO_4'):

$$KH_2PO_4 \rightarrow K^{\cdot} + H_2PO_4';$$
$$H_2PO_4' \rightarrow H^{\cdot} + HPO_4''.$$

Но, кроме чисто *химической* характеристики солей, надо иметь в виду и их *физиологическую характеристику*, которая обусловлена *неодинаковым использованием растениями катионов и анионов* растворенных солей. В связи с этим введение даже вполне нейтральных (в химическом отношении) солей не гарантирует сохранения нейтральной реакции в дальнейшем, по мере того как будет происходить процесс питания растения.

Поэтому нужно отличать первичную реакцию солей от той *тенденции к изменению реакции среды*, которая вызывается самим растением, питающимся данной солью. Так как в одних случаях в растворе накопляются щелочные, а в других кислые остатки, хотя исходные соли и были нейтральны, то в этом смысле делят соли на *физиологически щелочные* и *физиологически кислые*. Так, например, если мы дадим растению азот в виде $NaNO_3$, то азот растением воспринимается и ассимилируется в бо́льших количествах, чем натрий. Поэтому в растворе будут накопляться щелочные остатки, в связи с чем $NaNO_3$ и характеризуется как *физиологически щелочная соль*.

Процесс этот можно представить так.

В растворе, в результате диссоциации $NaNO_3$, присутствуют ионы $Na^{\cdot}$ и NO_3', а кроме того, продукты диссоциации воды и выделяемой корнями углекислоты, т. е. $H^{\cdot}$, OH' и HCO_3'. В растение поступают и $Na^{\cdot}$ и NO_3', но NO_3', подвергаясь в растении превращениям с образованием в конечном счете белковых и других органических азотистых соединений, поступает в большем количестве, чем $Na^{\cdot}$. При этом часть ионов NO_3' (сверх той, которая проходит в эквивалентном количестве с $Na^{\cdot}$) поступает в обмен на выделяемые растением анионы HCO_3' и вместе с ионами $H^{\cdot}$. Соответствующее количество ионов $Na^{\cdot}$ остается в растворе вместе с анионами OH' и HCO_3'. Следовательно, внешний раствор будет обогащаться $NaHCO_3$, отчего реакция его будет становиться щелочной.

Схематически этот процесс можно представить так:

раствор	растение	раствор	растение
$Na^{\cdot}$	$\longrightarrow$		$Na^{\cdot}$
NO_3'			NO_3'

$Na^{\cdot}$	$\longrightarrow$	$Na^{\cdot}$	$H^{\cdot}$
NO_3'		HCO_3'	NO_3'
$H^{\cdot}$			
HCO_3'			

Обратное имеем, например, в случае NH_4Cl [или $(NH_4)_2SO_4$]; растение гораздо энергичнее поглощает NH_4, чем HCl, и среда, окружающая корни, может становиться настолько кислой, что растение будет страдать и даже погибнет от созданной им же самим кислой реакции, если только одновременно в окружающей среде нет веществ, способных нейтрализовать накопляющуюся кислоту, как, например, $CaCO_3$.

В связи с этим такие соединения, как NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, относятся к группе солей *физиологически кислых*.

Такие соли, как NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, являются *наиболее типичными* представителями физиологически кислых солей [так же как $NaNO_3$ и $Ca(NO_3)_2$—

физиологически щелочных]. Эта характеристика сохраняет свое значение вне зависимости от того, какому растению предоставляются данные соли в качестве источника азота. Несколько сложнее оказался вопрос о физиологической реакции *калийных солей*. В литературе имели место противоречивые высказывания по этому вопросу.

Так, вначале было общераспространенным мнение о том, что хлористый калий является физиологически кислой солью. В основе этого мнения лежали априорные соображения, высказанные в свое время Адольфом Майером (1881) о том, что калий, как необходимый для растения элемент, должен поглощаться в большем количестве, чем ненужный растению хлор. Когда же стали это положение проверять опытным путем, то столкнулись с противоречивыми данными. Так, в 1909 г. Пантанелли в опытах с проростками тыквы наблюдал более быстрое поступление хлора, по сравнению с калием, а Ломанчик (1927) в опытах с двумя сортами ячменя обнаружил довольно равномерное поглощение калия и хлора (т. е. KCl вел себя в первом случае как соль физиологически щелочная, а во втором—как физиологически нейтральная). Вопреки этому Кашен (1929) на основании опытов с кукурузой, проведенных методом изолированного питания, констатировал явную физиологическую кислотность хлористого калия.

Причина этих противоречий, как это было выяснено работами нашей лаборатории, состояла в том, что разные авторы, работая с различными культурами, не учитывали индивидуальности растения. В действительности оказалось, что *физиологическая реакция хлористого калия находится в резкой зависимости от вида растения*. В наших опытах с овсом и ячменем калий и хлор из раствора хлористого калия поглощались почти в эквивалентном количестве, в опытах с горохом наблюдалась заметная физиологическая кислотность (т. е. более интенсивное поступление $K^{\cdot}$, чем Cl'). Наконец, опыты, проведенные с кукурузой и подсолнечником, показали явную физиологическую кислотность хлористого калия. Также и в опытах со свеклой было обнаружено значительное преобладание поглощения калия над хлором.

Сернокислый калий обладает еще более определенной физиологической кислотностью, чем KCl, так как и для таких растений, как овес и ячмень, наблюдается более интенсивное поглощение $K^{\cdot}$, чем SO_4''. Различия между растениями проявляются здесь лишь в размерах подкисления, которое выше у растений, усваивающих много калия (подсолнечник, свекла и др.). Вообще же надо заметить, что проявление физиологической кислотности калийных солей наблюдается в значительно меньших размерах, чем у таких солей, как NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$.

Смотря по составу питательного раствора, он может обладать *различной устойчивостью в сохранении реакции*, и одно и то же количество кислоты или щелочи (все равно, внесено ли оно в готовом виде или образовалось под влиянием деятельности самого растения) может в одних случаях вызвать быстрый сдвиг реакции, в других же случаях этот сдвиг будет наступать при внесении гораздо больших количеств кислоты или щелочи. В качестве примера приведем следующий случай. Представим себе, что раствор богат содержанием двууглекислого кальция $Ca(HCO_3)_2$, который получается при растворении $CaCO_3$ в воде, содержащей углекислоту. Тогда, при накоплении, например, кислых остатков (или введении кислоты извне), избыточная кислота (например, H_2SO_4) будет разлагать часть бикарбоната кальция с образованием $CaSO_4$ и выделением воды и CO_2, вследствие чего заметных изменений в реакции раствора не произойдет, тогда как в отсутствие бикарбоната кальция сдвиг реакции был бы резким. С этим свойством—не поддаваться сразу изменению реакции при введении кислоты или щелочи, которое называется *буферностью*, мы встретимся ниже, когда будем говорить о реакции почвенного раствора, свойства которого приходится рассматривать не изолированно, но в связи с явлениями поглощения в почве (см. ниже, стр. 157).

Так как удобрения могут влиять на реакцию почвенного раствора и прямым и косвенным образом, то необходимо при их применении считаться с чувствительностью растений к реакции среды.

* * *

Кроме общей концентрации раствора и его реакции, имеет значение еще и *количественное соотношение между катионами*, содержащимися в растворимых солях; состав раствора не должен быть односторонним, он должен быть, как говорит, *«физиологически уравновешенным»*; нарушение этой уравновешенности может быть гибельным для всех организмов, как растительных, так и животных.

Если взять личинку какого-либо морского животного и поместить в раствор поваренной соли той же самой концентрации, в какой эта соль находится в морской воде, то животное так быстро погибает, что это нельзя объяснить голоданием относительно других элементов. Чтобы оно могло жить, нужно добавить какую-нибудь соль кальция, тогда одностороннее влияние натрия обезвреживается. То же и с растениями: если, например, дать проросткам только магний (в виде обычно вносимой в питательный раствор соли $MgSO_4$), то растения страдают и чувствуют себя хуже, чем на дистиллированной воде, но стоит дать еще соль кальция ($CaSO_4$ или $CaCl_2$), и вредное влияние магния парализуется, а при наличности остальных питательных веществ дальше скажется положительное влияние магния. Здесь сказывается *защитное влияние кальция* против вредного влияния односторонне преобладающих катионов. Мы имеем в данном случае дело с *антагонизмом* оснований, и кальций является весьма энергичным антагонистом по отношению к одновалентным катионам. Так, например, чтобы обезвредить влияние натрия, достаточно ввести кальций в количестве 5% от количества натрия, тогда как для достижения того же эффекта с помощью калия нужно ввести калий в количестве около 30%.

Как уже было отмечено выше, до известной степени вредное влияние избытка ионов водорода в растворе также может быть смягчено введением известного количества антагониста. Так, например, растения в присутствии $CaSO_4$ переносят такие степени кислотности, которые без такой прибавки являются для них гибельными, хотя кальций в виде гипса не может нейтрализовать кислотности,—это опять явления защитного действия одного из ионов против вредного избытка другого (см. также сказанное об антагонизме и уравновешенности раствора в связи с ролью кальция, стр. 70).

Введение в обиход нашего сельского хозяйства значительных количеств минеральных удобрений побуждает отнестись внимательнее к описанным явлениям, касающимся как физиологической реакции солей, так и значения для растений уравновешенности питательного раствора.

О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ АММИАЧНЫМ И НИТРАТНЫМ АЗОТОМ

Для азота, в отличие от водных элементов, существует круговорот, в который вовлекается азот атмосферы. Кроме того, есть свои особенности в питании растения и связанным азотом. В то время как, например, в случае фосфора и серы только окисленная форма соединений (соли серной и фосфорной кислот) пригодна для питания растений, в случае азота мы имеем возможность давать его в разных формах, так как здесь не только окисленные соединения (нитраты), но и восстановленные (аммиачные соли) могут служить источником азотистого питания. Вопрос о сравнительном достоинстве аммиака и нитратов пережил несколько фаз.

Оба основатели агрономической химии—Буссенго (1837) и Либих (1840)—придавали главное значение среди источников азота аммиаку.

Буссенго, рассматривая аммиак как конечный продукт разложения органических веществ, приписывал ему главную роль при объяснении действия навоза, городских нечистот, а в качестве особенно рельефного примера действия аммиака он приводит свои наблюдения над действием гуано в Южной Америке[1].

Либих также исходил из факта нахождения аммиака в продуктах разложения органических веществ, служащих для удобрения, но постепенно он переместил центр тяжести в сторону углекислого аммиака в воздухе; количество аммиака он переоценивал, а потому и при-

[1] Подробнее об этом см. выше, стр. 49.

шел к выводу, что затрачивать средства на азотистые удобрения вообще не стоит и что навоз действует своей фосфорной кислотой, калием и кальцием, а содержание в нем азота несущественно. Это шло в разрез со взглядами Буссенго, который склонен был ценить удобрения как раз по содержанию в них в первую очередь азота[1]. Опытная проверка этого расхождения между Либихом и Буссенго вскоре произведена была в Англии Лоозом, который начал отдельные опыты с минеральными удобрениями, вначале независимо от влияния Либиха (в 1839 г., а может быть, и в 1838 г.), затем под непосредственным впечатлением лекций Либиха в Британской ассоциации (1840 г.) перешел к систематической работе с удобрениями и, в частности, занялся проверкой либиховского утверждения относительно источников азота. Характерно при этом, что в качестве источника связанного азота взят был именно аммиак (в виде сернокислой соли).

Выше мы уже приводили результаты одного из полевых опытов Лооза (1843 г.), имевшего большое значение в истории вопроса об азоте (см. таблицу на стр. 42). Наибольший урожай пшеницы был получен при внесении *сульфата аммония* в сочетании с калийно-фосфатным удобрением (24 ц на 1 га). Навоз также дал прибавку (урожай 21,5 ц на 1 га), а внесение золы от навоза никакого действия не оказало: урожай без удобрения был равен 16,5 ц с 1 га, а при внесении золы—16,0 ц с 1 га*.

Этот опыт говорил против мнения Либиха о достаточном снабжении растений азотом за счет углекислого аммиака атмосферы и подтверждал мнение Буссенго о необходимости вносить азот с удобрениями.

Интересно, что, сообразно господствовавшему тогда взгляду на аммиак как на главный источник азота растений, при первой попытке составить нормальную смесь для песчаных культур (1842 г.) Вигман и Польстерф (см. стр. 42) взяли в качестве источника азота также аммиачную соль (гуминовокислый аммоний).

В это время в Европу стали поступать все возрастающие количества чилийской селитры, которая оказывала явно благоприятное действие на урожай. Интересно объяснение этого факта, данное современником Либиха и Буссенго—Кульманом. Так как Кульману было известно, что при действии водорода in statu nascendi на азотную кислоту получается аммиак, то он заключал, что в почве при разложении органических веществ идут восстановительные процессы и селитра, прежде чем поступить в растение, еще в почве служит источником для образования аммиака. Если бы Кульман сказал, что это происходит в растении (как мы это теперь знаем), то он был бы вполне прав.

Однако скоро обнаружились факты, противоречащие объяснению Кульмана. Именно в 1851 г. Сальм-Горстмар (занимавшийся выращиванием растений в искусственной среде с 1846 г.) сделал несколько неожиданное для себя наблюдение, что можно получить хороший рост хлебных злаков в чистом кварцевом песке (измельченном горном хрустале), не давая вовсе аммиака, а вводя, кроме обычных зольных элементов, только селитру (в предыдущие же годы—1846—1851 гг. Сальм-Горстмар пользовался азотнокислым аммонием). Так как здесь органического вещества не вводилось и восстановительных процессов предположить было нельзя, то Буссенго подметил противоречие этого опыта с теорией Кульмана и предпринял специальный ряд опытов (1855—1856 гг.) по изучению действия селитры на растения при условии полного исключения органического вещества в почве (культуры в прокаленном песке).

В этих условиях селитра превосходно усваивалась растениями, причем внесение ее в возрастающих количествах вызывало увеличение урожаев. Отсюда Буссенго сделал совершенно правильный вывод, что и аммиак и нитраты одинаково пригодны в качестве азотистых удобрений (так же как и способные к разложению органические вещества).

Этими опытами Буссенго, проведенными в очень строгой обстановке, восстановлено было признание ценности селитры наравне с аммиаком и опровергнут взгляд Кульмана относительно необходимости предварительного восстановления селитры в аммиак в почве.

В дальнейшем ходе развития азотного вопроса произошел переход из одной крайности в другую—настал период сомнений в пригодности аммиака для непосредственного питания растений, и тезис о преобладающей роли аммиака сменился утверждением, будто только окисленные соединения (в данном случае—нитраты) вполне пригодны для питания растений.

---

[1] Так, еще в 1837 г. Буссенго писал: «Les engrais les plus puissants sont ceux, qui contiennent le plus d'azote», т. е. «удобрения, наиболее сильно действующие,—это те, которые содержат больше всего азота».

* Все опыты того времени с современной точки зрения, конечно, не могут рассматриваться как доказательства прямого использования аммиака растением, так как в них не устранялся процесс нитрификации, но данный опыт, хорошо выявивший значение азотистых удобрений, дает в то же время материал к характеристике взглядов того времени на значение аммиака.

Заметим, что зола в этом опыте вносилась в количестве, отвечающем содержанию ее в соответствующей дозе навоза. Как источник калия и фосфора она, очевидно, не действовала потому, что растениям недоставало азота, для проявления же других сторон действия золы (влияние на реакцию почвы, на нитрификацию и пр.) эта доза была слишком мала.

Причина этого отклонения от правильной линии, взятой Буссенго и Либихом по отношению к аммиаку, заключалась в следующем: в то время как Буссенго говорил о положительном значении аммиака на основании опытов с гуано, содержавшим щавелевокислый и фосфорнокислый аммоний, в то время как Либих постоянно имел в виду главным образом углекислый аммоний, в период развития метода водных культур с нитратами стали сравнивать хлористый и сернокислый аммоний и при оценке эффекта долгое время не различали влияния на растения сопровождающих аммиак сильных кислот от влияния самого аммиака. Поэтому болезненные явления, полученные, например, от хлористого аммония, объясняли влиянием аммиака, между тем как в этом случае аммиак, поступая в растение, энергично потребляется в процессах синтеза, хлороводород же остается несвязанным, делает внешний раствор кислым, а кроме того, наносит вред растению той своей частью, которая проникает в клетку.

В этих условиях растение страдает или совсем погибает, если не принято мер к устранению появляющейся кислотности, чего в то время не делалось. Вместо того чтобы принять меры против подкисления раствора или вводить аммиак в других соединениях, в то время просто перестали пользоваться аммиаком как источником азота в водных и песчаных культурах, сочтя его худшим источником азота, чем нитраты, и перешли целиком на применение последних при выращивании растений в водных и песчаных культурах. Когда же открыли, что процесс нитрификации есть процесс микробиологический (Шлезинг и Мюнц, 1877) и что нитрификационные бактерии (в чистом виде выделенные позднее Виноградским) широко распространены в почвах, то все более стал укрепляться взгляд, будто аммиачные соли, вносимые с удобрением, только постольку являются деятельными, поскольку в почве из них образуются нитраты. Прямое же значение аммиака как источника азота растений было поставлено под сомнение.

Так пришли к прямо противоположному мнению относительно аммиака, чем то, которого держались основатели современной агрономической химии, Буссенго и Либих, и это мнение о необходимости (или большой важности) перехода аммиака в азотную кислоту стало общераспространенным и вошло во все учебники конца XIX века (а иногда и XX века).

К 1893—1898 гг. относятся первые работы автора данной книги по изучению обмена азотистых веществ при прорастании семян[1], которые дали возможность осветить вопрос об аммиачном питании с новой точки зрения.

В процессе прорастания запасные вещества семени используются на построение органов проростка. При этом сложные органические соединения (в частности, белковые вещества семян) сначала подвергаются распаду на более простые соединения, а затем из них вновь синтезируются сложные вещества, образующие органы молодого проростка.

В качестве промежуточного продукта при прорастании семян образуются в значительном количестве амиды, главным образом амид аспарагиновой кислоты—аспарагин. Исследуя вопрос о роли аспарагина, мы установили, что аспарагин в растительном организме представляет такой же вторичный продукт синтеза за счет аммиака, как и мочевина в животном организме, с той, однако, существенной разницей, что растения не выделяют аспарагина наружу, а используют азот аспарагина снова для синтеза белковых веществ проростка (см. сказанное на стр. 58—59).

Таким образом, *оказалось, что растения для синтеза органических азотистых веществ могут использовать аммиак, образующийся при распаде запасных белков семени*. Отсюда естественно было поставить такой вопрос: если растения свой «собственный» аммиак внутреннего происхождения могут опять употреблять в процессе синтеза органических веществ, то почему бы они могли иначе относиться к аммиаку, поступающему извне?

---

[1] Работы эти были напечатаны в «Известиях Петровской академии» (1895—1899 гг.) и в немецком журнале «Landwirtschaftliche Versuchsstationen» (1898—1900 гг.).

Такой вывод противоречил тогдашнему воззрению, будто «только окисленные соединения» могут служить пищей растений. Для того чтобы опровергнуть эту точку зрения и показать не только вообще возможность питания растений азотом в виде аммиачных солей, но и выяснить вопрос о преимуществе нитратного или аммиачного питания, надо было преодолеть ряд чисто методических трудностей и в первую очередь избежать побочного влияния физиологической кислотности при введении аммиачных солей в качестве источника азота.

Впервые точное экспериментальное доказательство усвоения растениями аммиачного азота в стерильных культурах (стерилизацией устранялась возможность предварительной нитрификации) было дано у нас опытами Коссовича (1897 г.) и Мазэ (1898 г.) во Франции. Нейтрализация физиологической кислотности $(NH_4)_2SO_4$ достигалась в этих опытах введением $CaCO_3$ или $Fe(OH)_3$.

В полном соответствии с высказанным выше предположением о возможности синтеза органических азотистых веществ в растении за счет введенного извне аммиака нам удалось в опытах 1913—1914 гг. наблюдать *более быстрое использование аммиака, чем нитратов, в процессе синтеза аспарагина* и большее накопление всех органических азотистых соединений в первом случае, чем во втором.

Физиологическая кислотность аммиачной соли устранялась в этих опытах введением $CaCO_3$*.

Вот результаты опыта с проростками кукурузы. 100 ростков кукурузы, находившиеся в опыте 10 дней, содержали (в миллиграммах):

Условия питания	Азота органических веществ	В том числе азота аспарагина
Дистиллированная вода	756,6	104,5
$Ca(NO_3)_2$	844,6	160,7
$NH_4Cl + CaCO_3$	935,1	269,1

Как видно, аммиачное питание оказалось здесь даже более благоприятным, чем нитратное. Это преимущество аммиачного питания перед нитратным находит свое объяснение в том, что аммиак стоит ближе к продуктам синтеза азотистых веществ в растениях, чем нитраты, которые для того, чтобы пойти на образование аминокислот и белков, должны подвергнуться в растении восстановлению.

Факт более быстрого использования растениями аммиачного азота, по сравнению с нитратным, был отчетливо констатирован нами еще и другим путем, а именно в опытах с NH_4NO_3. Давая эту соль в качестве источника азота** для растения, можно легко сравнить, что растение быстрее воспринимает: NH_3 или HNO_3?

По прежним представлениям о преимущественном (а по некоторым авторам—исключительном) питании нитратами азотнокислый аммоний должен был бы считаться физиологически щелочной солью, т. е. реакция среды должна бы делаться щелочной от более быстрого поглощения HNO_3, по сравнению с NH_3.

В противоположность этому, в результате большого числа проведенных нами опытов с применением разработанной к тому времени методики точных определений реакции (pH) раствора, мы убедились, что *азотнокислый аммоний*

* Заметим, что в ряде прежних опытов при введении $CaCO_3$ растения страдали вначале от щелочности раствора (прежде чем растение потребит некоторое количество аммиачного азота и щелочность смягчится). Нам удавалось избежать этого временного подщелачения путем проведения опыта с большим числом ростков, которые быстро смягчали щелочность углекислотой, выделяемой при дыхании, а в дальнейшем начиналось подщелачение от использования аммиака и постепенная нейтрализация кислоты благодаря присутствию $CaCO_3$. Кроме того, нами были использованы и другие способы проведения опытов, частично описанные ниже.

** Кроме общефизиологического интереса, характеристика этой соли представляет теперь и практический интерес, так как NH_4NO_3 является продуктом массового производства на заводах синтетического аммиака (см. ниже «Азотистые удобрения»).

в действительности является солью физиологически кислой, причем эта физиологическая кислотность сильно выражена.

Так, проростки кукурузы, развивавшиеся в темноте в течение десяти дней, вызвали такое изменение pH раствора NH_4Cl и NH_4NO_3:

Определение pH	NH_4NO_3		NH_4Cl	
До опыта	7,0	6,8	6,9	6,9
После опыта	3,9	4,1	3,7	4,0

Подобные же результаты обнаружены были для ассимилирующих растений; вот пример из опытов с овсом:

Возраст растений	Продолжительность опыта	Соль аммония	pH до опыта	pH после опыта	Поглощено в процентах от введенного количества	
					NO_3	NH_4
22 дня	2 часа	NH_4NO_3	5,8	4,8	5,0	27,9
		NH_4Cl	5,9	4,6	—	29,5

Таким образом, даже за 2 часа достаточно развитое растение способно дать заметный сдвиг реакции в сторону кислотности, что стоит в связи с более энергичным поступлением в растения NH_3 по сравнению с HNO_3.

В кратковременном опыте поведение азотнокислого аммония как бы мало отличается от поведения хлористого аммония. Само собой разумеется, что в дальнейшем между ними обнаружится разница в пользу азотнокислого аммония, и не только потому, что при нем кислотность внешнего раствора будет ниже, но и потому, что поступающая в клетку азотная кислота, восстановляясь, идет на образование аммиака и амидов, а поглощенная растением соляная кислота не может быть переработана растением и ее накопление легко может достигнуть предела, на котором растение будет страдать.

Повторяя опыты с другими концентрациями раствора NH_4NO_3 и с другими растениями (горох, свекла, люпин), мы получили аналогичные результаты.

В итоге мы пришли к общему выводу, что нормальные растения, как правило, поглощают из растворов NH_4NO_3 больше аммиака, чем азотной кислоты, т. е. что эта соль является физиологически кислой[1].

Из всех этих работ, таким образом, вытекает, что аммиак не только не требует предварительной нитрификации, но при одновременном присутствии и HNO_3 и NH_3 *аммиак быстрее потребляется растениями в процессах синтеза, чем азотная кислота.*

Наряду с этим общим правилом бывают и исключения из него, когда преимущество аммиачного питания перед нитратным не только не проявляется, но даже, наоборот, нитратное питание оказывается лучшим.

К условиям, *оказывающим влияние на отношение растений к аммиаку и нитратам, в первую очередь надо отнести реакцию среды.* Сравнение аммиачного и нитратного питания при разных градациях pH было проведено в ряде опытов нашей лаборатории, причем для поддержания постоянства реакции на

[1]Незнание этого факта нередко приводило к неправильным заключениям из опытов, в которых ставили вопрос о растворяющей способности корневой системы растений; так, например, Митчерлих, сравнивая отношение разных растений к фосфорату, вводил в качестве источника азота NH_4NO_3, считая его физиологически нейтральной солью; поэтому у него все растения могли использовать фосфорит, и он пришел к выводу, будто бы заметных различий в этом отношении между отдельными растениями вообще не существует, тогда как эти различия в данном случае были только нивеллированы физиологической кислотностью NH_4NO_3.

том или другом уровне был использован метод так называемых «текучих растворов», т. е. растения выращивались в таких условиях, когда раствор, содержащий питательную смесь, непрерывно протекает через сосуд, в котором (в песке или в водной культуре) находятся корни растения. Тогда удается поддерживать состав раствора и его реакцию более или менее постоянной в течение всего опыта.

Из этих опытов выяснилось, что если сравнивать аммиачное и нитратное питание не при какой-либо одной реакции, а при различных, то оптимум для того и другого источника азота оказывается неодинаковым. Так, в опытах, проведенных в 1926 г., обнаружилось, что при pH = 5,5 свекловица развивалась лучше по селитре, чем по аммиачной соли, а при pH = 7,0 результат был обратный (см. данные из опытов Дикусара, приведенные на стр. 88).

Таким образом, в зависимости от реакции раствора, перевес может быть на стороне то одного, то другого источника азота: при нейтральной реакции аммиак может быть лучшим источником азота, чем нитраты, или быть одинаковым с ними, при кислой же реакции может иметь место обратное.

Эти результаты подтвердились в последующие годы при опытах не только со свеклой, но и с кукурузой, а затем Паршле в Германии на целом ряде растений также наблюдал равное или лучшее действие аммиака близ нейтральной точки, в то время как в кислой среде аммиак значительно уступал нитратам.

То же имело место при отклонении в сторону щелочной реакции. Поэтому можно полагать, что амплитуда благоприятного действия распространяется у нитратов на большее число ступеней pH, чем у аммиака.

Дальше в наших опытах обнаружилось еще одно обстоятельство, а именно: *кроме концентрации ионов водорода, на результат опыта влияет присутствие других катионов*, притом различно в случае аммиака и нитрата, а именно: при замене нитратов аммиаком благоприятное действие оказывает повышение содержания ионов кальция в питательной смеси (при одном и том же pH); так же благоприятно повышение содержания Mg и K. Особенно в кислом интервале введение иона Ca в виде $CaCl_2$ или $CaSO_4$ улучшает рост растений в присутствии NH_4, но может оказать обратное действие при нитратном питании.

Поэтому если мы в питательной смеси заменим $Ca(NO_3)_2$ аммиачной солью, то недостаточно дать эквивалентное количество кальция в виде $CaSO_4$ или $CaCl_2$, а нужно ввести гораздо больше иона кальция, чтобы создать преобладание кальция над аммонием. Здесь мы имеем дело с известным равновесием между катионами, с нарушением того, что называется физиологической уравновешенностью раствора.

Кроме реакции среды и состава катионов, вопрос об оптимальной концентрации раствора аммиачных солей и нитратов решается неодинаково: *избыток нитратов переносится растениями легче, чем большие количества аммиака.*

Поэтому при замене в обычной питательной смеси нитратного азота аммиачным, кроме регулирования реакции и состава катионов, особенно полезным может оказаться внесение не всей дозы азота сразу, а в несколько приемов. Тогда можно получить по аммиачному питанию результаты лучшие, чем по нитратному (а если внести все количество сразу, то развитие по нитратам может оказаться лучшим, чем по аммиаку).

Итак, с точки зрения физиологической вопрос о том, что лучше—аммиачное или нитратное питание, не может ставиться в такой общей форме. Смотря по составу окружающего раствора, решение получается разное, и если для каждого источника азота создать наилучшую концентрацию, реакцию среды и состав других катионов, то можно получать одинаково хорошие результаты как с аммиаком, так и с нитратами.

Далее мы обнаружили, что *не только внешние, но и внутренние условия в растении, в частности, та или иная степень обеспеченности углеводами*, также могут влиять на отношение растений к аммиаку. Так, нормально ассимилирующие растения способны лучше использовать аммиак, чем молодые проростки таких растений, которые содержат малый запас углеводов в семенах, или если недостаток углеводов создается выращиванием проростков в темноте (этиолированные растения).

При относительном недостатке углеводов синтез амидов в растении подавляется, в то время как редукции нитратов еще может иметь место, поэтому в таких ненормальных условиях, например, физиологическая кислотность NH_4NO_3 не проявляется, так как отсутствует причина, ее обусловливающая (такое же отклонение может быть вызвано и избытком азотистой пищи и другими условиями: сильной кислотностью, ненормальным соотношением ионов в питательной среде).

В итоге мы можем сделать такое заключение: если неправильно было прежнее мнение об абсолютном преимуществе нитратного питания перед аммиачным, точно так же неправильно было бы делать и обратный общий вывод об абсолютном преимуществе аммиачного питания перед нитратным, так как, в зависимости от условий (внутренних и внешних), результат будет различен и оптимальные комбинации этих условий для аммиака и нитратов не совпадают.

Если мы сумеем осуществить оптимальные для каждого источника азота условия, то мы придем к принципиальному признанию их равноценности с физиологической стороны; если же мы будем их сравнивать при каких-либо одних условиях, то перевес может быть то на стороне одного, то другого источника, смотря по этим условиям. Но из вывода физиологического, безусловно для нас необходимого, мы не можем еще прямо делать вывода агрономического, так как создавать оптимальные условия для каждого источника мы можем легко только в лабораторном опыте, где в наших руках находятся все рычаги по изменению свойств среды; при переходе же к полевой обстановке (где мы не можем удалить так, как в текучих растворах, остаточные анионы или катионы), необходимо учесть их влияние на реакцию почвы и непосредственно на само растение и, только присмотревшись к этим реальным взаимоотношениям между удобрениями, растением и почвой, сделать вывод, приложимый на практике.

Так, если не применяется искусственное регулирование реакции, то все-таки растение легче противостоит некоторому сдвигу реакции в щелочную сторону, чем в кислую, благодаря выделению углекислоты при дыхании корневой системы. В случае внесения $NaNO_3$ или $Ca(NO_3)_2$ и более быстрого поглощения растением кислоты, чем основания, в окружающей среде накопляются не свободные щелочи, а бикарбонаты. А так как углекислоты получается избыток, то значительной щелочности не наблюдается, реакция близка к нейтральной. Если же мы вносим NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$, то оставшейся кислоте растение ничего противопоставить не может, и конечный результат целиком зависит от свойств почвы, от богатства ее основаниями.

Кроме того, как уже было сказано, растения способны легче переносить временный избыток азотистого питания в форме нитратов, чем в виде аммиака. Особенно это относится к растениям, в молодом возрасте (при прорастании и всходах) не располагающим большим запасом углеводов в семенах, какова, например, свекла, семена и проростки[1] которой бедны запасом углеводов. Это имеет существенное значение при внесении больших доз удобрения перед посевом, а в особенности при местном внесении при посеве (рядковое удобрение), когда опасность проявления отрицательного влияния избытка азотистого питания наиболее вероятна. Такие же растения, как картофель, благодаря громадному запасу углеводов в крупном посевном материале, способны гораздо лучше переносить повышенное снабжение аммиаком.

Пока мало изучено в полевых условиях значение такого фактора, как уравновешенность ионов аммония другими катионами. Возможно, что внесением вместе с аммиачными солями удобрений, содержащих кальций (особенно на почвах, бедных основаниями), можно создавать лучшие условия для питания растений аммиачным азотом[2].

[1] В начале роста, пока не образовалась достаточная ассимилирующая поверхность листьев.

[2] В последнее время получены определенные данные о положительной роли калия при аммиачном питании растений (Турчин).

К вопросу об условиях применения аммиачных и нитратных азотистых удобрений мы еще вернемся в специальной главе (см. «Азотистые удобрения»). Здесь же в заключение отметим, что *если физиолог будет прав, признавая принципиальную равноправность аммиачного и нитратного питания, то агроном будет тоже прав, если скажет, что ему легче было бы работать с нитратами*. Однако он должен иметь в виду, что химическая промышленность в настоящее время идет в основном по пути получения синтетического аммиака и что производство аммиачных солей требует меньших затрат, чем производство азота нитратного. Поэтому агроному очень важно знать, как растение относится к питанию азотом в форме разных соединений, и уметь применить эти знания для наиболее эффективного использования производимых промышленностью удобрений.

ПИТАТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДЕ

При изучении вопросов корневого питания растений большое значение имели (и имеют теперь) опыты с выращиванием растений в искусственной среде—в водной или песчаной культуре—с внесением той или другой комбинации минеральных веществ, необходимых для питания растений. Такая комбинация солей, которая содержит в достаточном количестве (и в должном соотношении) все необходимые для нормального развития растений элементы, получила название нормальной питательной смеси.

Вначале питательные смеси создавались в связи с исследованием вопроса о том, какие элементы необходимы растениям, в виде каких солей и в каких количествах они должны быть даны растению, чтобы обеспечить нормальное его развитие. Но и до настоящего времени вопрос о составе питательных смесей не потерял своего значения, поскольку при изучении питания растений приходится обращаться к опытам в песчаных или водных культурах.

Кроме методического интереса, вопрос о составе питательных смесей заслуживает внимания потому, что рассмотрение его позволит лучше понять взаимоотношения, складывающиеся между развивающимся растением и внешней средой, содержащей необходимые для питания растений элементы.

В настоящее время питательные смеси разрабатываются с целью дать лучший питательный раствор для определенного растения или группы растений, с тем, чтобы, применяя его в качестве стандарта, можно было с успехом решать различные агрохимические и физиологические вопросы.

В питательные смеси вводятся соли, катион или анион которых (или тот и другой) является необходимым для жизни растений. Средой, в которой развиваются растения, в куда вносятся соли, обычно служит дистиллированная вода или чистый кварцевый песок. Значительно реже (с некоторой определенной целью) применяется водопроводная вода.

Питательная смесь должна быть так составлена, чтобы растения, развиваясь в ней, не только образовали мощные вегетативные органы, но и дали высокий урожай семян. Требования к составу питательной смеси можно сформулировать следующим образом:

1. Питательная смесь должна включать все необходимые растению питательные элементы. Если какой-либо питательный элемент будет отсутствовать, то, в силу незаменимости одного элемента другим, такая питательная смесь не обеспечит нормального развития растений.

2. Питательные вещества в смеси, как стандарте питательного раствора, должны быть даны в усвояемой для растений форме. Нельзя, например, вводить в питательную смесь сернистые соединения в качестве источника серы.

3. Питательные вещества должны быть даны в таком количестве и в таком соотношении друг с другом, которые обеспечивают получение высокого урожая растений.

4. Реакция среды (pH) должна быть оптимальной[1] для растений в течение всего периода вегетации[2].

При разработке питательных смесей авторы ставили перед собой те или иные конкретные задачи. Так, например, Кнопп ставил перед собой задачу составить смесь для водных культур; Гельригель разработал питательную смесь для песчаных культур; Шайв (Shive) и Тоттингем (Tottingham) предложили смеси для текучих растворов; в нашей лаборатории были разработаны смеси с постоянным интервалом pH в продолжение вегетационного периода. Ряд авторов при разработке питательных смесей ставил задачей разработать питательную

[1] Или, во всяком случае, близкой к оптимальной.

[2] Для нормального развития растений в искусственной среде, например, в водной культуре, помимо соответствующего состава питательной смеси, должны быть созданы необходимые условия аэрации для корней растений (что достигается периодическим продуванием питательного раствора), корни должны быть защищены от солнечных лучей (для чего применяются специальные чехлы, надеваемые на сосуды; внутри эти чехлы из темной материи, а снаружи из белой, для избежания перегревания) и т. п.

смесь, подходящую для определенного растения или группы растений, близких между собой в отношении требований к количеству питательных веществ и к реакции среды. Характерным для последнего времени является такая разработка питательных смесей с включением, кроме обычных питательных элементов, также микроэлементов—бора, марганца и др. Еще Бертран и Мазе считали необходимым включение микроэлементов в питательный раствор. Позднее Соммер и Линкин, кроме обычных питательных элементов, в питательную смесь включили бор, марганец, цинк, йод, фтор, медь, алюминий и кремний.

Можно определенно сказать, что во все прежние питательные смеси, при должной чистоте реактивов, воды и песка, необходимо, во всяком случае, включение бора и марганца.

В настоящее время заложен большой опыт составления питательных смесей, и мы располагаем значительно большими данными о роли отдельных элементов в развитии растений и о потребном количестве их для нормального роста растений, чем это было во времена Кнопа, Гельригеля и других исследователей того времени. Особенности отдельных растений также теперь больше учитываются. Поэтому в настоящее время составление нового варианта питательной смеси или изменение какой-либо уже имеющейся смеси для решения определенного вопроса возможно осуществить гораздо легче, чем в прошлое время. Так возникло большое число вариантов питательных смесей.

Так как все их рассматривать невозможно, то мы отметим лишь главные черты отличия между разными типами смесей и затем рассмотрим отдельные примеры смесей разных типов.

Главные различия между смесями состоят в выборе источника азота и фосфора, которые образуют как бы сопряженную пару, компоненты которой должны уравновешивать друг друга по влиянию на реакцию раствора.

Наибольшее влияние на изменение реакции раствора во время роста оказывает выбор источника азота. Азот потребляется растением в большем количестве, чем другие элементы, поэтому соль, вводимая в качестве источника азота, является главным компонентом смеси. Кроме того, вследствие энергичного потребления азота неизбежно соли азотной кислоты будут физиологически щелочными, а аммиачные соли—физиологически кислыми.

Этой основной тенденции к изменению реакции смеси можно противодействовать соответственным выбором других компонентов смеси, особенно фосфатов.

Здесь можно различить три главных типа смесей с различными сопряженными парами:

1) $Ca(NO_3)_2$ и KH_2PO_4,
2) KNO_3 и $Fe_2(PO_4)_2$,
3) NH_4NO_3 и $CaHPO_4$ или $Ca_3(PO_4)_2$.

К первому типу относится большинство смесей, отличающихся друг от друга лишь второстепенными признаками; во всех них постепенно проявляющаяся физиологическая щелочность $Ca(NO_3)_2$ смягчается прежде всего кислотностью раствора, которая придается ему наличностью KH_2PO_4. Кроме того, в смесях этого типа нечаянно азот дается в виде $Ca(NO_3)_2$, а не KNO_3 или $NaNO_3$, так как по мере потребления HNO_3 остающееся основание [$Ca(OH)_2$ или KOH] связывается с углекислотой, выделяемой корнями, и в случае кальция получается менее растворимый бикарбонат (и тем более—карбонат), чем в случае калия или натрия, а поэтому и меньший вред для растения от подщелочения раствора.

Однако в смесях этого типа подщелочение раствора, вызванное физиологическими причинами, происходит довольно быстро, и в то же время нельзя этому противопоставить еще больший резерв кислого фосфата, так как это увеличило бы кислотность первоначального раствора, которая в так уже является большей, чем это желательно. Однако возможности создать большую буферность смеси, т. е. придать ей большую способность противостоять изменению реакции, увеличиваются, если отступить от требования, чтобы все соли давались лишь в растворимой форме. Так, если дать в виде источника P_2O_5 фосфорнокислое железо $Fe_2(PO_4)_2$, то оно, являясь средней солью, в то же время способно противостоять подщелочению раствора, так как оно склонно к гидролитическому расщеплению, причем в щелочном растворе это расщепление возрастает. Поэтому, если дать в качестве источника азота физиологически щелочную соль, как KNO_3, и внести $Fe_2(PO_4)_2$, то будет избегнута первоначальная щелочность раствора, и в то же время последующее нарастание физиологической щелочности будет парализовано отщеплением H_3PO_4 от соли железа. Примером такой смеси, в которой «ведущей» парой солей являются $KNO_3+Fe_2(PO_4)_2$, может служить смесь Кроне (см. ниже). Роль, аналогичную $Fe_2(PO_4)_2$ (в смысле нейтрализации образующейся щелочности), могут играть и растворимые соли железа (как $FeCl_3$ или $FeSO_4$), однако они с самого начала сдвигают реакцию смеси в кислую сторону, вследствие гидролитической диссоциации [$FeCl_3+3H_2O \rightleftarrows Fe(OH)_3+3HCl$].

Если источником азота служит соль аммония, как NH_4NO_3 (и тем более $(NH_4)_2SO_4$), то растение вызывает быстрый сдвиг реакции в сторону подкисления; тогда заведомо нельзя брать источником фосфора кислый фосфат, так же как и фосфорнокислое железо; вместо этого вводят $CaHPO_4$ или $Ca_3(PO_4)_2$, чтобы освобождающаяся под влиянием деятельности корней растения HNO_3 (или H_2SO_4) нейтрализовалась на счет отнятия части кальция от фосфата; это одновременно вызывает переход в раствор части фосфорной кислоты в виде $Ca(H_2PO_4)_2$. Так тенденция к подкислению раствора, вызванная отношением растения к NH_4NO_3, смягчается благодаря буферному действию находящегося в осадке двух- или трехзамещенного фосфата.

Рассмотрим ближе некоторые из питательных смесей, взяв примеры из различных групп.

Из большого числа смесей, включающих в качестве сопряженной пары солей $Ca(NO_3)_2$ и KH_2PO_4, наибольшим распространением пользуются смеси Кнопа и Гельригеля; так как на смеси Кнопа мы останавливались в историческом очерке (стр. 46), то здесь рассмотрим ближе только смесь Гельригеля.

Гельригель разработал свою питательную смесь для песчаных культур. Состав смеси следующий:

Состав смеси	На 1 кг песка	
	в граммах	в миллиэквивалентах
1. $Ca(NO_3)_2$ (считая на безводную соль)	0,492	6
2. KH_2PO_4	0,136	1
3. $MgSO_4$ (на безводную соль)	0,060	1
4. KCl	0,075	1
5. $FeCl_3$	0,025	около $^1/_4$

Если опыт ставится в водных культурах, то приведенные количества солей часто берут на 1 л воды.

Характерным для смеси Гельригеля является следующее:

а) Все соли даются в растворимой форме.

б) Первоначальная реакция смеси является кислой, что определяется наличием в смеси кислого фосфата калия и гидролитически кислого хлорного железа. Другие соли являются нейтральными солями. Благодаря этому первоначальная реакция питательного раствора в песчаных культурах соответствует pH от 4,2 до 4,5, а в водных культурах pH =4,0 и даже несколько кислее.

в) В качестве источника азота использован $Ca(NO_3)_2$—физиологически щелочная соль, из которой азотная кислота поглощается в относительно большем количестве, чем кальций. Оставшийся в растворе $Ca(OH)_2$ идет главным образом на нейтрализацию кислого фосфата калия и частью на нейтрализацию соляной кислоты, образующейся при гидролизе хлорного железа. В первом случае получается $CaHPO_4$, а во втором случае— $CaCl_2$. Когда эти реакции в питательном растворе пройдут, в дальнейшем $Ca(OH)_2$ с угольной кислотой, выделенной корнями растений, образует бикарбонат кальция, благодаря чему pH питательного раствора достигает постоянно 6,8—7,2. Таким образом, реакция раствора в смеси Гельригеля во время развития растений изменяется примерно от pH =4,2 до pH =7,2. Этого Гельригель учесть не мог, так как методика определения pH была разработана позднее.

Основным недостатком смеси Гельригеля является слишком кислая реакция исходного раствора. Однако этот недостаток может быть устранен, если взять не один KH_2PO_4, а смесь $KH_2PO_4+K_2HPO_4$. Можно также добавлять к раствору щелочь до такого соотношения между моно- и дифосфатом, чтобы раствор имел pH около 6,0. Тогда pH раствора будет изменяться в интервале 6,0—7,0, что является вполне подходящим для большинства растений. Если проводятся опыты не в песчаных, а в водных культурах, то, кроме указанной дозы железа, требуется дополнительное внесение цитрата железа, который хорошо растворим в воде и легко доступен растениям даже при слабощелочной реакции раствора. Во всех случаях необходимо внесение бора (в виде буры или борной кислоты) и марганца (в виде $MnSO_4$ или $MnCl_2$), причем эти элементы обычно вносят в 2—3 приема по 0,25—0,5 мг элемента на 1 кг песка.

Смесь Кнопа, как сказано выше, имеет много общего с питательной смесью Гельригеля, поэтому мы на ней подробно не останавливаемся.

Питательная смесь Кроне. В смеси Кроне сопряженной парой солей, регулирующих в основном реакцию раствора, являются KNO_3 и $Fe_2(PO_4)_2$. Состав этой смеси следующий:

1. KNO_3	1,0 г
2. $Ca_3(PO_4)_2$	0,25 »
3. $Fe_2(PO_4)_2$	0,25 »
4. $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,5 »
5. $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 »

В процессе развития растений KNO_3 ведет себя, как физиологически щелочная соль, но это мало сказывается на изменении реакции питательного раствора, так как $Fe_2(PO_4)_2$ является гидролитически кислой солью. При изменении реакции в щелочную сторону гидролиз ее усиливается, а освобожденная при этом фосфорная кислота устраняет щелочность.

По той же причине, вследствие легкости гидролитического распада $Fe_2(PO_4)_2$, начальная реакция смеси Кроне не будет щелочной, несмотря на присутствие $Ca_3(PO_4)_2$, являющегося гидролитически щелочной солью. Гидролитическая щелочность $Ca_3(PO_4)_2$ с избытком уравновешивается гидролитической кислотностью $Fe_2(PO_4)_2$, поэтому начальная реакция питательного раствора соответствует pH около 6,4.

В процессе развития растения, благодаря буферности смеси, pH изменяется в сравнительно узких пределах (6,4—7,0).

Питательные смеси с NH_4NO_3 в качестве источника азота. При создании смеси этого типа (известной под названием «смесь Прянишникова») автор имел в виду достигнуть приближения к нейтральной реакции не только исходного раствора, но и сохранения ее во время опыта. В то время, когда создавалась эта смесь [1900—1902 гг.], только что было доказано опытами П. С. Коссовича, что аммоний так же хорошо усваивается растениями, как и NO_3 (не подвергаясь нитрификации). Разработка этой смеси была связана с опытами, проводившимися в нашей лаборатории, по изучению способности разных растений усваивать фосфорную кислоту из трудно растворимых фосфатов.

Подщелочение раствора вследствие накопления бикарбоната кальция в смеси Гельригеля при внесении $Ca(NO_3)_2$ в качестве источника азота могло мешать выявлению способности растений использовать фосфорную кислоту труднорастворимых фосфатов. Отсюда возникла мысль—составить новую питательную смесь, которая не давала бы подщелочения во время опыта и в то же время позволила бы избегнуть слишком кислой первоначальной реакции. Вначале ожидалось, что NH_4NO_3 будет вести себя как соль физиологически нейтральная, имея в виду, что HNO_3 и NH_3 (согласно с опытами Коссовича) будут одинаково усваиваться растениями. Поэтому в качестве источника азота и была взята эта соль. Однако первые же опыты показали, что NH_4NO_3 обладает ясно выраженной физиологической кислотностью[1]. Тогда этой кислотности был противопоставлен некоторый избыток основания в фосфате, именно вместо KH_2PO_4 были испытаны $CaHPO_4$ и $Ca_3(PO_4)_2$ при одновременном увеличении количества KCl, с тем, чтобы при возрастании кислотности раствора происходил переход к растворимому однозамещенному фосфату Ca.

В 1901 г. в песчаных культурах с овсом и гречихой получены были наилучшие результаты при применении комбинации $NH_4NO_3+CaHPO_4$. Эта комбинация и была принята во вновь созданной питательной смеси. Полный состав смеси принят следующий:

Состав смеси	На 1 кг песка	
	в граммах	в миллиэквивалентах
1. NH_4NO_3	0,240	6
2. $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	0,172	2
3. KCl	0,150	2
4. $MgSO_4$ (на безводную соль)	0,50	1
5. $FeCl_3$	0,025	около $^1/_4$
6. $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,344	4

В основе количество питательных веществ должно было остаться тем же, как и в смеси Гельригеля, но так как количество кальция в $CaHPO_4$ не изменило всего Ca, какое в смеси Гельригеля содержится в виде $Ca(NO_3)_2$, то было введено добавочное количество Ca в виде $CaSO_4$ (отсюда большее содержание серы, чем в смеси Гельригеля).

Исходная реакция питательной смеси гораздо ближе к нейтральной, чем в смеси Гельригеля, но, вследствие неэквивалентного поглощения NH_4 и NO_3, в питательном растворе во время роста растений получается некоторое количество HNO_3, что является сильным фактором подкисления питательного раствора. Если бы источником фосфора служил KH_2PO_4, то растения страдали бы от кислой реакции, но наличность $CaHPO_4$ смягчает это явление.

Когда эта смесь создавалась, то казалось, что слабо выраженная физиологическая кислотность NH_4NO_3 может быть вполне нейтрализована за счет части кальция двузамещенного фосфата, однако последующие опыты показали, что физиологическая кислотность NH_4NO_3 выражена гораздо сильнее, чем это раньше предполагалось, и в песчаных культурах pH опускается до 5,5 и до 5,0*.

Поэтому в своей первичной форме смесь эта оказалась благоприятной для растений слабокислого интервала (как овес, лен, гречиха, люпин), урожаи получались выше, чем на смеси Гельригеля, но для растений, более требовательных к нейтральности среды, лучшим оказался тот вариант смеси, в котором вместо $CaHPO_4$ берется $Ca_3(PO_4)_2$; этим повышается буферность смеси, и реакция раствора меньше смещается в кислую сторону, чем при введении $CaHPO_4$.

Кроме того, эта смесь допускает приспособление к требованиям отдельных растений еще и иным путем, именно можно ослабить сдвиг реакции в кислую сторону, давая не весь азот в виде NH_4NO_3, но вводя часть его в виде $Ca(NO_3)_2$ или KNO_3.

Положительные результаты были получены в опытах нашей лаборатории с увеличением дозы $CaSO_4$ в этой питательной смеси.

---

[1] Вследствие более быстрого использования растениями аммиачного азота, по сравнению с нитратным (см. выше, стр. 95).

* В водных культурах подкисление может быть более сильным (см. примечание на стр. 102).

Очевидно, в данном случае мы имеем дело с ролью кальция как антагониста аммония; введение аммония в питательную смесь означает увеличение суммы одновалентных катионов (по сравнению со смесью Гельригеля), увеличение же количества $CaSO_4$ позволяет изменить отношение $Ca : NH_4$ (или в суммарное отношение двухвалентных катионов к одновалентным) и создать лучшую физиологическую уравновешенность питательного раствора.

Видоизменением описанной смеси являются варианты *питательных смесей* (для водных культур[1]) *с постоянной реакцией*, разработанных в нашей лаборатории при ближайшем участии М. К. Домонтовича (1925—1926 гг.).

Задача состояла в том, чтобы получить такие питательные смеси с бесземельным раствором, реакции которых в том или другом узком интервале pH оставалась постоянной в течение всего вегетационного периода. Для разрешения этой задачи были применены:

1) введение $Fe_2(SO_4)_3$ в больших количествах, чем обычно, не по потребности растения в Fe, а ради снижения исходного pH и придания буферности против подщелочения;

2) введение $Ca_3(PO_4)_2$ не по потребности в P_2O_5, а в большем количестве для усиления буферности против подкисления;

3) замена части NH_4NO_3 из KNO_3 для ослабления подкисления от физиологической кислотности NH_4NO_3.

Рассмотрим здесь детальнее одну из таких питательных смесей.

Питательная смесь (в граммах на литр) с pH=4,8—5,3

1. NH_4NO_3	0,334	5. KCl	0,614
2. KNO_3	0,466	6. $MgSO_4$	0,50
3. $Ca_3(PO_4)_2$	0,70	7. $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,50
4. $Fe_2(SO_4)_3$	0,25		

Эта питательная смесь по своему составу близка к «питательной смеси Прянишникова», но количества питательных веществ взяты здесь по норме смеси Кроне.

Регулирующее влияние на реакцию в этой смеси оказывают соли $Ca_3(PO_4)_2$ и $Fe_2(SO_4)_3$, с одной стороны, и KNO_3 и NH_4NO_3—с другой. $Fe_2(SO_4)_3$ является солью гидролитически кислой [$Fe_2(SO_4)_3+6H_2O=2Fe(OH)_3+3H_2SO_4$].

Кислотность, создаваемая $Fe_2(SO_4)_3$, несколько ослабляется присутствием в смеси $Ca_3(PO_4)_2$, оказывающего буферное действие против подкисления. В результате взаимодействия этих двух солей исходная реакция питательной смеси устанавливается в слабокислом интервале. Во время роста растений на реакцию среды начинают оказывать подкисляющее влияние другие соли, прежде всего NH_4NO_3, вследствие физиологической кислотности. Подкисление от физиологической кислотности NH_4NO_3 также смягчается $Ca_3(PO_4)_2$, который, по исследованиям Домонтовича, в присутствии NH_4NO_3 оказывает буферное действие в интервале pH =5,4—4,1. Присутствие в смеси части азота в виде KNO_3, в свою очередь, смягчает подкисляющее действие NH_4NO_3.

Фосфор в этой смеси дан в малорастворимой форме $Ca_3(PO_4)_2$, однако в условиях слабокислой реакции, устанавливающейся в данной смеси, $Ca_3(PO_4)_2$ служит хорошим источником для питания растений фосфором, тем более что часть его переходит при взаимодействии с освобождающимися из NH_4NO_3 и $Fe_2(SO_4)_3$ кислотами (HNO_3 и H_2SO_4) в более усвояемую форму $CaHPO_4$.

Количество $Ca_3(PO_4)_2$ взято здесь больше, чем необходимо было бы дать в качестве источника фосфора, с тем, чтобы обеспечить достаточно сильное буферное действие для поддержания реакции среды в заданном интервале.

Характерным для этой смеси является также значительное содержание в растворе соли железа. Для проростков со слабой корневой системой это может сказаться неблагоприятно. Поэтому лучше помещать в смесь проростки, достаточно окрепшие.

При сравнении в водных культурах, эта питательная смесь оказалась наилучшей из ряда питательных смесей (сравнивали со смесью Гельригеля, Кроне) для кукурузы, пшеницы, ячменя, гречихи, сои, ржи, проса, сорго и овса.

При проведении опытов с какими-либо растением необходимо выбирать питательную смесь, наиболее подходящую в отношении количества питательных веществ в смеси и в отношении реакции среды. Правильно выбранная питательная смесь дает возможность лучше выявить изучаемый фактор на фоне благоприятного сочетания других факторов. Наоборот, на неподходящей для данного растения питательной смеси может получиться слабое развитие растений, и исследуемый фактор будет затушеван. Поэтому правильный выбор питательной смеси имеет существенное значение при проведении опытов.

[1] Первоначально «смесь Прянишникова» предложена была только для песчаных культур; в водных культурах растения обнаруживают большие страдания от подкисления раствора, чем в песчаных, по двум причинам: 1) в песчаных культурах NH_4NO_3 и $CaHPO_4$ распределены более равномерно, в водной же среде $CaHPO_4$ оседается на дно сосуда, поэтому в непосредственной близости к корням нейтрализация идет менее полно; смена раствора, проводимая раз в сутки, в недостаточной мере устраняет этот дефект; 2) благодаря продуванию и занесению с воздухом микроорганизмов, в водных культурах резче, чем в песчаных культурах, наступает нитрификация.

О НЕОДИНАКОВОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗНЫХ РАСТЕНИЙ УСВАИВАТЬ ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА ИЗ ТРУДНОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Первые представления о различии в способности отдельных групп растений усваивать минеральные вещества почвы сложились на основании разной потребности во внесении удобрений у трех основных групп растений—корнеплодов, зерновых хлебов и кормовых трав; именно по названному признаку заключали, что травы обладают наибольшей усвояющей способностью, корнеплоды—наименьшей, а хлеба занимают среднее положение. Но эти представления сложились в то время, когда не знали, что главный компонент травяных смесей является азотособирателем, и одно это обстоятельство ставит клеверные смеси в особое положение, а при сравнении хлебов и корнеплодов главное различие оказалось обусловленным прежде всего разным выносом питательных веществ с урожаем. Когда перешли от наблюдений к опытам, выяснилось, что прежние представления должны быть оставлены и вопрос об усвояющей способности корней растений должен решаться независимо от представлений Тэера, разделившего с.-х. растения на истощающие и улучшающие почву раньше, чем стало известно, что же собственно берут растения из почвы.

Первые опыты по сравнению растворяющей способности корней по отношению к минеральному субстрату были проведены в 1864 г. Дитрихом (Германия), который интересовался вопросом об участии растений в процессах выветривания горных пород и почвообразования. В сосудах, наполненных измельченным базальтом или пестрым песчаником, он выращивал различные растения и затем определял количество зольных веществ, усвоенных этими растениями.

Дитрих обнаружил крупные различия между отдельными растениями, и если его опыты были несовершенны в том отношении, что он не давал своим культурам азота и, следовательно, бобовые могли быть в более выгодном положении, чем все остальные растения, то все-таки гречиха и шпергель, испытывая такой же азотный голод, как и злаки, усваивали гораздо больше зольных веществ, чем эти последние.

В 1894 г. Дайер (Англия) определил титрованием кислотность сока корней различных растений (но не их корневых выделений); выражая (условно) результаты титрования водных вытяжек в процентах лимонной кислоты, он получил значительно большие цифры для различных бобовых растений, по сравнению со злаками.

К 1896—1897 гг. относятся наши первые опыты с фосфоритами в песчаных культурах, обнаружившие резкое различие между злаками и некоторыми другими растениями (частично—бобовыми) по их способности заимствовать фосфорную кислоту из такого трудно доступного источника, как фосфорит[1]. В отличие от опытов Дитриха, в наших опытах все растения получали азот в виде $Ca(NO_3)_2$ и все необходимые элементы с заменой усвояемого фосфата фосфоритом. Как и в опытах Дитриха, люпин и гречиха стояли в этом случае на первом месте по растворяющей способности, за ними шли горох и горчица, а злаки совершенно не могли усваивать P_2O_5 из фосфоритной муки.

Различия между растениями были несомненны, но оказалось, что нельзя огульно характеризовать все бобовые, приписывая всем им способность использовать фосфорную кислоту фосфорита, так как клевер оказался неспособным к этому (в первый год жизни).

Установив существование различия между отдельными растениями, мы тогда не входили в рассмотрение вопроса, чем эти различия обусловлены.

В том же 1896 г. появилась работа Чапека о корневых выделениях, в которой он пришел к выводу, что корни растений никаких кислот, кроме угольной, не выделяют и что в известных опытах Сакса по разъеданию мраморной пластин-

[1] Фосфор в фосфоритах содержится в виде труднорастворимых соединений типа $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(F,Cl)_2$ и т. п. (подробнее о фосфоритах см. стр. 288—289).

ки корнями растворяющим агентом могла быть именно углекислота, насыщающая ту воду, которая содержится в набухших стенках внешних клеток корня (отсюда не диффузное влияние углекислоты, а местное, приводящее к получению отпечатков корневой системы на мраморной пластинке).

Ввиду того что работа Чапека вошла во многие учебники физиологии, остановимся на ней ближе.

Чапек пытался подойти двумя методами к выяснению вопроса, содержат ли корневые выделения органические кислоты, а именно: 1) прорастивая семена во влажной атмосфере, он собирал с помощью пропускной бумаги те капельки жидкости, которые выделяются корневыми волосками, а затем исследовал микрохимически состав этой жидкости, причем, по его словам, органических кислот в ней не оказалось, но содержались кислые фосфаты и кислый щавелевокислый калий, как, например, у гиацинта (во такой случай, как наличность KHC_2O_4, можно считать противоречащим общему утверждению Чапека).

2) Чапек пробовал применить метод Сакса, но с заменой мрамора веществом, не поддающимся действию CO_2, а разлагаемым лишь более сильными органическими кислотами. За такое вещество он принял фосфат глинозема, $AlPO_4$ с добавлением гипса для получения гладких пластинок. Помещая такие пластинки на пути корней и не получив на них углублений от разъедания корнями, Чапек и заключил, что никаких кислот (кроме CO_2) корни не выделяют. Однако эти опыты не были доказательными, именно Чапек упоминает, что в местах прикосновения корней были не углубления, а возвышения над уровнем остальной части пластинки; значит, возможно, что имело место размывание гипсовой пластинки водой, а корни механически защищали гипс от разъедания водой, которой поливались растения. Поэтому опыты по вопросу об усвояемости P_2O_5 из $AlPO_4$ были нами повторены, в другой форме—мы просто ввели $AlPO_4$ в песчаные культуры как источник P_2O_5 и констатировали значительную усвояемость последней; это было видно по развитию растений и полученным урожаям.

Таким образом, $AlPO_4$, в особенности свежеосажденный, может быть неплохим источником P_2O_5 даже для злаков[1]. Но следует ли отсюда, что корни злаков выделяют органические кислоты? Тоже не следует, так как осажденные фосфаты Fe и Al способны при длительном промывании водой гидролитически расщепляться и нисколько отдавать фосфорную кислоту в раствор, а потому могут служить источником P_2O_5 даже для злаков, неспособных разлагать фосфорит. Итак, опыты Чапека с этими фосфатами не говорят ничего ни за, ни против наличности органических кислот в корневых выделениях.

Утверждение Чапека об отсутствии в корневых выделениях других кислот, кроме угольной, при наличности фактов резкого различия в растворяющей способности корней у отдельных растений (как у люпина и злаковых по отношению к фосфориту) побудило Коссовича поставить опыты по вопросу, не отличается ли одна категория растений от другой количеством углекислоты, выделяемой корнями.

Но при суточном определении углекислоты, выделяемой корнями (за весь вегетационный период), не обнаружилось в этом отношении никаких различий между горчицей, использующей фосфорит, и ячменем, лишенным этой способности (количество углекислоты рассчитывалось на единицу веса корневой системы).

Также Пфеффер и Митчерлих не могли сгладить разницы между «активными» и «пассивными» (по отношению к фосфориту) растениями путем введения углекислоты в среду, окружающую корни. Правда, против такой постановки опыта имеется ранее отмечавшееся возражение, что дело не в той диффузно распределенной углекислоте, которая входит в состав почвенного воздуха, а в той местной концентрации углекислоты, которая растворена в воде, пропитывающей клеточные стенки корневых волосков и мелких корневых разветвлений, чем и объясняются отпечатки корней на мраморной пластинке в опытах Сакса.

Однако все же нет данных, чтобы этой «местной» углекислоты люпин выделял более, чем, например, овес.

Между тем данные о физиологических различиях между корневыми системами отдельных растений продолжали накопляться: так, в 1907 г. Леммермэн повторил работу Дайера, определяя титруемую кислотность спиртовой вытяжки из корневой системы, но, в отличие от Дайера, он взял растения, действительно

[1] Вопрос о свойствах фосфатов алюминия и железа представляет интерес независимо от проверки опытов Чапека, так как эти фосфаты входят в состав удобрений, например, преципитатов, приготовленных из ризаевского и подобных ему фосфоритов; кроме того, они могут содержаться и в почвах (или независимо от удобрения, или при внесении суперфосфата в почвы, богатые полуторными окислами, как красноземы).

различающиеся по растворяющей способности корней, и тогда получил различия и в кислотности экстракта.

Аберсон сделал такие же определения не в экстракте, а непосредственно в жидкости, окружающей корневые волоски, причем получил такие данные:

	Клевер (красный и белый)	Гречиха	Люпин
Титруемая кислотность	0,3—0,4	2,0—2,5	4,1—4,5
pH	7,0—8,0	—	4,0—5,0

В 1911 г. Мазэ (Франция) обнаружил яблочную кислоту в корневых выделениях кукурузы (что было подтверждено в нашей лаборатории Шуловым в 1912 г.), но он не установил, были ли это только соли яблочной кислоты или также и свободная кислота, а в конце концов не так важно знать, какие анионы содержат корневые выделения, как установить степень их кислотности, т. е. концентрацию ионов водорода[1].

Однако в 1912—1914 гг. в нашей лаборатории опытами Шулова и Чирикова было установлено, что не только концентрация иона водорода, но и концентрация иона кальция влияет на использование фосфорита: так, в присутствии KNO_3 использование это идет лучше, чем при $Ca(NO_3)_2$; так же и при заражении клубеньковыми бактериями—горох лучше использует фосфорит, чем при наличии $Ca(NO_3)_2$.

Эти факты дали Чирикову (1914 г.) повод построить гипотезу о связи между способностью растений использовать фосфорит и отношением $CaO : P_2O_5$ в золе растения. Такой же взгляд высказал позднее Труог (США) и Маргарита Вранглель (Германия), не зная о работе Чирикова.

Согласно Чирикову, неодинаковое использование фосфорита различными растениями объясняется тем, что разные растения поглощают кальций и фосфор в неодинаковых соотношениях. При относительно большем поглощении кальция, по сравнению с фосфором, жидкая фаза питательного субстрата обедняется кальцием, чем облегчается переход в раствор иона фосфорной кислоты из трудно растворимого фосфата кальция[2]. На основании данных анализа растений и опытов по выяснению использования фосфорита (в песчаных культурах) Чириков разделил растения на две группы:

1) растения, усваивающие фосфорную кислоту фосфорита, содержат кальций и фосфор в отношении $CaO : P_2O_5 > 1,3$ (весовое отношение);

2) растения, не усваивающие фосфорную кислоту фосфорита, имеют отношение $CaO : P_2O_5 < 1,3$.

К первой группе относятся люпин, гречиха, горчица, ко второй группе—такие, как, например, рожь, овес, просо, ячмень.

Позднее был поставлен вопрос: не отличаются ли люпин и гречиха от злаков тем, что они способны полнее поглощать фосфорную кислоту из очень слабых растворов и что предел используемой концентрации лежит ниже у активных растений? Однако опыты, произведенные в нашей лаборатории с такими «предельными» концентрациями (0,02—0,08 мг P_2O_5 на литр) Домонтовичем и Шестаковым, не обнаружили различия в пользу гороха и гречихи в этом отношении, по сравнению с овсом и кукурузой.

[1] С 1913 по 1918 г. в Германии появился ряд работ по корневым выделениям, не пригодных, однако, для решения этого вопроса, потому что авторы вводили в питательный субстрат NH_4NO_3 в качестве источника азота, а эта соль как физиологически кислая (см. стр. 95) выравнивала отношение всех растений к фосфориту, чего эти авторы не подозревали.

[2] Растворимость фосфатов кальция возрастает по мере замещения кальция на водород: $Ca_3(PO_4)_2 < CaHPO_4 < Ca(H_2PO_4)_2$; поэтому растворение фосфатов кальция зависит от концентрации ионов водорода и ионов кальция. Чем больше в растворе концентрация ионов водорода и чем меньше кальция, тем больше фосфорной кислоты переходит в раствор. Понижение концентрации кальция в растворе вследствие усвоения Ca корнями растений оказывает поэтому растворяющее действие на фосфаты кальция.

Последующие опыты Домонтовича и Шестакова (1926—1927) показали, что люпин не только не обеднет раствор фосфорной кислотой сильнее, чем злаки, но, наоборот, корни люпина обогащают раствор фосфорной кислотой за счет фосфорита: кроме того, что они поглощают часть растворимой P_2O_5 сами, они еще могут улучшить питание злаков, если их высеять в одном и том же сосуде: вот некоторые данные из опытов с просом в песчаных культурах (кроме урожаев, приведем также и результаты анализов питательного раствора, пробы которого были взяты при уборке растений из различных сосудов):

	Фосфорит		KH_2PO_4
	Просо одно	В смеси с люпином	Чистый посев проса
Вес надземных частей проса (6 растений) в граммах	0,6	5,6	23,9
Усвоено P_2O_5 в миллиграммах на сосуд	1,0	19,8	91,6
pH раствора	7,1	4,8	—
P_2O_5 на литр раствора (в миллиграммах)	0,18	8,5	—
CaO » » » » »	1,119	0,486	—

Отсюда видно, что просо на фосфорите развивалось лучше при содействии люпина, чем без него, что люпин подкислил почвенный раствор вообще (а не только там, где набухшая оболочка корневых волосков непосредственно соприкасалась с частичкой фосфорита) и обогащал этот раствор P_2O_5, которую могло частично использовать и просо (такие же результаты получены для овса, см. рис. 4). Интересно, что люпин сильнее обеднял раствор кальцием, чем злаки, согласно с вышеупомянутым взглядом Чаркова.

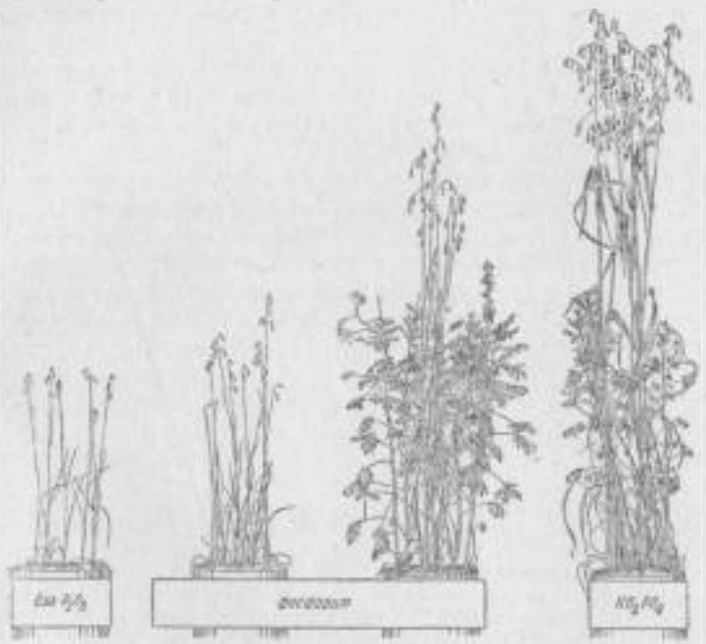


Рис. 4.

При продолжении этих опытов Полосиным (1929—1930) применено было следующее изменение: люпин и овес высевались в отдельных сосудах, но применялось периодическое переливание жидкости из сосуда с люпином, получавшим фосфорит, в сосуд с овсом и обратно; для контроля было проведено такое переливание раствора из сосуда с фосфоритом, но без люпина и без всякого другого растения; вот результаты одного из рядов этой серии опытов (см. табл. на стр. 107, а также рис. 5).

Отсюда видно, что люпин настолько энергично разлагал фосфорит кислыми выделениями корней, что не только сам мог хорошо развиваться, но еще и отдавать овсу некоторую часть растворимой P_2O_5; таким образом, люпин как бы играл роль миниатюрного суперфосфатного завода не только для себя, но и для овса.

	Источник P_2O_5			
	0	Жидкость из сосуда с фосфоритом	То же из сосуда с фосфоритом + + люпин	KH_2PO_4
Урожай овса (в граммах)	1,5	1,9	13,1	42,1
Процент P_2O_5 в урожае овса	0,12	0,16	0,37	0,63
Количество P_2O_5 в урожае овса (в миллиграммах)	1,7	3,0	48,5	264,5

Таким образом, описанными опытами вопрос о наличности кислых выделений был решен положительно для люпина и подобных ему растений; их корневая система определенно подкисляет среду настолько, что фосфорит претерпевает разложение, активное воздействие растения на субстрат здесь несомненно, хотя вопрос о природе анионов, с которыми связано выделение ионов водорода, недостаточно выявлен.

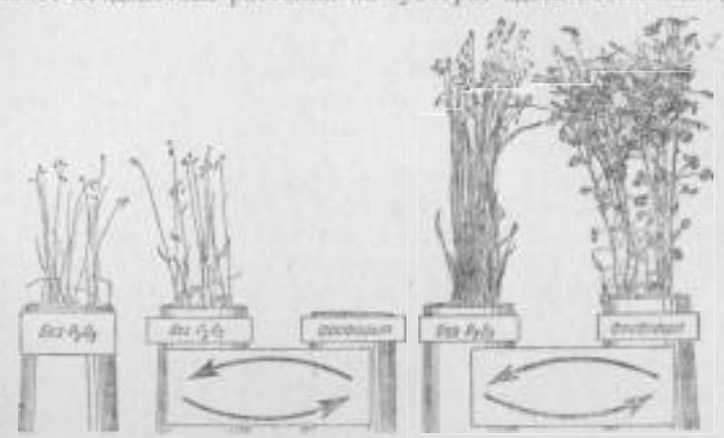


Рис. 5.

Вместе с этим в использовании фосфора из труднорастворимых фосфатов имеет существенное значение и соотношение поглощаемых растением кальция и фосфора.

Но для уяснения характера воздействия на почву таких растений, как злаки, неспособные разлагать фосфорит, нужно отметить, что и они не только пассивно воспринимают то, что циркулирует в почве в растворенном виде и может быть из нее извлечено водой,—они берут из почвы, несомненно, значительно больше; здесь важно проследить влияние того местного воздействия, которое может оказать углекислота, выделяемая при дыхании корней и поглощении питательных веществ и насыщающая воду, которая входит в состав набухшей клеточной стенки корневых волосков.

Опытами, проведенными в последнее время Чириковым (1937), установлено значение непосредственного контакта между корневой системой растений и твердой фазой почвы для усвоения находящихся в почве фосфатов.

Эти опыты проводились следующим образом: растения (овес) высевались в сосудах с почвой и в сосудах с чистым песком; часть сосудов с почвой оставалась без растений. Сосуды имели отверстие в дне, через которое из сосуда вытекает раствор. Раствор, содержащий питательную смесь без фосфора [KCl, $Ca(NO_3)_2$, $MgSO_4$, $FeCl_3$], пропускавшийся через сосуды с почвой без растений, поступал затем в сосуды с песком, в которых находились растения. Просочившийся раствор снова переливался в сосуды с почвой и т. д. Таким образом, эти растения могли использовать только фосфор, перешедший из почвы в раствор при промывании. Там же, где растения высевались в сосуды с почвой, раствор переливался каждый раз снова в тот же самый сосуд. Здесь корни растений находились в контакте с твердой фазой почвы.

Как видно из результатов опыта, приведенных в таблице на стр. 108, растения хорошо использовали фосфор почвы при контакте ее с корнями и не могли использовать фосфор без контакта с твердой фазой (когда растения росли в песке и получали лишь раствор, пропускавшийся через почву). Следовательно, корневая система у таких растений, как овес, способна оказывать активное воздействие на частицы почвы, которое, повидимому, связано с местным изменением состава почвенного раствора вследствие выделения CO_2 и удаления из него тех или других ионов в результате поглощения корнями.

Варианты			Вес растений		Содержание P_2O_5 в растениях	
Субстрат	Растения	Передвижение	общий в граммах	зерна в граммах	в процентах	в миллиграммах
Почва	Без растений	друг в друга	—	—	—	—
Песок	Овес		1,8	0,2	0,13	2
Почва	Овес	в тот же сосуд	58,3	12,7	0,33	192

Различия в усвояющей способности корней разных растений, установленные по отношению к таким малорастворимым соединениям, как фосфат фосфоритной муки, могут быть иными, если речь идет об усвоении питательных веществ из других соединений, каковы, например, фосфаты железа и алюминия или другие малорастворимые соединения. В частности, растения, хорошо усваивающие фосфор из фосфорита, не отличаются по усвояющей способности от злаков и других растений в отношении использования калия из трудно доступных калийных минералов; очевидно, здесь вмешиваются явления другого порядка, чем рассмотренные выше условия, влияющие на усвоение фосфорной кислоты из фосфорита.

В заключение надо сказать, что использование растениями питательных веществ при внесении удобрений *в почвенных условиях*, помимо усвояющей способности растения, в сильнейшей степени зависит от процессов взаимодействия удобрений с почвой. Вопросы, относящиеся к этой области, будут разобраны в следующей главе, а также в дальнейших главах при рассмотрении отдельных удобрений.

СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ

Внесенные в почву удобрения, прежде чем поступить на питание растений, подвергаются разнообразным превращениям. Органические удобрения разлагаются микроорганизмами почвы, в той или иной степени гумифицируются и минерализуются. Скорость и степень их разложения будет зависеть от состава самих органических удобрений, от богатства почвы микроорганизмами и от всех тех условий, которые определяют жизнедеятельность микроорганизмов (влажность, аэрация, температура и реакция почвы, богатство ее элементами минерального питания и т. д.). Учитывая все эти условия, изменяя их в необходимых случаях приемами агротехники, выбирая соответствующее время, способ и технику применения органических удобрений, мы достигаем желаемого эффекта.

Минеральные удобрения, внесенные в почву (как и минеральные продукты разложения органических удобрений), также испытывают разнообразные и более или менее глубокие превращения, подвергаясь растворению, вступая в реакции с компонентами почвенного раствора и твердой фазы почвы и т. д. К этому присоединяются и биологические процессы, сопровождающиеся поглощением микроорганизмами соединений азота, фосфора, серы и других элементов как питательных веществ, изменением степени их окисления при использовании как источников энергии и т. д.

Все эти процессы превращения удобрений в почве идут одновременно, с различной скоростью и по-разному при различных почвенно-климатических и агротехнических условиях, и имеют большее или меньшее положительное или отрицательное значение для питания культурных растений.

Если под удобрением в широком смысле слова разуметь всякое вещество, вносимое в почву с целью повышения урожая и улучшения его качества, то изменение количества и качества урожая может происходить:

1) или потому, что вносимое вещество представляет пищу растений, доставляя им непосредственно элементы, необходимые для жизни;

2) или потому, что оно вызывает ряд реакций в почве, изменяя некоторые ее физические, химические и физико-химические свойства, улучшая тем самым общие условия развития растений и способствуя превращению прежде недоступных для растений веществ в форму, легко усвояемую;

3) или потому, что оно усиливает энергию химических процессов в почве, внося с собой микроорганизмы, ферменты и материал для их деятельности.

В подавляющем большинстве случаев действие удобрений на урожай составляется из совокупности всех тех влияний, которые оказывают удобрения на процессы, протекающие в почве и в растении.

Поэтому, чтобы оценить удобрительное значение какого-либо вещества, чтобы уметь регулировать питание растений в полевых условиях, нужно знать не только потребности растения на всех стадиях его развития, но и нужно быть знакомым с целым рядом свойств почвы и процессов физических, химических и биологических, протекающих в ней.

При рассмотрении действия удобрений необходимо иметь представление как об общих запасах питательных веществ в самой почве и усвояемой их части, так и о динамике перехода питательных веществ из категории

неусвояемых в категорию усвояемых и обратно. Подробнее эти вопросы мы разбираем ниже при рассмотрении отдельных удобрений, но сейчас в общей форме отметим, что на растение действует сумма питательных веществ, составляющаяся из усвояемой части почвенных запасов и из внесенных в виде удобрений. Очевидно, что роль одних и других слагаемых будет зависеть от их величины и в одних случаях большие почвенные запасы (например, усвояемого азота) сделают почти ненужным внесение удобрения, а в других случаях исключительная бедность почвы данным элементом заставит внести почти все количество элемента, необходимое для построения заданного урожая.

Но, как известно, для роста и развития растений нужны не только питательные вещества, а и углекислота, вода, свет, тепло и воздух (вернее кислород). *Для получения высокого урожая надлежащего качества необходимо, чтобы все факторы роста растений были представлены в определенных гармонических сочетаниях, наиболее соответствующих потребностям растений в отдельные периоды их роста и развития.*

Отсюда следует, что действие каждого из безусловно необходимых факторов жизни растений будет зависеть от количества или интенсивности других факторов и от их совокупного действия на растение.

Следовательно, и степень действия удобрений на урожай и его качество будет зависеть не только от природы растения, но и от почвенно-климатических и агротехнических условий, создающих определенный комплекс факторов жизни с.-х. растений. Наиболее наглядно это положение можно иллюстрировать на примере сравнения эффективности удобрений при обычной агротехнике, с одной стороны, и при стахановской—с другой.

Если при обычной агротехнике наиболее эффективные дозы удобрений находятся в пределах примерно 45—90 кг действующего начала на гектар, то при стахановской агротехнике, где все другие факторы роста и развития растений имеют гораздо более высокий уровень, эффективные дозировки могут достигать даже нескольких сотен килограммов N, P_2O_5 и K_2O на гектар. Поэтому при определении норм удобрений и вообще при планировании применения удобрений всегда необходимо учитывать почвенно-климатические условия, с одной стороны, и уровень агротехники—с другой.

Приведем здесь некоторые примеры, показывающие взаимную связь между рядом общих условий развития растений, зависящих от внешней среды, условиями питания и действием удобрений.

Известно, что одним из главнейших факторов урожайности является содержание воды в почве. При резком недостатке воды удобрения действуют слабо или не дают никакого эффекта, а при определенных условиях даже оказывают вредное действие на рост и развитие растений. Но при *относительном* недостатке влаги умеренные дозы удобрений создают условия для более продуктивного использования воды. Так, например, в наших опытах с овсом в 1900 г. было показано, что при условии хорошего минерального питания растений наблюдается довольно сильное снижение транспирационных коэфициентов:

Влажность почвы в процентах от полной влагоемкости		20	40	60	80
Испарялось единиц воды на единицу сухого вещества	без удобрения	444	402	483	505
	при удобрении	282	334	372	409

Таким образом, при одном и том же количестве воды растения на удобренной почве более продуктивно использовали воду[1].

Это, повидимому, можно объяснить, с одной стороны, тем, что транспирация воды и поступление питательных веществ в известной степени независимы друг от друга[2], и при недостатке питательных веществ растение непроизводительно

[1] Эта закономерность была подтверждена многими исследователями в опытах с разными растениями и на различных почвах.

[2] Еще Шлезинг наблюдал нормальное поступление солей в растения, помещенные под стеклянным колпаком, т. е. в условиях подавленного испарения воды листовой поверхностью.

испаряет некоторое количество воды, так как процессы синтеза органического вещества лимитируются недостатком питательных веществ. С другой стороны, под влиянием некоторых питательных солей изменяются водные свойства протоплазмы (повышение ее водоудерживающей способности) и увеличивается осмотическое давление в клетках растений. Все это может привести к более полному извлечению воды из почвы и к менее энергичному ее испарению. Поэтому, применяя удобрения, мы можем более производительно использовать как воду, которую мы даем при орошении в поливном земледелии, так и те запасы воды, которыми располагает растение при недостатке влаги.

Аэрация и температура почвы (в значительной мере связанные с ее водным режимом) также оказывают влияние на условия питания растений и на действие удобрений.

В предыдущей главе было сказано, что такие элементы минерального питания, как фосфор и сера, поступают в растение в окисленной форме[1].

Следовательно, для нормального корневого питания растений необходима хорошая аэрация почвы, так как только при аэробных условиях могут накопляться в окисленной форме элементы минерального питания.

Таким образом, разложение органических удобрений и процессы окисления и восстановления минеральных веществ в почве, а стало быть, и действие их на растение будут зависеть от водно-воздушного режима почв. Но, с другой стороны, и удобрения могут в большей или меньшей степени изменять водно-воздушные свойства почвы. Так, например, органические удобрения (навоз, зеленое удобрение, торфяные удобрения), увеличивая количество органического вещества в почве, способны улучшать физические свойства почв (в особенности малокультурных) в сторону создания более благоприятных водного и воздушного режима.

Известкование подзолистых и гипсование солонцовых почв сильно изменяют физические свойства почв; другие минеральные удобрения также более или менее влияют на физические и физико-химические свойства почвы и прямо, изменяя состав поглощенных катионов, и косвенно, увеличивая запас органического вещества в почве благодаря увеличению корневой массы и массы пожнивных остатков.

Фактор *температуры*, кроме прямого влияния на деятельность корней, играет большую роль в процессах химических и биологических, которыми определяются скорость и направление превращений питательных веществ в почве. Повышение температуры усиливает жизнедеятельность микроорганизмов почвы и способствует мобилизации почвенного азота.

Отмечается и большая мобилизация фосфора почвы при повышении температуры.

Значение тепловых условий, в связи с влиянием на питательный режим и действие удобрений, довольно ясно выступает, например, при весеннем развитии озимых культур. В то время как надземная часть растения уже ранней весной имеет все условия для синтеза органического вещества, минеральное питание растений в этот период не обеспечено, так как, вследствие более медленного нарастания температуры почвы, в ней не успевают накопиться необходимые запасы усвояемых питательных веществ, прежде всего азота. Поэтому весеннее удобрение озимых даже небольшими дозами часто бывает весьма эффективным.

Существенное значение для действия удобрений имеют и такие факторы, которые могут оказывать отрицательное влияние на развитие растений. К таким факторам химического порядка относятся, например, *почвенная кислотность* и содержание подвижного алюминия свыше известного предела, а также повышенная *щелочность* и засоленность почв. И здесь также наблюдается двусторонняя зависимость, т. е., с одной стороны, эффективность удобрений будет зависеть от степени выраженности того или иного вредного фактора, а с другой—

[1] Азотное питание растений может осуществляться как за счет NO_3, так и за счет NH_4, но все же в культурных почвах нитратное питание растений является более распространенным, так как нитрификация является обычно спутником хороших общих условий в почве, необходимых для развития высших растений.

сами удобрения могут подавлять или, наоборот, активизировать вредное действие кислотности.

Далее отметим такие факторы, как засоренность почвы и ее зараженность вредителями и возбудителями болезней. На сильно засоренной почве удобрения не смогут оказать своего полного действия, а иногда даже дадут и отрицательный эффект вследствие подавления культурных растений бурно развивающимися на удобренном поле сорняками. Последнее часто наблюдалось при удобрении льна на засоренных почвах и при подкормке изреженных озимых, если не была обеспечена тщательная прополка посевов. Но при определенных условиях удобрения могут содействовать подавлению сорной растительности. Быстрое и дружное развитие удобренных растений при хорошей густоте стояния ослабляет световое и минеральное питание сорняков, также и снабжение их водой, и все это вместе создает неблагоприятные условия для их развития и размножения, облегчая тем самым последующую борьбу с сорняками прямыми агротехническими приемами.

Поврежденные и больные растения также не могут в должной мере использовать удобрения. Однако в некоторых случаях удобрения могут повышать устойчивость растений против повреждений и заболеваний; так, например, повышенное калийное питание картофеля уменьшает заболеваемость клубней кольцевой гнилью, известкование почв уничтожает капустную килу[1].

Из этих примеров видно, что действие удобрений, влияющих прежде всего на условия питания растений, находится в тесной связи не только со свойствами самого растения, но и со свойствами и изменениями той среды, в которой растения развиваются. *Поэтому только на основании учета суммы влияний, которые оказывает то или иное вещество на процессы почвы (физические, химические, биологические) и на самое растение, мы можем правильно оценить его значение в качестве удобрения*[2].

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Условия, создающиеся при внесении удобрений в почву, во многих отношениях отличаются от того простого случая, который мы имеем при внесении солей в водные и песчаные культуры.

Поэтому для нас важно более детально познакомиться с тем, как почва относится к вносимым в нее солям, какова ее роль как посредника между удобрением и растением.

Весьма важным свойством почвы является ее способность задерживать известные вещества из растворов, проходящих через нее, поглощать их.

Историю изучения явлений поглощения ведут обыкновенно с Гадзери (Gazzeri, Италия), который в 1819 г. издал сочинение, озаглавленное: «Новая теория удобрения». Там он описывает свои опыты с процеживанием навозной жижи через глину, причем происходит обесцвечивание жидкости, и приходит к выводу, что «почва, в особенности же глина, воспринимает приходящие с ней в соприкосновение вещества и удерживает их, чтобы передать растениям по мере надобности». В Германии Бронмер в 1836 г. производил такие же опыты, не зная о работах Гадзери, и пришел к заключению, что даже песчаные почвы способны притягивать растворимые вещества и сполна их воспринимать, не

[1] Часто удобрения *ускоряют развитие растений* и к моменту массового появления вредителей растение оказывается в малоповреждаемой стадии (благодаря сильному развитию покровных и механических тканей и т. д.). Общее хорошее состояние растений благодаря нормальному минеральному питанию также увеличивает сопротивляемость растений против болезней.

Но возможно и противоположное влияние удобрений. Так, например, избыточное азотистое питание растений приводит к пышному развитию сочных и нежных листьев, что может способствовать развитию грибных и других заболеваний, особенно когда растения затеняют друг друга и создают повышенную влажность надпочвенного слоя воздуха.

[2] Эту мысль автор последовательно проводил, начиная с первого издания «Учения об удобрении», вышедшего в 1900 г.

отдавая их затем притекающей воде; растворимые соли, будучи поглощены, лишь в незначительных количествах вымываются водою; отсюда Бронмер заключил, что действие удобрения касается лишь верхнего слоя почвы, не достигая подпочвы.

В Англии в 1845 г. Томпсон впервые наблюдал поглощение почвой определенных веществ, как, например, аммиака из солей, причем заметил, что при действии на почву раствором $(NH_4)_2SO_4$ вместо аммония в раствор переходит кальций, образуя $CaSO_4$. В 1850 г. в Англии же появились обстоятельные исследования Уэя (Way), который проделал опыты со многими почвами и различными веществами, пытаясь выяснить, какая составная часть обусловливает поглощение. Процеживая через почву растворы калийных и аммиачных солей, он наблюдал поглощение вводимых оснований с вытеснением других; кислоты же, связанные с введенными основаниями (серная, соляная, азотная), оказывались целиком в растворе, большей частью в виде солей извести, в частью и других оснований (но фосфорная кислота вела себя иначе—она тоже задерживалась почвой; если калий и аммиак употреблялись в соединении с P_2O_5, то они поглощались сильнее).

Уэй объяснил поглощение оснований *реакциями взаимного обмена между раствором и почвой*; сначала он думал, что в почве вступает в эти реакции кремнекислая известь, но опыты с этим веществом не подтверждали его предположения. Тогда Уэй обратил внимание на так называемую цеолитную часть почвы—водные двойные соединения кремнекислого глиноземa с другими кремнекислыми основаниями, которые, как предполагалось, образуются в почве при процессах выветривания непосредственно или путем вторичным, при соприкосновении веществ, являющихся продуктами этих процессов; он приготовил искусственный натровый цеолит, приливая раствор натрового стекла к раствору квасцов, и констатировал его способность поглощать калий. То же показал он и для известкового цеолита, причем наблюдалась эквивалентность оснований, входящих и выходящих из состава цеолита. Таким образом, опыты Уэя говорили за чисто химическую природу явлений поглощения.

Опыты Уэя не обратили на себя должного внимания в кругах сельскохозяйственных, пока Либих в 1858 г. не поднял вновь вопроса о поглотительной способности почвы и не подчеркнул важность его с точки зрения питания растений и удобрения[1]. Он усумнился, однако, в правильности толкования Уэя относительно роли цеолитов и относительно химической природы явлений поглощения вообще.

Дело в том, что наблюденные Уэем факты плохо мирились с общепринятыми в то время химическими воззрениями; так, Уэй имел дело с реакциями, которые протекают не до конца, а лишь до установления известного равновесия, которое зависит от концентрации раствора и от соотношения между количеством почвы и раствора. Либиху же казалось странным, что в одном случае натрий вытесняет кальций, в другом случае реакция принимает обратное направление; не мирился он также с тем, что аммоний, введенный в виде NH_4Cl, мог вступать в двойные соединения, вытесняя кальций из водных силикатов (законы химического равновесия были с ясностью сформулированы лишь позднее, именно Гульдбергом и Ваге в 1867 г.). Поэтому Либих склонился к объяснению явлений поглощения чисто физическим путем.

Хотя ряд работ по поглотительной способности, вызванных Либихом же, доставил много фактов, подтверждающих взгляд Уэя на химическую природу

[1] Вот, например, одно из замечаний Либиха по этому поводу: «Вполне возможно, что посредством более точного определения поглотительной способности почвы будут найдены совершенно новые и неожиданные отправные точки для определения с.-х. ценности и достоинства отдельных полей» («Химия в приложении к земледелию и физиологии», стр. 200, 1936 г.).

Это предположение Либиха оказалось верным, так как исследования поглотительной способности действительно позволили установить ряд методов для определения свойств почвы, имеющих большое значение в агрономическом отношении.

явлений поглощения, тем не менее на выводах германских исследователей надолго отразилось влияние авторитета Либиха, и многие из них старались доказать, что не химическим причинам принадлежит главная роль в объяснении явлений поглощения в почве (хотя изучались явления обменного разложения)[1].

В результате последующих работ (Геннеберга и Штомана, Петерса, Раутенберга и др.) был накоплен большой фактический материал, характеризующий поглотительную способность почвы как с качественной, так и с количественной стороны[2] (зависимость поглощения от времени, температуры, концентрации и количества раствора; непоглощаемость анионов Cl, NO_3 и SO_4; различная энергия поглощения K, NH_4 и Na; эквивалентность обмена). Раутенберг (1863) установил, что не только измельченный кварц, но и каолин, гидраты полуторных окислов и карбонаты Ca и Mg не играют активной роли в явлениях поглощения; глина же ведет себя иначе, чем чистый каолин (см. стр. 117).

Установление понятия о коллоидах (Graham, 1860) и последующее развитие коллоидной химии оказали огромное влияние на дальнейшие исследования поглотительной способности почв. Одним из первых на роль коллоидальных веществ как носителя поглотительной способности почвы указал (в восьмидесятых годах) Ван-Беммелен. По Беммелену, эти вещества способны давать так называемые *абсорбционные* соединения, которые отличаются от обычных химических соединений непостоянством молекулярных соотношений.

Существенными чертами для абсорбционных соединений Беммелен считал следующие: 1) количества поглощенных веществ не находятся в эквивалентных соотношениях с массой поглотителя; 2) состав их меняется в связи со структурой и всеми модификациями свойств поглотителя, которые он обнаруживает в зависимости от способа приготовления, от нагревания, влияния других веществ, влияния времени (изменение свойств коллоидов при хранении) и других условий; 3) в зависимости от температуры и концентрации окружающего раствора количество вещества, поглощенного данным коллоидом, существенно меняется; 4) образование абсорбционных соединений ослабляется по мере хода поглощения и постепенно наступает состояние равновесия.

Большую роль в явлениях поглощения в почве Ван-Беммелен приписывал *гумусу* и *цеолитоподобным силикатам*, являющимся продуктами выветривания, причем явления замещения оснований в кристаллических цеолитах он считал относящимися к типичным химическим реакциям.

Таким образом, по существу не было резкого различия между взглядами Уэя и Ван-Беммелена по вопросу о том, какие составные части почвы обусловливают главным образом их поглотительную способность; различие состояло больше всего во взглядах на самую природу этих составных частей (водные соединения кремнекислоты с глиноземом и другими основаниями и гумус).

Отсутствие пропорциональности между поглощением оснований и содержанием в почве гумуса и водных алюмосиликатов объяснялось тем, что

[1] Впрочем, о Либихе нужно сказать, что он не отрицал совершенно участия химических явлений; так, он показал, что почвы, богатые органическими кислотами, поглощают из слабых растворов K_2SiO_3 много калия и мало SiO_2, так что фильтрат при выпаривании дает студень; если же почву прокалить или прибавить $CaCO_3$, то и SiO_2 начнет поглощаться; химизм здесь очевидный, но Либих не находил возможным признать его в других случаях.

[2] Интересно, что уже в то время, еще до открытия закона действующих масс и до работ Грэма, на основе изучения поглотительной способности почв были даны математические формулировки закономерностей поглощения. Так, Беденер в 1859 г. предложил формулу $y = kx^{\frac{1}{p}}$, выражающую зависимость между количеством поглощенного основания (y) и концентрацией исходного раствора соли этого основания (x), предвосхитившая более чем на 50 лет уравнение Фрейндлиха ($y = kC^{\frac{1}{p}}$, где C — равновесная концентрация адсорбируемого вещества, k и p — константы). В том же 1859 г. Вольф предложил для этой цели другую формулу $y = k_1 \frac{k_2 C}{k_2 + C}$, предвосхитившую по своей форме уравнение Ленгмюра, данное последним в 1916 г. О количественных зависимостях в почвенном катионном обмене см. ниже, стр. 121.

поглощение зависит не от всей массы поглотителей, а от их активной поверхности.

В начале XX столетия поглотительная способность водных силикатов (искусственно приготовленных) обратила на себя внимание еще с одной стороны, именно, техника стала использовать с различными целями их высокую способность к обмену оснований, следствием чего явилось производство искусственных цеолитов фабричным путем[1]. Так, Рюмплер в 1903 г. предложил употреблять такой искусственный водный силикат для очищения свекловичного сока на сахарных заводах; при этом возможно заменить в растворе одни основания (калий, аммоний, бетаин) другими (кальцием), после чего патока легче поддается очищению и кристаллизации.

Затем Ганс (Gans, 1908) предложил для очистки вод применять фабричным путем изготовляемый искусственный цеолит, так называемый «пермутит», стоящий близко к природному цеолиту шабазиту; это известковый цеолит, но только не кристаллический (в отличие от природного цеолита—шабазита).

Современник Ганса—Штремме, на основе изучения свойств осадков, получающихся при смешивании кремнекислого натрия с уксуснокислым алюминием, утверждал, что эти осадки не химические соединения, а механические смеси[2], сходные по своим свойствам с некоторыми природными цеолитами. Ганс не считал, что пермутит является химическим соединением, что цеолитоподобные силикаты почвы по своему составу и свойствам аналогичны искусственным цеолитам и, следовательно, реакции обмена оснований в почве являются химическими реакциями, подчиняющимися закону действующих масс (см. ниже).

Таким образом, признание роли коллоидов в явлениях поглощения не находилось в противоречии с представлением о химической природе обменных реакций в почве.

Для дальнейшего развития учения о поглотительной способности почвы огромное значение имели работы нашего ученого К. К. Гедройца, начатые им в 1908 г. Работы Гедройца дали обильный и точный материал по различным сторонам явлений поглощения; он уточнил самое понятие о поглотительной способности почв, установил главнейшие факты относительно емкости поглощения, состава поглощенных катионов в разных почвах, энергии поглощения катионов, скорости поглощения и т. д. Кроме того, Гедройц пошел дальше и глубже, чем его иностранные современники, в части привлечения коллоидной химии к объяснению почвообразовательных процессов, в изучении зависимости важнейших с агрономической точки зрения свойств почв от состава обменных катионов и т. п.[3]

Так как работами Гедройца были заложены основы наших современных знаний о поглотительной способности почв, то в дальнейшем изложении мы отступим от исторического обзора и перейдем к систематическому разбору главнейших положений, как установленных Гедройцем, так и позднейшими работами в этой области.

Гедройц под поглотительной способностью почвы в самом широком смысле этого слова подразумевал способность *почвы в целом* задерживать те или другие вещества, приходящие в соприкосновение с твердой фазой почвы через циркулирующие в ней воды. Исходя из такого широкого понимания поглотительной способности почвы, Гедройц различал следующие виды поглощения в почве:

1) *механическое* поглощение, обусловленное свойством почвы, как всякого пористого тела, задерживать более или менее крупные частицы, взмученные в фильтрующейся через почву воде;

[1] Для этого или сплавляют кремнекислый глинозем с углекислыми щелочами, добавляя кварц, обрабатывают сплав водой и полученный натровый или калиевый пермутит переводят в известковый промыванием раствором соли кальция; или же получают пермутит путем осаждения, причем или растворяют кремнекислоту в едком натре и прибавляют гидрат глинозема для осаждения сложного силиката, или растворяют глинозем в щелочи и вводят затем кремнекислоту (эти пути приводят к продуктам близким, но не тождественным).

[2] Это мнение последующими исследованиями не подтвердилось.

[3] Почти одновременно с Гедройцем начал свои работы Г. Вигнер (1912). Агрохимическая лаборатория Вигнера (в Цюрихе) до самой смерти ее основателя и руководителя (1935 г.) была одной из ведущих лабораторий по вопросам исследования почвенных коллоидов и почвенного катионного обмена. Ученик Зигмонди—известного профессора коллоидной химии—Георг Вигнер не только строил все свои работы с почвами на последних достижениях коллоидной химии, но и немало способствовал развитию самой коллоидной химии своими глубокими и оригинальными исследованиями.

2) *физическое* поглощение, состоящее в положительной или отрицательной адсорбции целых *молекул* растворенных солей[1];

3) *физико-химическое* или *обменное* поглощение, вызываемое способностью почвы обменивать некоторую часть содержащихся в ее твердой фазе катионов на эквивалентное количество катионов раствора;

4) *химическое* поглощение, выражающееся в том, что анионы и катионы растворенных солей могут давать с катионами и анионами почвенного раствора малорастворимые или нерастворимые соединения, выпадающие в осадок и примешивающиеся к твердой фазе почвы, и

5) *биологическое* поглощение, вызываемое жизнедеятельностью растений и микроорганизмов почвы, поглощающих из почвенного раствора различные вещества.

Таким образом, в общем понятии поглотительной способности почвы Гедройцем внешне объединились довольно разнородные явления и процессы, обусловленные различными причинами и протекающие с различной скоростью. Так, например, процессы физико-химического поглощения протекают почти моментально, в то время как все биологические превращения идут в течение более или менее продолжительного времени. Поэтому все процессы, объединяемые Гедройцем под рубрикой «биологическое поглощение», нам кажется целесообразным не только выделить в особую группу явлений, но и в свою очередь раздельно рассматривать процессы *биологического связывания* азота, фосфора, серы и других элементов питания *микроорганизмами почвы* от процессов *поглощения* питательных веществ *культурными растениями*, так как жизненные циклы микроорганизмов и высших растений несоизмеримы, а стало быть и круговорот элементов питания в почве в том и другом случае будет различным с агрономической точки зрения.

Кроме того, поглощение питательных веществ корнями высших растений не имеет ничего общего с поглотительной способностью почвы, наоборот, это есть отнятие от почвы связанных с нею веществ (*десорбция*, а не *адсорбция*).

Точно так же особое положение занимают явления, относимые Гедройцем к механическому поглощению (задержание взмученных частиц в порах почвы). Более близки по своей природе процессы, которые Гедройц обозначает как физическое, физико-химическое и химическое поглощение. Исследование этих процессов и представляет главное содержание современного учения о поглотительной способности почв.

В основном здесь можно различать следующие три типа поглощения:

а) *молекулярную адсорбцию*, когда поглощение происходит целыми молекулами (физическое поглощение по Гедройцу); при этом изменяется только концентрация растворенного вещества, но качественный состав раствора не изменяется;

б) *обменную адсорбцию* (физико-химическое поглощение по Гедройцу), когда между раствором и твердой фазой почвы происходит обмен ионами и потому химический состав раствора изменяется;

в) условно можно говорить еще о *химическом поглощении*, которое состоит в образовании малорастворимых соединений при химических реакциях.

В первых двух из этих случаев мы имеем дело с взаимодействием между почвенными коллоидами (главным образом) и веществами, находящимися в растворе[2]. Химическое же поглощение прямого отношения к адсорбционной способности почвенных коллоидов не имеет.

---

[1] К категории физического поглощения Гедройц относил также и такие процессы, как *коагуляция коллоидов* в почве.

[2] В коллоидной химии различают, кроме собственно молекулярной адсорбции, такие виды поглощения (Фервей):

1) обмен компенсирующих ионов,

2) обмен ионов решетки,

3) ассимиляция потенциал-определяющих ионов.

Применение этой классификации к явлениям поглощения в почвах представляет известный интерес, однако здесь возникают некоторые затруднения: классификация Фервея легко

Остановимся прежде всего на рассмотрении обменной адсорбции катионов в почвах, ибо исследования именно в этой области дали очень много для понимания как природы явлений поглощения в почвах вообще, так и процессов взаимодействия удобрений с почвами в частности.

ОБМЕННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ КАТИОНОВ

Физико-химическое или обменное поглощение отличается в двух отношениях от того чисто физического поглощения, какое свойственно каждому тонко измельченному веществу: 1) большей прочностью связывания и способностью удерживать поглощенные вещества от вымывания водой, 2) наличностью обменных реакций, т. е. иными признаками химизма в этом процессе.

Так, если взболтать навеску какой-либо почвы с раствором хлористого калия и затем исследовать состав раствора, то найдем, что количество хлора в растворе не изменилось; содержание же калия уменьшилось, но зато в растворе появились другие основания, преимущественно кальций, в виде хлористого кальция. Если мы ту же почву обработаем не раствором соли, а дистиллированной водой, то заметных количеств кальция в раствор не перейдет. Значит кальций вытесняется из каких-то нерастворимых соединений, а калий занимает его место в этих соединениях. Если мы после этого будем промывать почву чистой водой, то поглощенная часть калия в эту воду переходить не будет—калий прочно связывается почвой. Но какие же составные части почвы вызывают эти явления? Ясно, что такие простые тела, как зерна кварца, не могут обладать поглотительной способностью этого типа, ибо в них обмениваться нечему; чистый каолин[1] также не содержит подвижных катионов; однако если взять не чистый каолин, а обыкновенную глину, то она уже обнаруживает явления поглощения. Но чем же глина отличается от каолина? Тем, что в ней, кроме стойкого соединения глинозема с кремнекислотой, находятся еще примеси нестойких соединений, содержащих, кроме глинозема с кремнеземом, еще и различные основания в подвижной форме, причем эти примеси в отличие от самого каолина разлагаются разведенными кислотами с выделением кремнекислоты.

Так как существуют минералы, известные под именем цеолитов, которые также состоят из нестойких водных[2] соединений алюмосиликатных кислот с различными основаниями и также проявляют способность к обменным реакциям, то стали обозначать суммарно как «цеолитную» (или цеолитоподобную) часть почвы и те минеральные соединения, которые принимают участие в явлениях поглощения.

Но, кроме минеральной части, в этих явлениях участвуют и органические соединения, именно нерастворимые в воде, так называемые гуминовые кислоты; они также могут связывать основания (кальций и другие катионы), давая с ними солеобразные соединения (гуматы), также нерастворимые в воде, но способные реагировать с растворами солей и отдавать свои основания в обмен на поглощаемые.

Несмотря на различие своей природы, и цеолитная (вернее цеолитоподобная) и гуматная части почвы участвуют в явлениях поглощения и потому совместно обозначаются, по Гедройцу, общим наименованием *почвенный поглощающий комплекс*.

Термином «цеолитный» Гедройц пользовался не в том смысле, чтобы признавать в почве наличность тех самых цеолитов, которые давно известны в минералогии (натролит и др.), но лишь в смысле указания на присутствие в почве неко-

---

применима и таким, например, коллоидам, как AgJ, AgCl и т. п.; по отношению же к почвенным коллоидам, более сложным по своему составу и свойствам, нам представляется пока целесообразным придерживаться более общей классификации.

[1] Каолин—$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$—представляет стойкое соединение глинозема с кремнеземом, не поддающееся действию разведенных кислот.

[2] В отличие от *безводных* силикатов, как полевой шпат, которые более стойки по отношению к кислотам и в которых основания такой подвижностью не обладают.

торых цеолитоподобных минералов. Последнее теперь и подтвердилось, именно оказалось, что в коллоидной части почвы большую роль играют соединения, являющиеся водными алюмосиликатами, подобно цеолитам, обладающим сильно выраженной способностью к обмену катионами; эти алюмосиликаты («глинные минералы», или минералы глин) также разрушаются кислотами (хотя и при большей концентрации, чем цеолиты), также теряют воду при нагревании (хотя и при более высокой температуре, чем цеолиты) и в довершение всего исследования последнего времени показали, что эти носители поглотительной способности почвы оказались не аморфными образованиями, а кристаллическими. Таким образом, по ряду важнейших свойств они стоят между цеолитами, с одной стороны, и безводными алюмосиликатами (как полевой шпат, слюда и пр.)—с другой; в этом смысле указание Гедройца на наличность известных черт сходства этих образований с цеолитами (и одновременно—черт различия от первичных минералов) оказалось вполне правильным. Подробнее об этих минералах, характерных для ряда природных глин и распространенных в почвах, будет сказано ниже[1]; здесь же лишь отметим, что эти минералы глин представляют как бы соли нерастворимых в воде алюмокремневых кислот с теми или иными основаниями, замещающими водород в группах типа $RSi\overset{O}{\diagup\!\!\diagdown}OH$. Эти-то основания прежде всего и способны к обмену на другие катионы при взаимодействии с растворами солей.

Заметим, что и по отношению к так называемой гуматной части поглощающего комплекса можно говорить если не о вполне определенных индивидуальных химических соединениях, обладающих способностью к обменным реакциям, то о наличии в составе органического вещества почвы таких групп, присутствие которых объясняет химическую природу реакций обмена катионов, а именно здесь несомненно присутствие карбоксильных групп в составе сложных органических соединений, не обладающих растворимостью в воде; при этом в реакциях обмена участвуют не все карбоксильные группы, а лишь та часть их, которая находится на поверхности мелкораздробленных частичек органического вещества. В последнее время сделаны некоторые шаги в направлении выяснения химического строения этих соединений (см. ниже «Органическое вещество почвы»).

Схематически химическую природу обменной способности минеральной и гуматной частей поглощающего комплекса можно, следовательно, представить таким образом:

а) минеральная часть:

$$RSi\overset{O}{\overset{\|}{}}-OK + NH_4Cl \rightleftarrows RSi\overset{O}{\overset{\|}{}}-ONH_4 + KCl;$$

б) гуматная часть:

$$RCOOK + NH_4Cl = RCOONH_4 + KCl,$$

где R—сложный радикал (алюмосиликатный или органический), который входит в состав соединений, образующих коллоидальную фракцию твердой фазы почвы.

Таким образом, если с химической стороны обе части поглощающего комплекса объединяются тем, что содержат поглощенные катионы, способные к обмену, то с физической стороны поглощающий комплекс представляет совокупность тех частей почвы, которые находятся в мелкораздробленном состоянии,—это прежде всего коллоидальная часть почвы вместе с фракциями ила, соседними по величине с коллоидальными частицами.

[1] См. стр. 132—133.

Благодаря высокой степени раздробленности (дисперсности) своих частичек и, следовательно, большой поверхности[1] поглощающий комплекс обладает сильно выраженной реакционной способностью. Поэтому, несмотря на нерастворимость этих частичек в воде, они достаточно энергично реагируют в водной среде с растворами солей.

Если высокая раздробленность чрезвычайно повышает реакционную способность коллоидальной части почвы, то все же остается существенное различие между поведением коллоидальных частичек, с одной стороны, и отдельных молекул в истинном растворе какой-либо соли—с другой. Так как коллоидальные частички (мицеллы) состоят из десятков или сотен тысяч молекул, а в реакции принимают участие только поверхностно расположенные молекулы, то при всей типичности химической реакции, осуществляющейся на поверхности, нам все-таки будет казаться, что мы имеем дело с каким-то отступлением от законов общей химии. Так, мы не можем при анализе отделить активные поверхностные молекулы от сопровождающей их массы внутренних молекул, не принимающих участия в реакции. Поэтому этот вид реакций приходится назвать коллоидно-химическими реакциями, а *тот вид поглотительной способности, который мы рассматриваем, обозначить как коллоидно-химическую поглотительную способность* в отличие от тех случаев типичных химических реакций, которые связаны с образованием нерастворимых соединений без явления обмена (о чем будет речь ниже); ее же можно назвать *обменной поглотительной способностью* или физико-химической (по Гедройцу), хотя это обозначение, на наш взгляд, меньше говорит о сущности явления, чем термин «коллоидно-химическая поглотительная способность».

Если мы поглощающий комплекс условно представим как нечто целое, то вышеупомянутый пример поглощения почвой калия из раствора какой-либо калийной соли с вытеснением кальция можно изобразить следующей схемой:

$$\left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\!\!>\!Ca + 2KCl = \left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\!\!<\!\begin{matrix}-K\\-K\end{matrix} + CaCl_2.$$

Нужно иметь в виду, что мы здесь имеем дело с *обратимыми реакциями*, т. е. можно заставить почву обратно поглощать кальций и отдавать в раствор калий, если подействовать на нее раствором $CaCl_2$. Поэтому при однократном взбалтывании почвы с раствором KCl не весь поглощенный кальций вытеснится из почвы, но по мере накопления его в растворе устанавливается некоторое подвижное равновесие между калием и кальцием и реакция останавливается, не доходя до конца.

Если раствор не сменяется, то на известном пункте реакция останавливается под влиянием накопления в растворе вытесненного основания; поэтому можно искусственно уменьшить размеры поглощения, введя в раствор соль вытесняемого из почвы или цеолита основания. Так, например, в опытах с натровым цеолитом Armsby (1877) наблюдал следующее поглощение Ca из раствора $CaCl_2$, причем в одном случае к раствору $CaCl_2$ прибавлялся NaCl, а в другом—нет.

Взято силиката	Поглощено Ca без прибавления NaCl	Поглощено Ca при прибавлении NaCl
2,5 г	0,1151 г	0,1039 г
1,25 г	0,0663 »	0,0585 »
0,625 г	0,0389 »	0,0303 »
0,3125 г	0,0187 »	0,0143 »

[1] Насколько степень измельчения твердого тела способствует последовательному увеличению реагирующей поверхности, видно из такого сопоставления, например, для частиц кубической формы:

Длина ребра	Число кубов	Их общая поверхность
1 мм	1	6 мм²
0,01 мм	10^6	600 »
0,0001 мм (= 0,1 микрона)	10^{12}	600 см²
0,01 микрона	10^{18}	6 000 » и т. д.

Таким образом, одно и то же весовое количество вещества в зависимости от степени раздробленности обладает весьма различной величиной поверхности.

Таким образом, при коллоидно-химическом поглощении мы имеем дело с условиями подвижного равновесия; подобно тому как количество газа, растворенного в жидкости, зависит от парциального давления, так и количество катиона, поглощенного почвой, зависит от содержания его в окружающем растворе после поглощения. Только здесь зависимость не столь проста, как в случае газов, так как взамен поглощаемого катиона выделяется другой, и равновесие будет определяться отношением концентраций обменивающихся катионов, с одной стороны, и различием в энергии поглощения катионов—с другой.

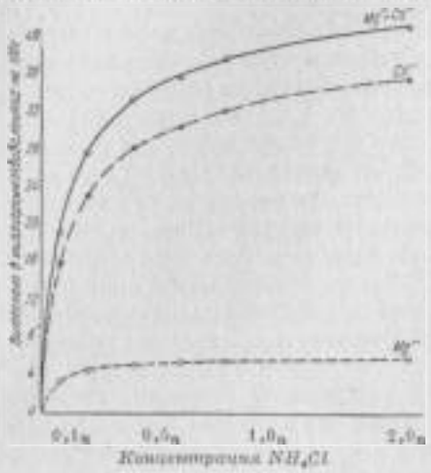


Рис. 6.

Вот этот-то характер подвижного равновесия и обратимость реакции, не идущей до конца при однократной обработке почвы раствором соли, во времена Либиха мешал признать химической природу такого типа поглощения, который мы назвали поглощением коллоидно-химическим в вышеочерченном смысле слова, потому что тогда не знали свойств коллоидов и законы химического равновесия вообще не были установлены.

Раз мы имеем дело с подвижным равновесием, то, конечно, количество вытесняемого основания при однократной обработке будет различно, смотря по тому, какова будет *концентрация той соли*, раствором которой мы будем действовать на почву. Вот пример из опытов Гедройца с самарским черноземом (навеска—10 г, объем раствора—50 мл, время действия—48 часов):

Концентрация раствора NH_4Cl	Вытеснено				
	В процентах от веса почвы		В миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы		
	Ca	Mg	Ca	Mg	Сумма
0,01-н	0,064	0,010	3,20	0,83	4,03
0,10-н	0,321	0,042	16,05	3,50	19,55
0,50-н	0,571	0,062	28,50	5,17	33,67
1,0-н	0,651	0,068	32,55	5,66	38,21
2,0-н	0,711	0,070	35,50	5,83	41,33

На рис. 6 эти же данные изображены графически.

Как видно, вытеснение кальция и магния поглощаемым аммонием растет с концентрацией раствора взятой соли, но не пропорционально, притом в слабых растворах влияние возрастающей концентрации сказывается сильнее, а переход от полунормальной концентрации к нормальной и выше уже не дает тех эффектов, как переход от 0,01 к 0,1-нормальной.

Попробуем рассчитать, сколько поглотилось аммония в процентах от исходного количества в зависимости от концентрации. Как указано выше, на 10 г почвы бралось 50 мл раствора; если бы мы взяли 100 г почвы, то объем раствора соответственно был бы 500 мл. Помня, что в 1 л нормального раствора содержится 1 грамм-эквивалент (гэ) вещества, или 1 000 миллиграмм-эквивалентов (мгэ), а в 1 л 0,1-н раствора—100 мгэ и т. д., мы получим следующую таблицу:

В 500 мл исходного раствора содержалось миллиграмм-эквивалентов NH_4	Поглощено почвой	
	В миллиграмм-эквивалентах NH_4 на 100 г	В процентах от исходного количества
5	4,03	80,1
50	19,55	39,1
250	33,67	13,5
500	38,21	7,6
1 000	41,33	4,1

Мы видим, что при малой концентрации оказалось поглощенным 80% аммония, при более же высоких концентрациях относительно большее количество аммония оставалось в растворе. Эта зависимость заслуживает внимания потому, что при внесении удобрений концентрация их в почвенном растворе обычно бывает небольшой, и, следовательно, бо́льшая часть катионов внесенных солей вступает в поглощенное состояние.

Точно так же, если изменять *объем раствора, не меняя концентрации*, то также наблюдается увеличение поглощения (и вытеснения), но не пропорциональное увеличению объема раствора.

Количество кальция (в процентах от веса почвы), *вытесняемого из 10 г почвы различными объемами 0,5-н раствора* NH_4Cl (опыт Гедройца)

Граммов почвы	Миллилитров раствора	Отношение почва : раствор	Вытеснено Ca в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы
10	50	1:5	23,3
10	200	1:20	27,8
10	500	1:50	31,4
10	1 000	1:100	33,0

Установление равновесия при обмене катионов в общих чертах подчиняется довольно простой зависимости, которая может быть, с известным приближением, выведена из закона действия масс. Так, основываясь на представлении, что коллоидно-химическое поглощение есть, по существу, обычная реакция двойного разложения, можно выразить эту зависимость следующим образом.

Если, например, мы приведем в соприкосновение с раствором NaCl почву, насыщенную K (обозначим ее условно как *П*K), то установится некоторое состояние подвижного равновесия:

$$\Pi K + NaCl \rightleftarrows \Pi Na + KCl,$$

т. е. в состоянии равновесия мы будем обязательно иметь в растворе определенные концентрации NaCl и KCl, а поверхность почвенных коллоидов будет занята частью K, частью Na.

По закону действия масс, произведение концентраций реагирующих веществ в левой части уравнения будет пропорционально произведению концентраций веществ в правой части уравнения, т. е.

$$[\Pi K] \times [NaCl] = k \cdot [\Pi Na] \times [KCl].$$

Если мы учтем, что в обмене участвуют только катионы, и примем, что в разбавленных растворах NaCl и KCl будут сполна диссоциированы на ионы[1], то, обозначив поглощенные катионы $\boxed{Na}$ и $\boxed{K}$, а концентрации катионов $Na^{\cdot}$ и $K^{\cdot}$ в растворе—$[Na^{\cdot}]$ и $[K^{\cdot}]$, получим:

$$\frac{\boxed{K} \times [Na^{\cdot}]}{\boxed{Na} \times [K^{\cdot}]} = k, \text{ откуда } \frac{\boxed{K}}{\boxed{Na}} = k \cdot \frac{[K^{\cdot}]}{[Na^{\cdot}]}.$$

Из последнего уравнения[2] видно, что *отношение количеств адсорбированных катионов* (или «поверхностных концентраций» поглощенных катионов) *пропорционально отношению их концентраций в растворе* (после установления равновесия).

Коэфициент пропорциональности k есть константа обменной адсорбции, величина которой при постоянных температуре и давлении должна зависеть от относительной адсорбируемости обменивающихся катионов (от энергии поглощения, по терминологии К. К. Гедройца) и от природы адсорбента, т. е. от свойств почвенных коллоидов. Если мы будем уменьшать или увеличивать концентрацию любого из катионов раствора, т. е. менять отношение концентраций катионов в растворе, то соответственно будет изменяться и отношение количеств поглощенных катионов.

Мы разобрали более простой случай, когда одновалентный катион $K^{\cdot}$ вытеснялся одновалентным катионом $Na^{\cdot}$. В случае же обмена разновалентных катионов необходимо учитывать валентности обменивающихся катионов.

[1] Для упрощения рассуждений мы не вводим в уравнение показателей активности ионов.

[2] Подобное уравнение предложено в 1913 г. Гаисом (Gans).

Учет валентностей обменивающихся ионов (если валентность не одинакова) приводит к несколько более сложным зависимостям, но в общем характер закономерностей остается близким к только что разобранному случаю. Так, для случая обмена двух ионов, один из которых двухвалентный (например, $Ca^{\cdot\cdot}$), а другой—одновалентный (например, $Na^{\cdot}$), приложение закона действия масс приводит к такой зависимости (формула Е. Н. Гапона):

$$\frac{[Na]}{[Ca]} = k\frac{[Na^{\cdot}]}{\sqrt{[Ca^{\cdot\cdot}]}}$$

(обозначения те же, что и выше, стр. 121).

И здесь отношение адсорбированных ионов зависит от соотношения их концентраций в растворе, но, кроме того, также и от абсолютной величины концентрации[1].

Применение закона действующих масс к обмену катионов в почвах разрешило ряд спорных вопросов. Так, например, было распространенным представление о том, что обменная адсорбция не зависит от разбавления системы (почва+раствор), т. е. имеем ли мы 10 г почвы + 10 мгэ какой-нибудь соли, растворенных, например, в 100 мл воды, или 10 г почвы+те же 10 мгэ соли, растворенных в 1 000 мл воды, считалось, что состояние равновесия будет одним и тем же. Но уже раньше было известно несколько экспериментов, показывающих обратное (К. К. Гедройц), а за последнее время окончательно установлено (Е. Н. Гапон и др.), что *обменная адсорбция не зависит от разбавления только в том частном случае, когда вытесняющий и вытесняемый катионы одинаковой валентности*; это вполне соответствует зависимости, вытекающей из приложения закона действия масс к реакциям обмена. Когда же обмениваются разновалентные катионы, то *с разбавлением поглощение должно уменьшаться*, если валентность вытесняющего катиона будет *меньше* валентности вытесняемого, или *увеличиваться*, если валентность вытесняющего катиона будет *больше* валентности вытесняемого. Так, например, в опытах нашей лаборатории (И. И. Гунар) были получены такие результаты с черноземом, сполна насыщенным кальцием (см. табл.).

5 г почвы + 1,24 мгэ $MgCl_2$

Объем раствора в миллилитрах	Вытеснено кальция	
	в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы	в процентах от среднего
10	14,3	102
50	13,9	99
100	14,0	100
500	13,9	99
В среднем	14,0	100

Таким образом, несмотря на разбавление в 50 раз, равновесие в случае обмена Ca на Mg не изменилось. Если же валентности обменивающихся ионов не были одинаковы, то результаты получались иные (см. табл. на стр. 123).

[1] Наряду с рациональными уравнениями обменной адсорбции (выведенными из закона действия масс или на основании термодинамических положений) были предложены и эмпирические уравнения, из которых наиболее часто применяются ранее упоминавшиеся нами уравнение Бедекера—Фрейндлиха $y = kC^{\frac{1}{P}}$ и уравнение Фагелера $y = \frac{Sx}{x+k}$, где y—количество адсорбированного катиона, S—предельная величина адсорбции или емкость поглощения почвы, x—начальная (исходная) концентрация адсорбируемого катиона, а k—константа, равная по своей величине той начальной концентрации раствора, при которой из почвы вытесняется половина поглощенных катионов.

Эмпирическое уравнение Фагелера очень близко к рациональному уравнению Ленгмюра, выведенному последним для молекулярной адсорбции:

$$y = \frac{Se}{e+k},$$

где e—равновесная концентрация адсорбируемого вещества, k—константа. И эмпирические и рациональные уравнения подвергались неоднократной экспериментальной проверке. Опыт показывает, что ни одно из до сих пор предложенных уравнений не является универсальным и целиком подтверждаемым опытом. Уравнения Бедекера—Фрейндлиха, Фагелера и Ленгмюра соответствуют опытным данным только в ограниченных пределах, при небольшом диапазоне концентраций, объемов или навесок адсорбента. И это понятно, если исходить из существа обменной адсорбции, при которой, как мы указывали выше, равновесие будет определяться отношением равновесных концентраций *вытесняемого* и *вытесняющего* катионов. Указанные же уравнения учитывают концентрацию только одного вытесняющего катиона. В уравнении Бедекера—Фрейндлиха есть и еще один существенный недостаток, а именно, в нем совершенно не отражена емкость поглощения почвы, т. е. не отражен предел адсорбирующей способности почвы.

5 г почвы + 24,8 мгэ KCl *или* NH_4Cl

Объем раствора в миллилитрах	Вытеснено кальция			
	в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы		в процентах от наименьшей величины	
	KCl	NH_4Cl	KCl	NH_4Cl
10	32,60	34,85	133	150
100	29,45	28,70	120	124
500	24,45	23,2	100	100

Как видно из этого опыта, при обмене двухвалентного Ca на одновалентные K и NH_4 в каждом случае устанавливается свое особое равновесие. Общая закономерность такова, что чем выше концентрация раствора, тем сильнее вытесняется кальций из почвы, и наоборот. Отсюда можно сделать заключение, что в полевых условиях соотношение катионов в почвенном растворе не остается постоянным, а изменяется вместе с изменением влажности почвы: при увеличении влажности почвы отношение концентрации (в почвенном растворе) двухвалентных катионов к концентрации одновалентных должно, повидимому, несколько смещаться в сторону уменьшения. Наоборот, при понижении влажности почвы это отношение должно несколько возрастать. Значение этой закономерности будет ясно, если вспомнить сказанное в предыдущей главе об антагонизме ионов и о значении физиологической уравновешенности питательного раствора.

Для реакций обменного поглощения является характерной большая *скорость обмена*—здесь реакция происходит почти моментально, так как она протекает лишь на поверхности мелко раздробленных частиц. Быстроту реакций обмена при явлениях адсорбции отмечали уже первые исследователи этого процесса, но они измеряли скорость реакции часами и сутками, Гедройц же перешел к минутным срокам опыта; так, был поставлен опыт взбалтывания 25 г черноземной почвы с 250 мл раствора соли в течение 1, 2½ и 5 минут; вытеснение кальция одновалентными катионами выражается следующими цифрами (в граммах CaO на 100 г почвы):

	NH_4Cl	NaCl	KCl
Через 1 минуту	0,762	0,689	0,729
» 2½ минуты	0,765	0,687	0,734
» 5 минут	0,764	0,684	0,727

Таким образом, одноминутное взбалтывание дало уже тот же самый размер поглощения, как и при более продолжительном взаимодействии почвы с раствором; разницы лежат в пределах погрешности.

При ближайшем рассмотрении прежней литературы, в которой содержались, казалось бы, данные, противоречащие названному положению о большой скорости поглощения, Гедройц установил, что эти отклоняющиеся данные относятся к случаям, когда, кроме обменного поглощения, участвуют еще вторичные реакции чисто химического характера, протекающие постепенно.

Так, например, в давних опытах Геннеберга и Штомана имеется такой пример:

	Поглощено граммов аммиака через		
	4 часа	24 часа	168 часов
Из раствора $(NH_4)_2SO_4$	0,057	0,057	0,057
» » NH_4OH	0,056	0,058	0,067

Здесь время не влияло на размер поглощения из нейтральной соли, но из щелочного раствора NH_4OH поглощение постепенно возрастало, потому что аммиак воздействует на органическое вещество почвы, постепенно освобождая карбоксильные группы (например, из лактонных связей), и соединяется с ними или вызывает отщепление CO_2 и образование $(NH_4)_2CO_3$, который реагирует с вытесненным Ca, давая $CaCO_3$; это нарушает равновесие в растворе и позволяет продолжаться первичной реакции вхождения аммония и вытеснения кальция.

Затем Гедройц разбирает другой пример кажущегося отступления от правил быстрого течения обменного поглощения из опытов тех же авторов по взаимодействию между почвой и раствором фосфорнокислого аммония:

Поглотилось (в граммах)	за 2½ часа	4 часа	6 часов	7 дней
P_2O_5	0,304	0,360	0,396	0,534
NH_4	0,119	0,202	0,208	0,226

Здесь на быстро заканчивающуюся первичную обменную реакцию (вхождение NH_4 и вытеснение Ca) налагается вторичный чисто химический процесс—осаждение Ca фосфорной кислотой; в результате нарушается равновесие между Ca и NH_4 в растворе, что позволяет продвинуться дальше реакции вытеснения кальция, а это снова вызывает образование осадка фосфорнокислого Ca и т. д. Кроме того, фосфорная кислота связывается железом и глиноземом почвы; достижение равновесия в этих реакциях при имеющихся в почве условиях требует продолжительного времени; но все это касается другого типа поглощения—образования осадков при чисто химических реакциях—и не относится собственно к коллоидно-химическому поглощению, которое осуществляется только поверхностно лежащими молекулами и потому протекает очень быстро.

Так как скорость обменных реакций очень велика, то внесение удобрений тотчас же отзывается на составе почвенного раствора не только непосредственно, но и через вытеснение способных к обмену катионов из поглощающего комплекса почвы.

Кроме указанных выше условий, размер поглощения зависит еще от *природы того основания*, соль которого мы вводим в раствор. Однако при постановке опытов по сравнению энергии поглощения (или относительной адсорбируемости) различных катионов с какой-либо почвой нужно исключить случайные обстоятельства—нахождение в данной почве (уже до опыта) значительных количеств испытуемого катиона. Так, если мы возьмем почву, в поглощающем комплексе которой находится много кальция, и начнем определять энергию поглощения ею кальция, то получим малые величины, но отсюда было бы неправильно делать вывод по отношению к кальцию вообще и говорить, что его энергия поглощения мала. Между тем эта ошибка раньше делалась, и во избежание ее Гедройц предложил такую постановку опыта: сначала почва насыщается каким-либо одним катионом, а потом уже определяется сравнительная энергия вытеснения этого катиона другим. При этом удобно насытить почву каким-либо легко определяемым катионом, который в природных почвах не встречается, например, барием, и тогда определить энергию вытеснения бария теми катионами, которые нас интересуют.

Так, Гедройцу удалось установить известные закономерности и показать, что *двузначные катионы—кальций и магний*—обладают большей энергией поглощения, чем однозначные (калий, натрий, аммоний), а трехзначные (железо и алюминий) стоят еще выше. В пределах же каждой группы в общем заметна связь с атомным весом соответственных элементов.

Но есть исключения. Так, аммоний стоит по энергии поглощения на более высоком месте, чем это отвечает его весу, а водород, имеющий наименьший атомный вес, проявляет наибольшее сродство к анионной части поглощающего комплекса и легко вытесняет другие катионы.

Вот пример из опытов Гедройца, характеризующий энергию поглощения разных катионов (в процентах от веса почвы) при одном и том же анионе (Cl), при однократной обработке почвы 0,1-*н* раствором соответствующих солей:

Вытеснено бария из почвы, им насыщенной

Однозначные катионы	Натрий	0,625	Двузначные катионы	Магний	1,058
	Аммоний	0,886		Кальций . . .	1,400
	Калий	0,932	Трехзначные катионы	Алюминий . .	2,294
	Рубидий	1,062		Железо	2,492

Меньшей энергией поглощения натрия, по сравнению с калием, объясняют более легкую его вымываемость из почв и преобладание над калием в морской воде. Преобладание же в поглощающем комплексе кальция над одноэначными катионами связано, между прочим, с большей энергией поглощения кальция[1] (кроме этого, влияют и другие факторы, например, общее количество данного элемента на земной поверхности).

Вигнер объясняет различную энергию поглощения катионов одинаковой валентности разницей в степени гидратации катионов в растворе. Каждый катион в растворе окружен множеством молекул воды, которые представляют собой так называемые *диполи*. Молекула воды может быть представлена в виде треугольника, два угла которого заняты положительно заряженными атомами водорода, а третий—отрицательно заряженным атомом кислорода:

Хотя в целом молекула воды электронейтральна, но благодаря несовпадению центров положительных и отрицательных зарядов, у каждой молекулы воды есть отрицательно заряженная и положительно заряженная стороны.

Каждый ион имеет определенный заряд; диполи воды обращаются к ионам противоположно заряженной стороной и в какой-то мере притягиваются ими, образуя водную или гидратационную оболочку иона. Размеры гидратации ионов находятся в известной зависимости от атомного веса. Сравнение чисел гидратации ионов одной валентности и энергии поглощения показывает, что катионы, более гидратированные, обладают меньшей энергией поглощения, что объясняется более слабым их притяжением к поверхности коллоидов и менее прочной связью с ней.

Числа гидратации ионов (по Реми)

H^+	Li^+	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Sr^{++}	Ba^{++}
1	12,6	8,4	4,4	4,0	13,3	10,0	8,3	4,1

Особое положение в ряду катионов занимает ион водорода, как наименее гидратированный. Считается, что с каждым ионом H^+ связана только одна молекула воды [$H^+(H_2O)$—гидроксоний]. Таким образом, высокая энергия поглощения ионов водорода находится в соответствии с его малой гидратацией.

Дегидратация ионов (например, применением спиртовых растворов) приводит к сближению энергии поглощения, например Na и Cs (опыты Вигнера).

Влияет ли природа кислоты на энергию поглощения основания той соли, которая приходит в соприкосновение с почвой?

Это влияние, как мы видели выше, может сказываться вторичным путем, если эта кислота дает нерастворимые соединения с вытесняемыми из почвы катионами. Так, если мы будем действовать на почву раствором фосфорнокислого калия, то калий будет вытеснять кальций до установления равновесия между ними, но так как фосфорная кислота будет давать трудно растворимый фосфат кальция и кальций окажется в осадке, то равновесие не будет достигнуто и новое

[1] С энергией поглощения катионов, характеризующей относительную адсорбируемость различных катионов (Na, K, Mg, Ca и др.), не следует смешивать понятия о так называемой «подвижности» поглощенных катионов. А именно, было обнаружено (Прусовым, Иенни и др.), что одни и те же катионы (например, Ca) при обмене на другие катионы (например, K) вытесняются с неодинаковой легкостью в зависимости от природы адсорбента. Так, если насытить полностью кальцием разные почвы (черноземы, подзол, краснозем), а затем вытеснить кальций калием, то оказывается, что кальций, поглощенный красноземом, вытесняется легче, чем кальций, поглощенный черноземом. Далее, при разной степени насыщения данным катионом одной и той же почвы вытеснение его другими катионами тоже происходит с неодинаковой интенсивностью (в общем, чем меньше насыщенность данным катионом поглощающего комплекса, тем труднее он вытесняется, однако отмечены и исключения из этого правила). Наконец, на подвижность поглощенных катионов оказывает некоторое влияние «очередность введения» их в поглощенное состояние (Ренольд); последнее обнаруживается следующим образом: если взять почву, сполна насыщенную Ca, а затем часть Ca вытеснить калием, а в другом случае поступить наоборот (т. е. сначала насытить почву K, а затем часть K вытеснить кальцием), то из первой почвы калий вытесняется легче, чем из второй, или, другими словами, «подвижность» поглощенного калия оказывается в этих двух случаях неодинаковой.

количество калия поглотится и вытеснит кальций и т. д. Поэтому из таких солей, как фосфорнокислые и углекислые, щелочные металлы поглощаются гораздо энергичнее, чем из хлористых, азотнокислых и сернокислых[1], как видно из данных следующего опыта, в котором давались одинаковые количества натрия в виде солей с различными кислотами.

Поглощено натрия (в миллиграммах Na_2O) из растворов солей:

Серной кислоты	22
Азотной кислоты	23
Угольной кислоты	35
Фосфорной кислоты	41

Как наглядно показали исследования Гедройца, *от количества и от природы тех оснований, которые находятся в поглощенном состоянии*, зависит не только ряд химических реакций, но и *физические свойства почвы*. Так, удаляя поглощенный кальций, мы можем превратить чернозем в вязкую и клейкую бесструктурную массу, которая при высыхании дает трещины и становится чрезвычайно твердой, подобно солонцам. Удалить поглощенный кальций можно двояко, а именно: или замещая его другим основанием, например, повторно промывая раствором NaCl и отмывая избыток соли водой —тогда место Ca занимает Na, или многократно промывая почву слабой кислотой, например, водой, насыщенной углекислотой, тогда кальций постепенно замещается водородом (сильные кислоты разрушают самый поглощающий комплекс). В одном из опытов после двадцатикратного промывания водой + CO_2 сильно увеличилась степень коллоидальности почвы, повысилась ее способность набухать и при достаточном количестве воды сплываться в общую массу, которая при высыхании дает трещины, как солонец, и затвердевает так, что для измельчения комков требуются большие усилия. Между тем после промывания одной водой без CO_2 и без NaCl комочки высушенной почвы раздавливались почти так же легко, как и до промывания. Вводя обратно кальций, можно понизить «коллоидальность» почвы и вернуть ей структурность и вообще прежние свойства. Поэтому можно думать, что сами цеолитоподобные вещества представляют собою сильно удерживающие воду студнеобразные коллоиды; таковы же продукты насыщения их натрием. Наоборот, введение кальция приводит к другого рода аморфным образованиям, не способным набухать и давать студни. Введение K и NH_4 дает продукты промежуточных свойств. Это обстоятельство еще более подчеркивает интерес изучения не только того, что почва способна поглощать, но и того, что она уже сама по себе содержит в поглощенном состоянии.

Ниже мы познакомимся с тем, как отличаются друг от друга в этом отношении почвы разного типа, пока же отметим, что при внесении удобрений также приходится считаться с этими изменениями физического состояния поглощающего комплекса под влиянием замены одних поглощенных катионов другими. Если, например, систематически, в течение ряда лет, вносить в почву в больших количествах удобрения в виде солей с однозначными катионами, как, например, $NaNO_3$, $(NH_4)_2SO_4$, KCl, $NH_4H_2PO_4$, то количество поглощенного кальция благодаря вытеснению однозначными катионами и последующему вымыванию дождями может понизиться так, что физические свойства почвы ухудшаются; она будет наклонна к заплыванию и образованию корки, тогда как, наоборот, внесение солей, содержащих кальций, как $Ca(NO_3)_2$, $CaHPO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$, $CaSO_4$, может вызывать постепенное улучшение физических свойств в тех почв, которые первоначально отличались значительным содержанием однозначных катионов и малым количеством кальция в поглощающем комплексе. Поэтому нужно уметь комбинировать соли в удобрениях, исходя не только из потребностей растения

[1] Хотя $CaSO_4$ является гораздо менее растворимым, чем $CaCl_2$ или $Ca(NO_3)_2$, но так как его растворимость все же составляет около 2 : 1 000, то с точки зрения химии почвы образование $CaSO_4$ не является образованием трудно растворимых соединений, ибо в почвенном растворе, как и при водных культурах, мы всегда имеем дело только со слабыми растворами (если не идет речь о солончаках).

в питательных веществах, но считаясь и со свойствами поглощающего комплекса, от которых главным образом зависят и физические свойства почвы, взятой в целом.

Емкость поглощения. Как мы видели выше, чем более крепкий раствор соли мы возьмем, тем больше поглотится почвой введенного с этой солью катиона (например, аммония из раствора NH_4Cl) и тем более вытеснится из почвы других катионов (прежде всего кальция), но какой бы крепости раствор ни был применен, все равно реакция до конца не идет: устанавливается некоторое равновесие между находящимся в растворе избыточным аммонием и вытесняемым из почвы кальцием. Однако это равновесие можно нарушить, если отфильтровать прореагировавший раствор и заменить его свежим. Тогда реакция продвинется дальше, но все же еще не весь кальций будет вытеснен из поглощающего комплекса, и последовательные промывания будут отнимать от почвы новые количества кальция, но все меньшие и меньшие. В конце концов не только кальций, но и все другие катионы (магний, водород и пр.) будут вытеснены из почвы, и так как обмен идет в эквивалентных отношениях, то количество аммония, которое поглотит почва, будет отвечать сумме эквивалентов вытесненных катионов.

Так как мы имеем здесь дело с обратимой реакцией, то можно затем аммоний в свою очередь вытеснить любым другим катионом путем многократного промывания почвы соответственной солью; при этом новый катион войдет опять-таки в количестве, эквивалентном вытесненному им аммонию. Так как последний насытил собой поглощающий комплекс в количестве, эквивалентном сумме катионов, находившихся в исходном образце почвы в состоянии, способном к обмену, то, значит, вообще все катионы поглощаются почвой в эквивалентных соотношениях, если мы только доводим процесс вытеснения до конца. (То, что говорилось выше о разной энергии вхождения отдельных катионов в поглощающий комплекс, относится к отдельным этапам вытеснения новым катионом тех, какие раньше были в почве, но при проведении вытеснения повторными промываниями до «отказа» результат будет одинаков для всех катионов, если произвести перечисление на эквивалентное количество одного из них.)

Таким образом, сумма поглощенных почвой катионов, вытесняемых при окончательном насыщении поглощающего комплекса каким-либо новым катионом, есть величина фактически постоянная для данной почвы, с какими бы нейтральными солями мы ни вели опыт, и она обозначается термином *емкость поглощения почвы* (обычно для суммирования пересчитывают все катионы в эквивалентное количество кальция, или выражают емкость в миллиэквивалентах на определенное весовое количество почвы, например, на 100 г). Вместо того чтобы определить в отдельности количество каждого катиона в соединенных вытяжках и суммировать их в пересчете на общий эквивалент, можно поступать проще: вытеснив все поглощенные катионы с помощью NH_4Cl или $BaCl_2$ и отмыв избыток соли, определить в почве количество поглощенного аммония или бария— тогда это количество и будет отвечать емкости поглощения, так как оно эквивалентно сумме вытесненных катионов.

В начальном периоде исследования, когда наличность обменного водорода в кислых почвах не была достаточно ясно установлена, могло казаться, что достаточно повторной обработки почвы раствором любой соли (например, NH_4Cl), чтобы затем в объединенных фильтратах определить совокупность вытесненных катионов и после выражения всех данных в эквивалентах кальция получить сумму, характеризующую величину емкости поглощения. Но потом оказалось, что к этой сумме нужно присоединить еще и эквивалент обменного водорода, который вообще с трудом вытесняется из почвы, а особенно одновалентными катионами, как K, Na и NH_4. Поэтому Гедройц стал определить обменный водород отдельно от других поглощенных катионов, применив для этого промывание раствором хлористого бария, так как барий является более энергичным вытеснителем (благодаря двухвалентности и большому атомному весу); барий становится на место водорода в почвенном поглощающем комплексе, а водород переходит в раствор и дает соответственное количество HCl; после повторных промываний нормальным раствором $BaCl_2$ соединенные фильтраты титруются и таким путем

определяется количество водорода, содержащегося в почве в поглощенном состоянии. Присоединив этот водород к сумме эквивалентов Ca, Mg и K, вытесненных при промывании почвы раствором NH_4Cl, получаем общую величину емкости поглощения.

Так как обе операции (промывание одной навески почвы раствором NH_4Cl, другой—$BaCl_2$) и определение отдельных катионов требуют много труда, то сотрудниками нашей лаборатории Бобко и Аскинази был предложен упрощенный способ определения емкости поглощения, при котором почва промывается раствором только $BaCl_2$ и после промывания водой в ней определяется только поглощенный барий, заместивший собой все катионы, включая и водород.

Позднее были предложены дальнейшие упрощения этого метода; так, например, Алешин предложил вместо промывания насыщенной барием почвы раствором HCl и последующего определения бария обрабатывать насыщенную барием почву титрованным раствором H_2SO_4 и по изменению титра судить о величине емкости. Так как барий с серной кислотой дает практически нерастворимую соль $BaSO_4$, то реакция вытеснения бария из поглощенного состояния идет необратимо, что и дает возможность избежать длительного промывания для вытеснения бария.

Разные почвы обладают весьма различной емкостью поглощения и с этим приходится считаться при внесении удобрений, как мы это увидим дальше.

В отношении постоянства величины емкости поглощения (для данной почвы) при более строгом подходе надо сделать оговорку. Именно здесь имеет значение pH, при котором определяется емкость. При более высоких значениях pH емкость поглощения повышается. Это объясняется как с точки зрения равновесия, устанавливающегося при обмене катионов, между ионами водорода и другими находящимися в растворе катионами, так и явлениями чисто химического порядка [см., например, разобранный выше случай с поглощением аммония из растворов $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4OH, стр. 123].

Некоторые отступления от строгого постоянства емкости поглощения при разных способах ее определения могут еще объясняться следующим: почвенные коллоидные частицы могут иметь компактное строение (компактную структуру), благодаря чему катионы не в состоянии проникнуть внутрь коллоидной частицы; катионы будут адсорбироваться только на внешней поверхности коллоидных частичек (экстрамицеллярный обмен по Вигнеру). В частности, минералы каолинитовой группы относятся к этому типу структуры. Но некоторые почвенные коллоиды могут быть «ионопористыми», и те ионы, величина которых меньше диаметра пор, смогут проникнуть внутрь коллоидных частичек и поглотиться внутренней поверхностью (интрамицеллярный обмен по Вигнеру.)

Ионы же большего объема будут поглощаться только внешней поверхностью. Очевидно, что во втором случае может быть не обнаружена действительная величина всей емкости поглощения. Интрамицеллярный обмен наблюдается на гуминовых веществах, на природных цеолитах (шабазит) и у некоторых минералов глин (см. ниже).

Поэтому при установлении емкости поглощения важно соблюдать определенные условия[1].

О ПРОИСХОЖДЕНИИ И ПРИРОДЕ ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Относительно происхождения почвенного поглощающего комплекса были высказаны две точки зрения. По одной из них (высказанной Штремме) минеральная часть поглощающего комплекса возникает в результате полного распада алюмосиликатных соединений материнской горной породы на составляющие их окислы; образующиеся в результате этого распада коллоидные гидраты окислов (железа, алюминия, кремния) не образуют между собой (и с основаниями) каких-либо определенных химических соединений, и поглощающий комплекс есть лишь механическая смесь названных коллоидов с адсорбированными ими основаниями (при этом, однако, оставалось непонятным, каким образом смесь

[1] Кроме pH и природы вытесняющего катиона, некоторое значение имеет и концентрация этого катиона. Поэтому было предложено за меру способности почв адсорбировать катионы принимать условно то «максимальное количество бария, которое данная почва может адсорбировать из 0,1-н раствора соли бария при pH=6,5». Для соблюдения постоянства реакции рекомендуют применять буферные растворы (метод предложен сотрудниками Ленинградского отделения ВИУАА). Емкость поглощения, определенную при таких условиях, обозначают символом:

$$\sum_{Ba^{\cdot\cdot}=0,1\text{-н}}^{pH=6,5}$$

т. е. емкость при pH = 6,5 и концентрации бария 0,1-н.

коллоидных окислов получает способность поглощать основания по обменному типу, когда каждый из окислов, взятый в отдельности, этой способностью не обладает).

Другой взгляд был высказан Гедройцем, который указал, что поведение такой смеси, если ее искусственно приготовить, должно существенно отличаться от поведения почвы (из почвы щелочи не извлекают таких количеств SiO_2 и Al_2O_3, как из подобной смеси); по Гедройцу же, наряду с простыми окислами, при выветривании образуются и более сложные коллоидные остатки первичных материалов, а кроме того, может итти и синтез коллоидных комплексов при взаимной коагуляции отдельных гидратов окислов, причем *возникающие образования являются не простой смесью, а результатом химического взаимодействия между окислами основными и кислотными*. Таким образом, Гедройц наметил два пути образования сложных коллоидов, из которых состоит минеральная часть поглощающего комплекса: путь дисперсионный (неполный распад) и путь конденсационный (вторичный синтез).

В общем Гедройц охарактеризовал поглощающий комплекс следующим образом: с физической стороны—это высокодисперсная часть почвы, состоящая из коллоидных частиц и смежных с ними по размерам частиц (ниже 0,25 микрона); большая поверхность повышает реакционную способность этих частиц. С химической стороны—это, с одной стороны, минеральные соединения (соли комплексных алюмокремневых кислот), а с другой стороны, органические (и органо-минеральные) вещества в состоянии большой дисперсности. Это не механическая смесь простых коллоидов (кремнекислота, гидраты окисей железа и глинозема) с каолином, как думали некоторые авторы, так как такие смеси не обнаруживают явлений поглощения в тех размерах, какие свойственны почвенным коллоидам, а кроме того, отношение таких смесей к кислотам и щелочам иное.

Последующие работы вполне подтвердили точку зрения Гедройца. Так, Бродфильд (США), выделив из подпочвы коллоидальную глину (I), приготовил смесь окислов Si, Al и Fe, точно отвечавшую составу этой глины (II); при действии HCl и NaOH в разных концентрациях получились значительные различия, например:

		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
Первоначальный состав		59,1	31,9	9,1
После обработки 5% раствором HCl осталось нерастворенным	I	51,8	46,2	5,3
	II	0	0	0*
После действия 0,13-н раствором HCl » »	I	51,4	26,1	7,5
	II	0	0	0
После действия 1% раствором NaOH » »	I	45,8	24,3	9,1
	II	25,5	10,6	9,1

Таким образом, нет тождества в свойствах *механической смеси* коллоидальных SiO_2 и R_2O_3 и *почвенных коллоидов*, содержащих SiO_2 и R_2O_3 в тех же соотношениях.

Но в то же время следует заметить, что состав минеральной части почвенных коллоидов в разных почвах весьма разнообразен; так, при исследовании 45 почв в США обнаружилось, что содержание Al_2O_3 в коллоидной части колебалось от 16 до 38%, Fe_2O_3—от 4,6 до 16%, SiO_2—от 31 до 55%. Отношение $SiO_2 : R_2O_3$ изменялось от 1,2 до 3,8, причем емкость поглощения катионов изменялась параллельно этому соотношению.

У нас аналогичные исследования химического состава коллоидной части почв велись в Почвенном институте Академии наук (Роде, Антипов-Каратаев).

После того как было признано, что в минеральной части почвенного поглощающего комплекса мы имеем дело не с механическими смесями простых коллоидов, а с химическими соединениями, в дальнейшем по отношению к этим последним во взглядах отдельных исследователей проявлялись два направления,

* Здесь не различаются вещества, находящиеся в истинном растворе и в коллоидном, что относится прежде всего к SiO_2.

именно: по мнению одних, мы имеем здесь дело с весьма неопределенными и изменчивыми соединениями гидратов SiO_2 и R_2O_3, по мнению же других авторов, главная роль в поглощающем комплексе принадлежит вполне определенным производным алюмокремневых кислот, обладающих даже кристаллической структурой.

Представителем первого направления явился главным образом Маттсон (Швеция).

Маттсон характеризует почвенные коллоиды как амфолитоиды двух родов, именно первичные (как гидраты железа и глинозема, также белки) и вторичные, или сопряженные, которые представляют бесконечный ряд комплексов, образовавшихся путем химического соединения между двумя (или более) первичными амфолитоидами, имеющими различные изоэлектрические точки.

Такие производные, или сопряженные, амфолитоиды представляют собой соединения многовалентных слабых кислот и оснований (большей частью нерастворимых), содержащие незамещенный (но способный к замещению) водород и одновременно группы OH, благодаря которым они реагируют как кислоты при высоких значениях pH и как основания при низких. Их общая формула может быть изображена следующим образом: $H_xA_mB_n(OH)_y$, где A и B изображают ацидоидную и базоидную часть, а x, m, n и y—количества каждого из компонентов в коллоидной мицелле.

Ацидоидами называют такие тела, которые также содержат незамещенный водород, как и кислоты, но которые по своей трудной растворимости не могут заметно обогащать раствор ионами водорода, однако могут реагировать с основаниями. Базоиды стоят в таком же отношении к щелочам; по своей трудной растворимости они не наклонны обогащать раствор гидроксильными ионами, но могут реагировать с кислотами. Амфолитоидами называются тела, ведущие себя как основания в кислой среде и как кислоты в щелочной среде (соответственно этому при катафорезе их частицы меняют направление передвижения к положительному или отрицательному полюсу с переменой реакции среды).

В органической части почвы типичными амфолитоидами являются белковые вещества. Если сложную молекулу какого-либо белка (например альбумина) изобразить символом H·Alb·OH, то в кислой среде мы будем иметь диссоциацию по типу H·Alb' и OH', а в щелочной среде по типу H'и OH·Alb'. Конкретнее эту амфотерность можно демонстрировать на компонентах белка, аминокислотах, которые являются амфотерными электролитами или амфолитами, потому что содержат одновременно группы COOH и NH_2 и в присутствии, например, едкого натра дадут соль состава $R(NH_2)COONa$, где аминокислота играет роль кислоты, а в присутствии HCl получится соль $R(NH_3Cl)COOH$, где аминокислота играет роль основания.

Белковые вещества, смотря по тому, преобладают ли в них группы NH_2 или COOH, имеют некоторый уклон в сторону кислотности или щелочности; так, например, желатина обладает свойствами слабой кислоты, для нее изоэлектрическая точка (точка, при которой происходит перемена заряда) лежит при pH = 4,7, для глиадина же эта точка лежит выше нейтрального пункта.

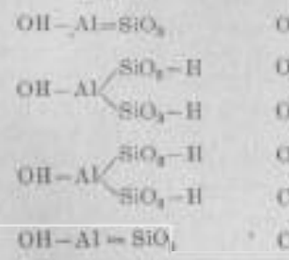
Также и среди минеральных составных частей почвы мы имеем такие составные части, как $Fe(OH)_3$ и $Al(OH)_3$, которые обычно играют роль оснований, а потому называются базоидами, но которые в сущности являются амфолитоидами, потому что в щелочной среде, например для глинозема (начиная от pH = 8,1), возможно образование алюминатов. Но гуминовая кислота и кремнекислота в почве всегда являются ацидоидами.

Свойства амфотерных комплексов обусловливаются прежде всего относительной (а также абсолютной) силой кислотного и основного остатков. Если кислотный остаток является сильным, а основной слабым, то изоэлектрическая точка и первичное pH (т. е. pH свободного амфолитоида после полного электродиализа) должны быть на кислой стороне. Если же сильнее будет основной остаток, тогда кислотный будет соответственно ослаблен, и изоэлектрическая точка будет лежать на щелочной стороне. Кроме того, свойства подобных комп-

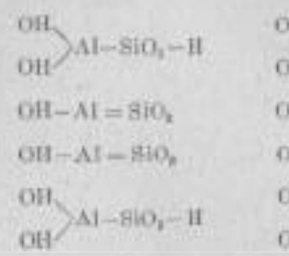
лексов должны зависеть от количественного соотношения в их составе между основными (базоидными) и кислотными (ацидоидными) группами.

Эти различия сказываются на адсорбции катионов, которая увеличивается вместе с соотношением кремнезема к полуторным окислам, тогда как адсорбция анионов[1] изменяется в обратном направлении. Соотношения эти Маттсон иллюстрирует такими схематическими формулами:

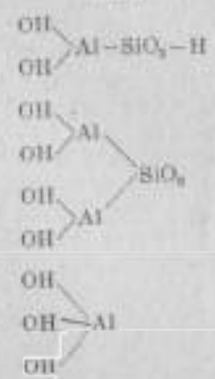
I. $\frac{SiO_2}{R_2O_3} = 3.$ Адсорбция катионов высокая, анионов—низкая



II. $\frac{SiO_2}{R_2O_3} = 2.$ Адсорбция катионов и анионов—средняя



III. $\frac{SiO_2}{R_2O_3} = 1.$ Адсорбция катионов низкая, анионов—высокая



Но так как почвенный комплекс, как правило, имеет изоэлектрическую точку на кислой стороне, то, значит, ацидоидная природа в нем сильнее выражена, чем базоидная, а потому в почвах мы обычно наблюдаем с большей ясностью адсорбцию катионов, чем анионов[2].

[1] О поглощении анионов см. ниже (стр. 136).

[2] Кроме отношения $SiO_2 : R_2O_3$, в составе минеральной части поглощающего комплекса на адсорбционные свойства почвенных коллоидов в целом существенное влияние оказывают органические вещества, входящие в их состав и более или менее прочно связанные с минеральной частью. Еще Шлезинг высказывал мнение, что органические (гуминовые) вещества как бы «одевают» все минеральные элементы почвы. В последнее время аналогичные представления развиваются А. Ф. Тюлиным (лаборатория почвенных коллоидов ВИУАА). Он считает (в согласии с рядом других исследователей), что «реальные коллоиды в почве представляют не смесь органических коллоидов с минеральными, но продукт глубокого взаимодействия между ними». Тюлиным разработана методика разделения почвенных коллоидов на группы, отличающиеся по своим адсорбционным свойствам, а также по прочности связи между органическим веществом и минеральной частью комплекса. Не входя в детали, укажем на три главнейшие группы почвенных коллоидов (по Тюлину):

I. Коллоиды, выделяемые с помощью обработки почвы NaCl (электроотрицательные, активно участвующие в катионном обмене).

II. Коллоиды, выделяемые с помощью обработки почвы 0,01-н NaOH после промывания остатка от выделения I группы слабой HCl (электронейтральные или изоэлектрические в нейтральной среде).

III. Коллоиды, для выделения которых из почвы надо сначала разрушить органическое вещество.

Способность этих групп коллоидов к обмену катионов убывает от первой группы к третьей. В том же направлении возрастает прочность связи органического вещества с минеральной частью коллоидов. Соотношение между различными группами коллоидов в разных почвах неодинаково, что можно видеть из такого примера:

	Количество коллоидов в процентах от веса почвы		Емкость поглощения в миллиэквивалентах на 100 г коллоидов	
	I группа	II группа	I группа	II группа
Чернозем (Воронежская область) . . .	46,33	18,68	90,6	28,4
Подзол (Очапово, Московская область)	26,07	53,26	36,6	15,3

Отсюда можно сделать заключение, что высокая емкость поглощения у чернозема (по сравнению с подзолом) объясняется не только количеством коллоидов, но и качественным их составом.

О природе органического вещества почвы подробнее см. ниже (стр. 163).

Как было сказано, Маттсон принимал, что эти сложные комплексы имеют непостоянный состав и являются аморфными. Однако исследования последнего времени показали, что среди почвенных коллоидов распространены разнообразные кристаллические (вернее микрокристаллические) образования, принимающие активное участие в обмене катионов; следовательно, мы имеем здесь дело в действительности не с теми неопределенными осадками, о которых говорят Маттсон (или по крайней мере не только с ними), но и с кристаллическими образованиями, имеющими вполне определенный химический состав и строение.

Кристаллическое строение входящих в состав почвенных коллоидов минеральных соединений было доказано с помощью *рентгенографических* исследований, дающих возможность обнаружить кристаллическое строение вещества, несмотря на мельчайшие размеры отдельных частичек, какими являются коллоидные мицеллы. За последние годы рентгенографическим методом исследованы коллоиды главнейших типов почв[1], и в настоящее время можно считать доказанным, что почвенный поглощающий комплекс (в минеральной его части) состоит главным образом из особых микрокристаллических вторичных минералов (так называемые «глинные минералы», или минералы глин), находящихся в высокодисперсном состоянии.

Большое разнообразие этих минералов (всего в различных почвах найдено около 20 микрокристаллических минералов глин) может служить в известной мере объяснением различий в химическом составе минеральной части почвенных коллоидов разных почв.

Приведем здесь названия и состав некоторых из более распространенных минералов, обнаруженных в коллоидальной фракции разных почв (по Седлецкому).

Название минералов глин	Общая формула[2]	Какому типу почвообразования свойственен
Монтмориллонит	$MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	Типичен для солонцов и каштановых почв, но встречается почти во всех почвах как продукт первой стадии изменения материнской породы
Бейделит	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$	Солонцы
Группа каолина (каолинит, диккит, каолинит)	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Подзолистые почвы, красноземы
Галлоизит	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$	Подзолистые почвы

Наиболее распространенными в почвах являются минералы группы монтмориллонита. Вместе с тем отмечено, что именно минералы этой группы обладают наиболее ярко выраженной способностью к обмену катионов.

[1] См., например, монографию И. Д. Седлецкого. «Почвенная рентгенография», 1939.

[2] Эти формулы дают общую характеристику химического состава данной группы минералов. Отдельные анализы показывают заметные отклонения, связанные с заменой Mg другими основаниями, алюминия—железом и т. п. Вот примерные колебания в химическом составе монтмориллонита и минералов группы каолина (в процентах):

	Монтмориллонит	Группа каолина		Монтмориллонит	Группа каолина
SiO_2	48,60—51,2	43,64—54,32	Na_2O	— 0,33	0,16— 0,76
Al_2O_3	15,08—22,32	29,96—40,22	K_2O	сл. — 0,19	— 0,40
Fe_2O_3	0,22— 3,44	0,30— 2,00	O_2	— 0,40	0,16— 1,61
MgO	3,53— 6,64	— 1,02	MnO	0,01— 0,18	нет—следы
CaO	1,08— 3,72	0,03— 1,48	H_2O	17,08—25,52	10,98—14,27

Часть этих коллоидных минералов почв представляет собой остатки от выветривания первичных минералов материнских пород, часть же является вторичными минералами, образовавшимися в процессе почвообразования.

Образование тех или других минералов глин связано с условиями, при которых происходит выветривание. В частности, образование монтмориллонита (содержащего в своем составе такое основание, как магний) возможно в условиях щелочной реакции. Коллоидные же минералы группы каолина, галлоизита и пирофиллита образуются при кислой реакции. Этим можно объяснить, почему коллоидные минералы последней группы встречаются преимущественно в подзолистых и латеритных почвах.

Большая распространенность минералов группы монтмориллонита, возможно, обязана образованию их в первых стадиях почвообразовательного процесса.

Отметим, что в некоторых местах встречаются отложения глины, представляющей собой почти чистый микрокристаллический минерал, обладающий высокой адсорбционной способностью. Так, в Крыму известны подобные отложения глины, носящей местное название «кил» (употребляется местным населением в качестве мыла[1]), основная часть которого состоит из глинного минерала — бейделита. Эта глина представляет, следовательно, как раз такое образование, которое в почвах мы относим к минеральной части поглощающего комплекса[2].

Установление химического состава и кристаллического строения отдельных минералов глин, обладающих способностью к реакциям обменного поглощения, позволяет разъяснить факты, которые без этого казались бы непонятными. Так, например, наблюдалось (Келли и др.), что при размалывании[3] бентонита не только возрастает емкость поглощения (что можно было бы объяснить увеличением поверхности), но сильно меняется состав вытесняемых катионов.

Именно в большинстве случаев под влиянием измельчения количество поглощенного кальция оставалось почти неизменным, тогда как содержание обменного магния (а в других случаях также K и Na) сильно увеличивалось. Приведем здесь один из таких примеров.

	Обменные катионы в миллиграмм-эквивалентах на 100 г		
	Ca	Mg	Всего
Бентонит, насыщенный Ca, немолотый	106	—	106
То же, молотый 30 часов	107	68	175
» » » 75 »	106	222	328

Так как в состав бентонита входят минералы монтмориллонитовой группы, содержащие в кристаллической решетке магний, то становится ясной причина увеличения емкости поглощения (при размалывании) именно за счет магния — при измельчении образуется новая поверхность, и часть магния, ранее находившегося внутри, выходит на поверхность и получает способность к обмену.

Из всего сказанного становится совершенно очевидным, что теперь мы имеем полное основание говорить о минеральной части почвенного поглощающего комплекса (или о цеолитоподобной его части) *не как о каких-то неопределенных образованиях, аморфных осадках или «механических смесях», а как о вполне определенных веществах, имеющих кристаллическое строение и обладающих всеми признаками настоящих химических соединений.*

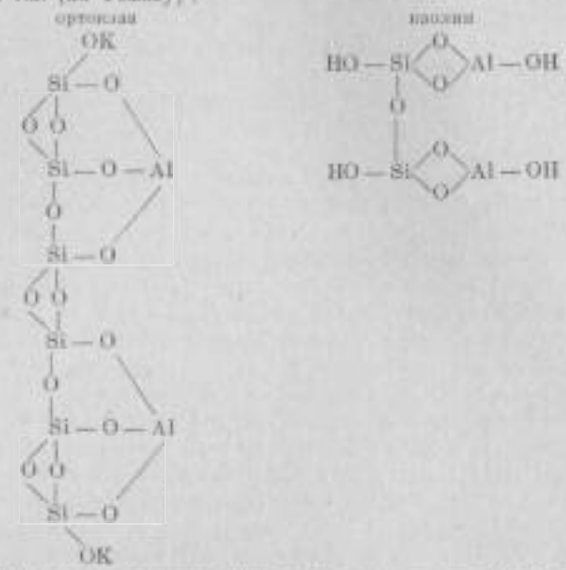
[1] При стирке в морской воде, для чего обыкновенное мыло не годится.

[2] Такого же типа образования представляют «асканит» и «умбрин», найденные в Западной Грузии.

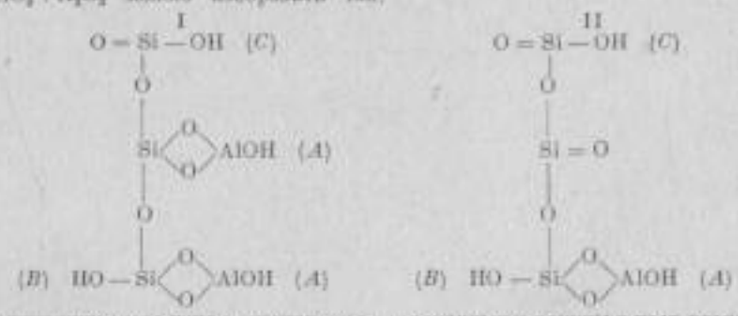
[3] На шаровой мельнице.

Способность к поглощению и обмену катионов (и анионов) из раствора у этих минералов связана с наличностью определенных группировок в их молекуле. Представление о качественном различии этих группировок можно получить, если обратиться к изображению строения алюмосилликатов в виде обычных структурных формул. Если они и не дают совершенно точного отражения действительного строения этих соединений (в смысле расположения атомов в пространственной кристаллической решетке), то все же могут наглядно демонстрировать, с какого типа явлениями мы имеем здесь дело.

Так, строение ортоклаза (безводного силиката $K_2Al_2Si_4O_{12}$) и каолина ($H_4Al_2Si_2O_9$) можно представить так (по Томасу)[1]:



Соответственно этому строение глинистых минералов с повышенным (против каолина) соотношением $SiO_2 : R_2O_3$ можно изобразить так:



В соединениях этого типа присутствуют гидроксильные группы в трех различных положениях, в соответствии с чем находится и их различная способность обменивать свой водород на металлические катионы.

Гидроксильные группы в положении (*C*) связаны с атомами кремния, который связан (через кислород) также с кремнием. По Томасу, водород этих групп ($-\overset{O}{\overset{|}{Si}}-OH$) ведет себя подобно водороду в карбоксильных группах и при соприкосновении с растворами нейтральных солей способен частично обмениваться на металлические катионы. Наоборот, водород гидроксила в положении (*B*), связанного с атомом кремния, который через кислород связан с Al, не заменяется при нейтральной реакции; новое замещение возможно только при щелочной реакции[2].

[1] Soil Sc., 42, 1936, 244.

[2] По Томасу наличие этих двух групп (*C*) и (*B*) может быть определено путем последовательного замещения водорода на $Ba^{\cdot\cdot}$ при введении возрастающих количеств $Ba(OH)_2$. Замещение водорода групп (*C*) сопровождается почти полной нейтрализацией раствора при введении небольших количеств $Ba(OH)_2$. После того как все водороды групп (*C*) замещены, дальнейшее введение $Ba(OH)_2$ сопровождается подщелачением реакции, и в этих условиях начинается замещение водорода группы (*B*).

Наконец, гидроксильные группы в положении (*A*), связанные непосредственно с Al, при взаимодействии с кислотами способны замещаться на анионы кислот по такой, например, схеме:

$$\overset{|}{\underset{|}{Al}} - OH + HCl \rightleftarrows \overset{|}{\underset{|}{Al}} - Cl + H_2O.$$

Приведенные схемы, таким образом, наглядно показывают, почему соотношение между SiO_2 и R_2O_3 в составе минеральной части почвенных коллоидов оказывает столь существенное влияние на способность их поглощать катионы и анионы и почему емкость поглощения зависит от реакции среды. Если исходить из представления о том, что именно группировка *C* обладает наиболее выраженными катионными свойствами (т. е. способностью поглощать катионы), то становится понятной также повышенная способность к катионному обмену таких минералов, как монтмориллонит; в каолине же, как видно из приведенной схемы, такая группировка отсутствует, соответственно чему и отношение минералов группы каолина к нейтральным солям является пассивным. Точно так же и особенности строения безводных силикатов типа ортоклаза (см. схему на стр. 134), в отличие от водных или цеолитоподобных силикатов, могут служить объяснением различного их отношения к взаимодействию с растворами нейтральных солей[1].

Что касается природы органических веществ почвы, также входящих в состав коллоидальной фракции и наряду с цеолитоподобными минералами являющихся носителями обменной поглотительной способности, то подробнее об этом будет сказано ниже. Здесь же укажем лишь на то, что способность органических коллоидов почвы поглощать и обменивать катионы, несомненно, связана с наличием в составе органических веществ почвы карбоксильных и фенольных групп. И в этом случае имеет место неодинаковое поведение водорода этих групп в зависимости от их положения в молекуле органического вещества. Так, водород карбоксильных групп (RCOOH) способен к обмену на катионы нейтральных солей, тогда как водород групп спиртовых может быть заменен на другие катионы при щелочной реакции.

Тот факт, что на поверхности мелкораздробленных частиц малорастворимых высокомолекулярных органических веществ, имеющих в своем составе карбоксильные группы, могут происходить реакции поглощения и обмена катионов из растворов нейтральных солей (по типу обменных реакций в почвах), был доказан прямыми опытами, проведенными в нашей лаборатории М. Карповым и Б. Рязановым с эмульсией стеариновой кислоты. А именно, при обработке эмульсии стеариновой кислоты раствором $BaCl_2$ удалось констатировать явное поглощение ионов бария (до 63 мг Ba на 5 г стеариновой кислоты) с одновременным подкислением раствора, очевидно, за счет вытеснения водорода карбоксильных групп на поверхности частиц эмульсии стеариновой кислоты.

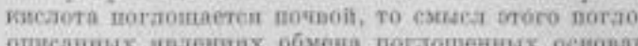
С другой стороны, исследования состава органического вещества почвы привели к совершенно определенным представлениям о том, что характерными компонентами его являются именно малорастворимые, высокомолекулярные соединения, имеющие в своем составе карбоксильные группы, которые и должны быть в первую очередь носителями обменной способности органических почвенных коллоидов.

[1] Надо заметить, что приведенные здесь схемы, являясь упрощенными, конечно, не отражают всей сложности строения минеральных веществ, входящих в состав поглощающего комплекса почв, и влияние этого строения на способность к реакциям обмена. Так, например, частая коллоидная SiO_2, в которой, казалось бы, больше всего должны быть представлены группы *C*, все же не обладает такой способностью к обмену катионов, как минералы типа монтмориллонита, содержащие SiO_2 и R_2O_3 в отношении, близком к 4 : 1. Очевидно, здесь заменяются еще и особенности микрокристаллической структуры (ее компактность или, наоборот, рыхлое строение), обусловливающие, например, в случае монтмориллонита способность к так называемому интермицеллярному обмену. Кроме того, имеются данные, указывающие на то, что алюмокремневые кислоты, в отличие от чистой кремнекислоты, являются более сильными кислотами. Поэтому наличие R_2O_3 в составе силикатов в какой-то мере оказывает специфическое влияние, и *если полуторные окислы не находятся в избытке*, то обусловливают повышенную катионность комплекса. Эту роль R_2O_3 схемы, приведенные в тексте, не учитывают.

ХИМИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ. ПОГЛОЩЕНИЕ АНИОНОВ

С почвенным поглощающим комплексом и с реакциями обменного поглощения в почве прямо не связаны те случаи, когда переход в нерастворимое состояние происходит вследствие химических реакций между простыми телами; эти реакции могут быть и не связаны с явлениями обмена и не являться обратимыми. Так, если, например, к почве, содержащей гидраты железа и глинозема, приливать раствор фосфорной кислоты, то образуются труднорастворимые фосфаты железа и алюминия. Если и говорится, что при этом фосфорная кислота поглощается почвой, то смысл этого поглощения другой, чем в вышеописанных явлениях обмена поглощенных оснований.

Далее, то же относится и связыванию фосфорной кислоты с кальцием с образованием трехкальциевого фосфата $Ca_3(PO_4)_2$, отличающегося крайне малой растворимостью. Кремнекислота также может образовать осадки, соединясь с кальцием, железом и глиноземом. Могут быть случаи обменных реакций между простыми телами, приводящие к образованию осадков, например, если в почву, содержащую соду, внести гипс:



$$Na_2CO_3 + CaSO_4 = CaCO_3 + Na_2SO_4.$$

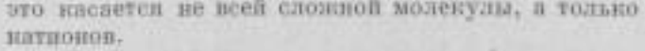
Так как $CaCO_3$ в воде нерастворим, то условно говорится, что в данном случае кальций поглощен почвой, но на деле поглощающий комплекс почвы здесь не при чем; в этих случаях лучше было бы просто говорить о переходе тех или иных веществ в нерастворимое состояние при химических реакциях, чем о химическом поглощении. Так как этот термин встречается в литературе, то необходимо знать его значение и отличать этот род явлений от типичных явлений коллоидно-химического или обменного поглощения, в которых участвует сложный гуматный и алюмосиликатный комплекс, причем участие это касается не всей сложной молекулы, а только подвижно связанных с ней катионов.

Явления химического поглощения (как и процессы обратного порядка, т. е. переход малорастворимых соединений под влиянием химических реакций в соединения более растворимые) играют наиболее существенную роль в превращениях в почвах фосфорнокислых удобрений. Отметим, что реакции химического поглощения в почвах имеют значение не только в смысле *регулирования состава* почвенного раствора, но также и *общей его концентрации*. А именно, образование малорастворимых соединений сопровождается уменьшением концентрации почвенного раствора (см., например, приведенный выше пример образования $CaCO_3$ при взаимодействии Na_2CO_3 и $CaSO_4$), тогда как реакции обменного поглощения в большинстве случаев прямого влияния на концентрацию раствора не оказывают, так как взамен адсорбированных катионов в растворе появляются катионы десорбированные[1].

При изучении поглощения почвой таких кислот, как фосфорная, кремневая и угольная, с первых же шагов обнаружилось ясно выраженное преобладание чисто химических реакций, связанных с образованием малорастворимых солей, над явлениями обменного поглощения. Так, например, для фосфорной кислоты имеет место образование соединений с кальцием, железом и глиноземом.

Подобного рода процессы могут происходить в почве *как без участия обменных реакций, так и в тесной связи с ними*. Так, например, химическое поглощение фосфорной кислоты вследствие образования малорастворимых со-

[1] Исключением из этого правила будут такие случаи, когда в результате обменной реакции образуются молекулы воды. Так, если почву, содержащую в поглощенном состоянии ионы водорода, привести в соприкосновение с раствором щелочи, то концентрация раствора уменьшится:



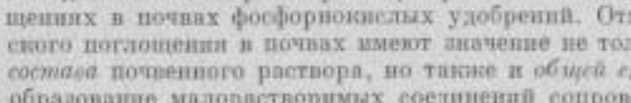
$$(\text{почва})H + NaOH = (\text{почва})Na + H_2O;$$

при обычных же реакциях обмена катионов между почвой и растворами солей общая концентрация чаще всего не изменяется.

единений с кальцием может быть результатом взаимодействия фосфорной кислоты с бикарбонатом кальция:

$$H_3PO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaHPO_4 + 2H_2CO_3;$$
$$2H_3PO_4 + 3Ca(HCO_3)_2 = Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2CO_3.$$

Аналогичного типа реакции возможны и при взаимодействии водорастворимых солей фосфорной кислоты с бикарбонатом кальция:



$$KH_2PO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaHPO_4 + KHCO_3 + H_2CO_3;$$
$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaHPO_4 + 2H_2CO_3;$$
$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2Ca(HCO_3)_2 = Ca_3(PO_4)_2 + 4H_2CO_3.$$

Так как $CaHPO_4$, а тем более $Ca_3(PO_4)_2$—соли, малорастворимые в воде, то при подобного рода реакциях фосфорная кислота из раствора будет переходить в осадок и, следовательно, подвергаться в почве химическому поглощению.

Однако образование малорастворимых фосфорнокислых солей в почвах чаще всего бывает связано и с реакциями обмена катионов; прежде всего надо указать на то, что наличие поглощенного кальция способствует осаждению фосфорной кислоты при реакции с бикарбонатом кальция вследствие нейтрализации освобождающейся угольной кислоты и появления в растворе нового количества бикарбоната кальция:

$$\text{I.}\quad H_3PO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaHPO_4 + 2H_2CO_3;$$
$$\text{II.}\quad 2H_2CO_3 + (\text{почва})Ca = (\text{почва})\begin{matrix}H\\H\end{matrix} + Ca(HCO_3)_2.$$

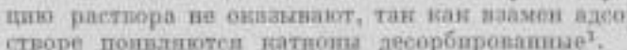
Благодаря этому реакция осаждения (I) протекает более полно. Кроме того, поглощенный кальций может и прямо участвовать в осаждении фосфорной кислоты в результате обмена с ионами водорода H_3PO_4 или катионами растворимых фосфорнокислых солей:

$$(\text{почва})Ca + H_3PO_4 = (\text{почва})\begin{matrix}H\\H\end{matrix} + CaHPO_4,$$

$$(\text{почва})Ca + KH_2PO_4 = (\text{почва})\begin{matrix}K\\H\end{matrix} + CaHPO_4;$$

поэтому поглощение фосфорной кислоты косвенно зависит и от природы катиона фосфорнокислой соли; так, например, из соли калия поглотится больше, чем из соли натрия, потому что в первом случае известь будет вытесняться энергичнее; но для аниона здесь нет обмена, так как никакой другой кислоты вместо связываемой фосфорной в раствор не переходит.

Так как растворение таких соединений, как $CaHPO_4$ и $Ca_3(PO_4)_2$, зависит от реакции среды, а именно в кислой среде они легко переходят в водорастворимую соль $Ca(H_2PO_4)_2$, то реакции химического поглощения фосфорной кислоты по типу, только что описанному, распространены в почвах нейтральных или щелочных, в почвах же кислых преобладает образование малорастворимых соединений с железом и алюминием, которые, наоборот, менее растворимы в условиях слабокислой реакции. Схематически образование малорастворимых фосфатов железа и алюминия можно представить так:



$$H_3PO_4 + Fe(OH)_3 = FePO_4 + 3H_2O;$$
$$H_3PO_4 + Al(OH)_3 = AlPO_4 + 3H_2O.$$

В действительности же имеет место большое разнообразие в составе образующихся фосфатов железа и алюминия (разное соотношение $P_2O_5 : R_2O_3$, содержание воды и т. д.).

Вследствие наличности химических реакций при поглощении фосфорной кислоты время соприкосновения имеет большее значение, чем при обмене катионов; так, еще в шестидесятых годах прошлого столетия Петерс нашел,

что 100 г почвы поглощают из 250 мл раствора, в зависимости от времени соприкосновения (и концентрации раствора), следующие количества P_2O_5:

Дано P_2O_5	Поглощено P_2O_5	
	через 24 часа	через 3 недели
а) 0,892 г	0,32 г (36%)	0,51 г (57%)
б) 1,784 »	0,51 » (29%)	0,71 » (40%)

Точно так же и температура, ускоряющая ход химических реакций, в данном случае оказывает резкое влияние.

Кремневая кислота поглощается по тому же типу, как и фосфорная, хотя и менее энергично.

Так как азотная, соляная и серная кислоты не дают труднорастворимых соединений с основаниями, обычно встречающимися в почве, то для них не наблюдается поглощения того типа, как для фосфорной и кремневой кислот.

В прежних опытах, когда недостаточно учитывали роль биологических процессов в почве, иногда наблюдали кажущееся поглощение азотной кислоты, если оставляли стоять раствор селитры в цилиндре с притертой пробкой в соприкосновении с почвой; но в этих условиях происходит разрушение нитратов (денитрификация), что можно устранить введением небольших количеств хлороформа или сокращением времени соприкосновения между почвой и раствором.

В позднейших опытах не только не наблюдалось (в обычных пределах реакций, преобладающих в природных условиях) поглощения азотной кислоты, но в ряде случаев наблюдалась отрицательная адсорбция[1], при которой коллоидные частицы сильнее притягивают воду, чем растворенные в ней нитраты (об этом говорил еще П. А. Костычев).

Все сказанное выше сохраняет свое значение при обычных условиях, которые чаще всего встречаются в культурных почвах; но если взять более широкую амплитуду, то можно и для анионов наблюдать явления обменного поглощения и подводить их под общие закономерности с поглощением катионов (что, однако, только дополняет, но не отменяет вышесказанного о преобладании химического связывания, например, фосфорной кислоты).

Возможность установления общих закономерностей для обменного поглощения анионов и катионов основывается на упомянутых выше взглядах Маттсона на почвенный поглощающий комплекс, как состоящий из многих амфолитоидов, обладающих различной силой ацидоидных и базоидных групп и различными изоэлектрическими точками. При переходе к более кислой реакции диссоциация ацидоидных групп будет подавляться, а базоидных—увеличиваться; поэтому будет увеличиваться и возможность поглощения анионов; при подщелочении будет происходить обратное. Сообразно этому, в опытах Антипова-Каратаева поглощение SO_4'' менялось так в зависимости от реакции среды (в миллиэквивалентах на 100 г почвы):

pH	4,6	3,5	2,4
Чернозем	0,00	0,46	3,01
Красноземом (Чанва) . .	0,29	4,69	7,84

Таким образом, для чернозема заметное связывание SO_4'' начинается при таком pH, которое чернозему не свойственно, но степень кислотности, при которой начинается связывание ионов SO_4'' (а также Cl', NO_3'), зависит от природы преобладающих в данной почве коллоидов: чем сильнее выражена в них базоидная природа, тем при менее кислой реакции может наступить поглощение названных анионов, что особенно выражено у красноземов[2].

[1] Об этом см. ниже, стр. 140.

[2] Отметим, что уже давно указывалось на возможность образования малорастворимых основных соединений серной кислоты с полуторными окислами, например:

$$\begin{matrix} Fe(OH)_2 \\ Fe(OH)_2 \end{matrix}\!\!>SO_4,$$

но остается неустановленным, в какой мере эта реакция участвует в описанных выше явлениях.

Практически это имеет значение по отношению к фосфорной кислоте, которую красноземы так прочно связывают, что внесение фосфатов в обычных дозах остается без влияния на растения, которые испытывают фосфорное голодание. Относительный размер поглощения свободной фосфорной кислоты для красноземa и чернозема виден из следующих данных Антипова-Каратаева:

Начальная концентрация H_3PO_4	0,005	0,05
Поглощено черноземом	3,29 (pH=5,4)	18,33 (pH=2,2)
» красноземом	21,98 (pH=4,3)	72,99 (pH=1,9)

Поглощение красноземом 22 и 73 миллиэквивалентов отвечает 0,59% и 1,8% P_2O_5 от веса почвы; правда, последняя цифра относится к совершенно искусственным условиям (pH=1,9), но и первая цифра (0,59%), относящаяся к pH=4,3, дает колоссальные величины при пересчете на абсолютное количество P_2O_5 на 1 га (для борьбы с этим явлением, затрудняющим разрешение фосфатного вопроса на красноземах, предлагаются такие меры, как известкование, обогащение почв кремнекислотой и органическим веществом).

Поглощение фосфорной кислоты (в отличие от HCl, H_2SO_4 и HNO_3) возможно при различных ступенях pH, но в то время, как при низких pH преобладает связывание полуторными окислами, при переходе через зону pH=5,0 начинает присоединяться и далее все более возрастать связывание P_2O_5 кальцием.

Что касается механизма связывания фосфорной кислоты, то «количественный эффект адсорбционной связи PO_4 в большинстве почв должен быть незначительным; и он с большим избытком перекрывается количеством чисто химически связанной фосфорной кислоты» (Антипов-Каратаев).

Какие именно соединения образуются (кроме средних и основных фосфатов железа и глинозема), сказать трудно, но возможно, что фосфорная кислота связывается с алюминием поглощающего комплекса (поскольку она может заместить группу OH), например, по такому типу:

$$HPO_4\!<\!\begin{matrix} Al = SiO_3 \\ Al = SiO_3 \end{matrix}$$

РОЛЬ МОЛЕКУЛЯРНОЙ АДСОРБЦИИ (ФИЗИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПО ГЕДРОЙЦУ) ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПОЧВЫ С РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ

Молекулярная адсорбция (или физическое поглощение по Гедройцу) состоит в том, что частицы тонко измельченного тела, не вступая в химические реакции с растворенными в воде веществами, создают пространственную неоднородность раствора, увеличивая или уменьшая концентрацию растворенного вещества у поверхности соприкосновения твердой частицы с раствором. Если молекулы растворенных солей притягиваются твердыми частицами сильнее, чем молекулы воды, то около поверхности частиц, в слое раствора, непосредственно прилегающем к ним, создается несколько бо́льшая концентрация молекул, чем на некотором расстоянии, где концентрация молекул солей будет соответственно пониженной. Если, наоборот, молекулы воды притягиваются сильнее, чем молекулы растворенных солей, то у поверхности раздела твердой и жидкой фаз создается пониженная концентрация молекул солей, а в части раствора, более удаленной от твердых частиц, создается соответственно повышенная концентрация.

В первом случае мы будем иметь положительную молекулярную адсорбцию, во втором—отрицательную молекулярную адсорбцию[1].

[1] Гедройц относил к случаям положительной физической (молекулярной) адсорбции поглощение почвой щелочей. В настоящее время поглощение щелочей объясняется иначе. В частности, нам представляется наиболее вероятным, что здесь имеет место обмен катионов щелочи на ионы водорода почвенных ацидоидов с образованием воды (см. примечание на стр. 136).

Молекулярно адсорбированные вещества непрочно связаны с твердой фазой, так как, например, путем промывания водой можно практически нацело удалить таким образом адсорбированное вещество, в то время как при поглощении по типу обменной адсорбции получается более прочная связь.

Следует заметить, что случаи положительной физической адсорбции почвой растворенных веществ экспериментально почти не изучены. Причиной этого является целый ряд привходящих явлений (физико-химическое и химическое поглощение, растворяющее действие взятого раствора на почвенные соединения и т. п.), осложняющих наблюдение тех изменений, которые обусловлены «физическим поглощением»

Хотя те же самые осложнения имеют место и при наблюдении случаев отрицательной адсорбции, однако последние все же удается констатировать опытным путем достаточно отчетливо[1].

Отрицательная молекулярная адсорбция наблюдается наиболее четко при взаимодействии почвы с растворами хлоридов и нитратов. Так, отрицательная адсорбция почвы по отношению к селитре была отмечена П. А. Костычевым еще в конце прошлого столетия, но ближе она была изучена в период 1925—1928 гг. Лобановым и Трофимовым. Чтобы лучше уловить это явление, последний автор применил, вместо взбалтывания почвы со значительным объемом раствора, метод напитывания почвы раствором примерно до полной влагоемкости, с последующим отжиманием почвенного раствора с помощью пресса; тогда удавалось более ясно констатировать отрицательную адсорбцию для нитратов и хлоридов, для чернозема более выраженную, чем для подзола.

В опытах того же автора с промыванием почвы раствором $NaNO_3$ (и параллельно водой для контроля на имеющиеся в почве нитраты) наблюдалось, что в первых порциях фильтрата концентрация нитратов была значительно большей, чем в последующих. В опытах Маттсона по изучению поглощения анионов почвенными коллоидами (с различным отношением кремнекислоты к полуторным окислам) поглощение хлоридов и сульфатов из нейтральных и щелочных растворов также было отрицательным.

Приведем здесь данные из опытов Трофимова, наглядно иллюстрирующие отрицательную адсорбцию нитратов. Сухая почва помещалась в две колонки и промывалась в одной колонке раствором, содержащим 10 миллиэквивалентов $NaNO_3$ в 100 мл, а в другой—чистой водой.

В последовательных порциях фильтрата определялась концентрация нитратов. Результаты были следующие:

Концентрация нитратов в последовательных порциях фильтрата
(в миллиэквивалентах на 100 мл фильтрата)

	I	II	III	IV
а) при промывании почвы раствором, содержащим 10 м.-экв. $NaNO_3$ в 100 мл	36,1	26,1	15,0	10,0
б) при промывании водой	10,1	5,0	2,0	0,2
в) разность	26,0	21,1	13,0	9,8

[1] Малая изученность физической поглотительной способности почвы вообще не является еще доказательством того, что она не имеет практического значения. Гедройц, например, по этому поводу замечал следующее: «Несмотря на очень скудное количество экспериментальных доказательств способности почвы к положительной и отрицательной адсорбции, теоретические соображения заставляют нас признать, что таковою почва обладает, но количественно она проявляется в общем малыми величинами, которые при методах, применявшихся для их определения, мало доступны нашим измерениям. В почве же, в естественном состоянии, при естественной ее влажности, физическое поглощение должно достигать значительно больших величин» («Учение о поглотительной способности почв», 1932, стр. 29).

Нам известны такие, например, факты, что растения в песчаных культурах переносят гораздо бо́льшую концентрацию солей (при расчете на то количество воды, которое дается в песчаных культурах), чем в культурах водных; при постоянно песчаных культурах части дают столько же граммов солей на 1 кг песка, сколько в водных даются на 1 л воды, тогда как вода, увлажняющая песок, обычно составляет около 15% от его веса. Возможно, что физическая адсорбция даже на таком грубо дисперсном материале, как кварцевый песок, играет какую-то роль, ослабляя действие повышенной концентрации.

Таким образом, в первых порциях фильтрата при промывании почвы раствором $NaNO_3$ концентрация сильно возросла; так как возрастание концентрации было больше, чем вытеснялось нитратов в первых порциях фильтрата при промывании водой, то, очевидно, здесь имела место отрицательная адсорбция.

Для того чтобы явления молекулярной адсорбции рассматривать без осложняющих моментов со стороны других одновременно идущих процессов и в частности таких, как реакции обменные и образование нерастворимых соединений (химическое поглощение), надо обратиться к такому случаю, когда эти последние реакции по возможности отсутствуют. Подобный случай мы будем иметь, если растворенное вещество не образует в почве нерастворимых соединений и не вступает в реакции обмена с катионами поглощающего комплекса.

Очевидно, что реакции обмена катионов не будет вносить осложнений, если, например, мы будем рассматривать взаимодействие между почвой, насыщенной определенным основанием, и раствором соли того же основания. Кроме того, основание и кислота этой соли (катион и анион) должны быть такими, чтобы по возможности отсутствовали побочные реакции химического поглощения. Удобнее всего для этой цели взять соль азотной кислоты или соль соляной кислоты, ибо в почве именно эти кислоты нерастворимых солей, как правило, не образуют.

Обратимся теперь к такому примеру: пусть мы имеем почву, насыщенную каким-либо одновалентным катионом (например, K), и приведем ее в соприкосновение с солью KCl. Как показал Маттсон, равновесие, устанавливающееся в этом случае, аналогично известному «мембранному равновесию» Доннана, если допустить, что граница раздела между внешним раствором и слоем жидкости, окружающим частицы твердой фазы почвы, играет роль полупроницаемой мембраны[1].

Обозначая несущие отрицательный заряд участки поверхности твердой фазы почвы через R′, мы можем схематически представить устанавливающееся у поверхности твердой фазы равновесие следующим образом[2]:

т. е. ионы K′ и Cl′ могут диффундировать в обоих направлениях (из раствора к поверхности коллоида и от поверхности коллоида во внешний раствор), а R′ во внешний раствор перейти не может.

Пусть концентрация ионов K′ и равная ей концентрация ионов Cl′ во внешнем растворе будет (в момент установления равновесия) равна величине, которую обозначим через x. Концентрацию же ионов Cl′ в правой части, т. е. у поверхности твердой фазы, обозначим для Cl′ через y и для K′—через $(y+z)$. Понятно, что концентрация ионов K′ у поверхности отрицательно заряженного коллоида будет больше, чем концентрация ионов Cl′, так как, помимо K′, диффундировавшего из внешнего раствора (y) вместе с Cl′, у поверхности будет некоторое количество (z) ионов K′, диссоциирующих из поглощенного состояния и удерживаемых отрицательным зарядом R′. Равновесие установится тогда, когда скорости диффузии ионов в том и другом направлении будут равны. Условием равенства этих скоростей является равенство произведения концентраций ионов K′ и Cl′ в правой и левой частях. Следовательно, равновесие установится тогда, когда

$$x \cdot x = y(y+z) \quad \text{или} \quad x^2 = y^2 + yz.$$

Из этого уравнения следует, что x^2 должно быть всегда больше y^2, или, что то же, x должно быть больше y. А это значит, что концентрация ионов Cl′ во внешнем растворе (x) в момент установления равновесия будет больше, чем концентрация ионов Cl′ у поверхности твердой фазы (y). Так как x одновременно обозначает концентрацию катиона K′ во внешнем растворе, а y—ту часть катионов K′ у поверхности коллоида, которая диффундировала из внешнего раствора к поверхности коллоида, то можно сказать, что концентрации молекул KCl во внешнем растворе (x) должна быть больше, чем концентрация молекул KCl у поверхности

[1] Т. е. такой, через которую могут проходить ионы K′ и Cl′, но через нее не могут уйти во внешний раствор несущие отрицательный заряд участки поверхности твердой фазы (т. е. группы RCOO′, RSiOO′ и т. п.).

[2] x, y и $(y+z)$—обозначения концентрации соответствующих ионов в момент равновесия.

коллоида (у). Следовательно, в данном случае должна иметь место отрицательная молекулярная адсорбция KCl*.

Обычно отрицательная молекулярная адсорбция осложняется реакциями обмена катионов. Так, например, если бы мы взяли почву, насыщенную K, и привели ее в соприкосновение с раствором $NaCl$, то произошел бы обмен катионов, и в растворе, кроме $NaCl$, появился бы KCl. Обе эти соли подвергнутся отрицательной молекулярной адсорбции, и концентрация Cl' во внешнем растворе будет выше, чем у поверхности; вместе с тем концентрация $Na^{\cdot}$ уменьшится в результате обмена на $K^{\cdot}$. Поэтому об отрицательной адсорбции говорят иногда как об адсорбции анионов Cl' и NO_3', тогда как в действительности она относится не к анионам, а к молекулам солей (или кислот), содержащих эти анионы (в данном примере к молекулам $NaCl$, оставшимся в растворе после обменного поглощения Na, и молекулам KCl, образовавшимся в результате вытеснения K).

С точки зрения агрономической отрицательная адсорбция хлоридов и нитратов имеет существенное значение, так как она обусловливает высокую подвижность этих солей в почве, ибо они не только не адсорбируются на поверхности твердой фазы почвы, но, наоборот, от нее отдаляются.

Молекулярная адсорбция представляет интерес еще и в том отношении, что она, помимо влияния на подвижность растворенных веществ в почве, является фактором, регулирующим концентрацию почвенного раствора.

Следует, однако, заметить, что молекулярная адсорбция вовсе не единственный фактор регулирования концентрации почвенного раствора, ибо последняя изменяется также при реакциях осаждения (т. е. при образовании нерастворимых химических соединений, о чем подробнее говорилось выше), а также в результате биологических процессов[1]—минерализации органического вещества, с одной стороны, и усвоения растворимых веществ—с другой. Образование CO_2, выделение органических кислот и вообще изменения реакции в результате биологических процессов (нитрификация и т. п.), в свою очередь, оказывают влияние на растворимость тех или других соединений в почве, а следовательно, и на концентрацию почвенного раствора.

ЗНАЧЕНИЕ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ, И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ

В самой общей форме из с.-х. практики давно известно, что явления поглощения необходимо принимать во внимание при внесении удобрений, что глинистая почва (богатая коллоидальной частью) иначе относится к удобрению, нежели песчаная; последняя, обладая малой поглотительной способностью, легко допускает вымывание питательных веществ. Вместе с тем песчаные почвы обладают малой влагоемкостью, и поэтому в них легко может создаваться повышенная концентрация почвенного раствора. Глинистая почва, напротив, проявляет отношение противоположное; отсюда давнее практическое правило: песчаные почвы следует удобрять небольшими порциями, но чаще; глинистые же можно удобрять сразу большими количествами, и на них действие удобрений сказывается постепенно и распределяется на несколько лет.

Известно, что корни растений воспринимают пищу из весьма слабых растворов: при водных культурах употребляются растворы 1—3 части солей на 1 000 частей воды; концентрация 5 частей на 1 000 часто оказывается уже слишком высокой. В почве, отчасти благодаря явлениям поглощения, концентрация поддерживается на невысоком уровне[2]. Питательные вещества, находящиеся в поглощенном состоянии, не создают повышенной концентрации, удерживаются от вымывания и в то же время они чаще всего легко могут быть использованы растениями.

---

* Подобного же рода равновесие устанавливается при взаимодействии почвы с растворами нитратов. Таким образом, случаи отрицательной адсорбции хлоридов и нитратов, наблюдавшиеся в опытах Трофимова и других, находит теоретическое объяснение.

[1] Не говоря о том, что концентрация почвенного раствора в сильнейшей степени зависит от изменения влажности почвы, что само собой разумеется.

[2] О том, какие факторы регулируют концентрацию почвенного раствора, было сказано выше.

Точно так же при внесении в почву удобрений в виде растворимых солей такие питательные вещества, как калий, фосфорная кислота и аммоний, переходят в поглощенное состояние, в результате чего снижается их концентрация в почвенном растворе и они удерживаются от вымывания.

В умеренном климате обычно концентрация почвенного раствора колеблется в пределах, близких к тем, какие установлены как оптимальные для растений в водных культурах или еще более низких. Так, наблюдались колебания в содержании растворенных солей от 0,5 до 2 г на 1 л почвенного раствора. В засушливых районах, где почвы богаче солями, конечно, концентрация почвенного раствора может быть выше и переходить предел, допустимый для растений, но эти моменты наступали бы чаще, если бы значительная доля питательных веществ не находилась в поглощенном состоянии.

Поглотительная способность является регулятором почвенного раствора не только со стороны концентрации его; она обеспечивает и *разнообразие* состава почвенного раствора. При внесении в почву, например, солей калия, часть калия поглощается, взамен того в раствор переходит соединения кальция, магния и пр. и тем самым поддерживается физиологическая уравновешенность почвенного раствора. Поэтому никакое удобрение не действует только прямо, а, вызывая в почве ряд изменений, действует и косвенно.

Обычно принимают, что именно поглощенные почвой вещества (помимо находящихся в растворе) являются усвояемыми и определяют ее эффективное плодородие. Это относится, например, к калию, находящемуся в обменной форме, другие же соединения калия представляют лишь тот запас, из которого постепенно при выветривании образуются легко усвояемые вещества.

Усвоение растениями таких элементов, как калий, кальций, магний, за счет той части их, которая находится в поглощенном состоянии, можно представить следующим образом. При усвоении корневой системой растений питательных веществ (например, калия) из почвенного раствора концентрация его в отношении, например, калия понижается. Это вызывает смещение равновесия между поглощающим комплексом и раствором, в результате чего какая-то часть калия из поглощенного состояния переходит в раствор (обмениваясь, например, на ионы водорода H_2CO_3, образующейся при дыхании корней) и т. д. Высказываются также предположения (Иенни) о том, что между корневой системой растений и поглощающим комплексом, в условиях тесного контакта, может иметь место и непосредственный обмен ионов.

Если, с одной стороны, поглощенные почвой питательные вещества представляют ближайший запас усвояемой для растений пищи, то, с другой стороны, приходится считаться и с такими фактами, когда процесс поглощения почвой растворимых питательных веществ, внесенных в виде удобрений, сопровождается значительным понижением их усвояемости для растений. Это имеет место, например, для фосфорной кислоты, причем наиболее сильно на почвах, содержащих большое количество подвижных полуторных окислов и в коллоидной части которых низко отношение $SiO_2 : R_2O_3$ (наиболее характерны в этом отношении почвы типа латеритов, красноземы и им подобные).

Мы уже сказали, что поглотительная способность предохраняет целый ряд питательных веществ от вымывания их из почвы дождями. Как раз такие важные питательные вещества, как калий, кальций, фосфорная кислота, поглощаются почвой и потому хорошо противостоят вымыванию. Что касается азотистых соединений, то аммиак хорошо поглощается почвой. Но другая форма азотистой пищи растений—нитраты—легко вымывается. Поэтому в очень влажном климате или при обильном орошении (культура риса) обычно избегают вносить селитру, а предпочитают или аммиачные соли, или нерастворимые в воде органические азотистые удобрения, как кровяная мука, или же прибегают к зеленому удобрению. Так, Япония, в которой рис является главной культурой, применяет много аммиачных солей, рыбного гуано и других органических удобрений.

Если при внесении азотистых удобрений приходится считаться с возможностью вымывания нитратов и стараться избегать его, то в других случаях отсутствие поглощения (или даже отрицательная адсорбция) отдельных компонентов удобрения играет положительную роль; так, например, при внесении удобрений, содержащих большое количество хлора (сильвинит), путем заблаговременного внесения и глубокой заделки можно создать условия для лучшего вымывания хлора (например, в виде $CaCl_2$), тогда как калий останется в поглощенном состоянии.

С поглотительной способностью почвы, таким образом, находится в тесной связи условия передвижения питательных веществ, вносимых в почву в виде удобрений.

Остановимся здесь несколько подробнее на этой стороне дела.

Установлено, что передвижение солей в почве происходит только в том случае, если влажность ее превышает максимальную гигроскопичность. При влажности почвы, большей, чем гигроскопическая, растворенные удобрения могут передвигаться вместе с почвенной влагой: 1) сверху вниз под влиянием осадков или поливной воды, 2) снизу вверх по капиллярам почвы вследствие испарения воды в поверхностных слоях почвы и 3) в других самых разнообразных направлениях благодаря неравномерности состояния влажности почвы, создаваемой деятельностью корневой системы растений.

В тех случаях, когда влажность почвы одинакова во всех ее точках, передвижение будет осуществляться в виде *диффузии растворенной соли*.

Явления диффузии в такой неоднородной среде, какой является почва, конечно, более сложны, чем в гомогенном растворе. Если почвенных коллоидов уменьшает скорость диффузии как в силу некоторого физического препятствия, так и в силу коллоидно-химических явлений, протекающих на поверхности почвенных коллоидов (набухание, адсорбция).

Экспериментально была исследована диффузия хлоридов, нитратов и фосфатов в почве (Лебедев, Шошин, Чернов и др.). При равномерной влажности исходной почвы наблюдается передвижение воды к месту внесения соли, особенно резко выраженное при незначительной влажности. Установлено, что диффузия ионов Cl' и NO'_3 в почве подчиняется общим закономерностям относительно диффузии солей, хотя коэфициенты диффузии в почвенных условиях ниже, чем в воде (Чернов). При постоянной влажности коэфициент диффузии повышался с температурой, а при одинаковой температуре коэфициент диффузии увеличивался с влажностью. При прочих одинаковых условиях коэфициент диффузии был выше для супесчаной почвы, по сравнению с суглинистой.

Скорость передвижения удобрений в почве путем диффузии незначительна; так, нитраты в течение 25 суток переместились под влиянием диффузии всего на 8—9 см от места внесения. Передвижение фосфорной кислоты в почве путем диффузии бывает еще менее заметным. В одном из опытов за 90—125 дней фосфорная кислота передвинулась только на 6—7 см от места внесения.

Все сказанное о диффузии относится к тем случаям, когда капиллярное движение было устранено. Передвижение солей вместе с капиллярной и гравитационной водой бывает более значительным и происходит быстрее, чем путем диффузии.

В опытах с удобрениями [$NaNO_3$, $(NH_4)_2SO_4$, $NH_4H_2PO_4$ и KCl] наиболее интенсивное передвижение вместе с капиллярной водой наблюдалось для нитратов. Это находится в полном соответствии с тем, что нитраты не поглощаются твердой фазой почвы, но, наоборот, адсорбируются отрицательно.

Передвижение аммония и в еще большей степени калия отстает от движения капиллярной воды в почве, что, очевидно, объясняется вступлением $K^{\cdot}$ и $NH^{\cdot}_4$ в поглощенное состояние в результате обменных реакций. В опытах с подзолистой почвой наименее подвижной оказалась фосфорная кислота.

Подобного рода закономерности наблюдаются не только в лабораторных опытах, но и при учете передвижения удобрений в почве в полевых условиях.

Так, в одном из опытов (Бобко и Корнуен) после внесения в почву удобрения[1] на глубину 10 см послойные анализы почвы через 25—42 дня после внесения удобрений дали следующие результаты: через 25 дней нитраты равномерно распределились в слое почвы 0—15 см, т. е. нитраты поднялись вверх примерно на 10 см и опустились вниз приблизительно на 5 см (в течение этих 25 дней выпадали частые, но небольшие дожди). Через 42 дня, несмотря на выпадавший на 2 дня до взятия образцов почвы дождь в количестве 14,66 мм, самое высокое содержание нитратов было в слое 0—4 см. Аммиак за 25 дней также передвинулся до поверхностного слоя почв и опустился ниже слоя внесения удобрений на 5 см, но в количествах меньших, чем нитраты, и в зоне внесения удобрений аммония было примерно в 1,5—2 раза больше, чем в других слоях. Калий через 42 дня также достиг поверхностного слоя почвы и опустился ниже слоя внесения удобрений. *Передвижение фосфора было, как и в лабораторных опытах, наименьшим*: за 25 дней фосфорная кислота передвинулась только на 3—5 см ниже и выше зоны внесения удобрений, но в относительно меньших количествах, чем другие составные части удобрений.

[1] Содержащего NO_3, NH_4, PO_4 и K.

Перемещение солей в почве с гравитационной водой также зависит от природы удобрения (конечно, и от свойств почвы). Очевидно, что и в этом случае нитраты будут наиболее подвижными. Действительно, опыты показывают, что нитраты с гравитационной водой могут опускаться на глубину 1 м и больше. Аммоний вследствие обменного поглощения уже будет в меньшей степени вымываться в глубь почвы, калий—еще меньше, и, наконец, фосфор будет почти нацело фиксироваться в поверхностных слоях почвы, особенно в тех почвах, где факторы химического и коллоидно-химического поглощения будут сильно выражены.

Если с явлениями поглощения приходится считаться при внесении каждого удобрения, то действие так называемых *косвенных* удобрений (например, действие известкования) основано главным образом на явлениях поглощения одних и вытеснении других катионов из поглощающего комплекса.

Мало того, с явлениями поглощения необходимо считаться не только тогда, когда мы вносим в почву недостающие вещества, но и тогда, когда мы хотим *удалить* избыточные или вредно действующие соли из почвы, например, при *борьбе с солончаками и солонцами*, о чем будет сказано ниже.

Только при близком знакомстве с явлениями поглощения мы можем рассчитывать на успех в мероприятиях, имеющих целью изменить химические свойства почвы в желательном для нас направлении, а также избегнуть неблагоприятных последствий сдвига реакции в кислую или щелочную сторону, что возможно при однообразном внесении одних и тех же форм, например, азотистых удобрений, без должного их чередования. Но для того, чтобы говорить о *роли поглощающего комплекса в регулировании реакции почв* и придании ей способности противостоять сдвигам реакции (так называемой буферности почвы), нам необходимо предварительно ближе познакомиться с тем, что представляет собой почвенная кислотность.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКЦИИ И ДРУГИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ ОТ СОСТАВА ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

ОБМЕННАЯ КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВ

Мы видели выше, что при действии на почвы нейтральных солей происходит обмен основаниями в эквивалентных отношениях, и если кислотная часть взятой соли не поглощается почвой, то раствор должен после соприкосновения с почвой остаться нейтральным. Так это обычно и бывает, но случается иногда и другое: нейтральный раствор соли после соприкосновения с почвой становится кислым. В этих случаях оказывается, что сумма вытесненных из почвы оснований не эквивалентна количеству поглощенного катиона, именно она меньше этого количества. Прежде видели в этом особый тип «безобменного поглощения», но оказалось, что и это явление подходит под тип обмена. Для этого мы должны учесть, что если раствор соли, которым мы действовали на почву, например, NH_4Cl, стал кислым, то это значит, что в нем, кроме $CaCl_2$, $MgCl_2$ и других солей соляной кислоты, есть небольшая часть свободного хлороводорода—HCl, а следовательно, в нем находятся ионы водорода. Если этот водород причитать к остальным катионам, вытесненным аммонием, то правило об эквивалентности поглощенного и вытесненных катионов окажется верным и для таких случаев.

Но откуда же взялся этот водород в растворе? Он мог получиться только из поглощающего комплекса. Если мы опять представим поглощающий комплекс как нечто целое, как анион некоторой сложной нерастворимой в воде кислоты, с которой связаны поглощенные основания, то в тех случаях, когда раствор соли, соприкасающийся с почвой, остается нейтральным, нужно думать, что почвенный комплекс был насыщен основаниями. Тогда же, когда раствор становится кислым, тогда, очевидно, в комплексе, наряду с другими катионами, был незамещенный водород, находившийся в том же положении, как и другие катионы, и потому способный также обмениваться местами и переходить в раствор взамен поглощаемого катиона, по такой схеме:

$$\left(\text{почвенный поглощающий комплекс}\right)H + KCl \rightleftarrows \left(\text{почвенный поглощающий комплекс}\right)K + HCl$$

Водород в поглощающем комплексе таких почв содержится наряду с другими поглощенными катионами, что можно схематически представить следующим образом:

$$\left(\begin{array}{c}\text{почвенный поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{array}\right)\begin{array}{l}>Ca\\ >Mg\\ -K\\ -H\end{array}$$

Этот случай мы имеем в так называемых кислых почвах (подзолы, вересковые земли, моховые торфянники). Однако эта кислотность должна быть понимаема иначе, чем в случае типичных кислот, не только сильных, как серная и соляная, но даже и более слабых, как уксусная. Именно от типичных кислот те соединения, которые обусловливают почвенную кислотность, *отличаются нерастворимостью в воде* (это относится и к большинству органических кислот почвы и к минеральным алюмосиликатным соединениям кислотного характера). *Если же нет растворимости, то нет и диссоциации*[1], а известно, что типичные кислоты характеризуются именно тем, что в водном растворе они более или менее диссоциированы, расщеплены на ионы водорода и соответственный анион кислоты; степень такой явной или активной кислотности измеряется количеством ионов водорода в растворе. В почвах встречается такая кислотность, и она тоже носит название *активной*, или *актуальной*, *кислотности*[2]. Однако кислые почвы могут и не обнаруживать заметной кислотности в водной вытяжке[3], но при взаимодействии с растворами нейтральных солей они могут сильно подкислять эти растворы. Этот вид почвенной кислотности называется *обменной кислотностью*. Кислоты почвы можно сравнить скорее с такой нерастворимой в воде кислотой, как стеариновая, которая тоже не отдает в раствор заметных количеств ионов водорода (ее кислотность поэтому не чувствуется на вкус), однако она способна связать известное количество щелочи (при образовании мыла).

Так и почвенные кислоты, или, точнее, кислотоподобные соединения—ацидоиды—могут реагировать со щелочами, замещая свой водород другими катионами по схеме:

$$\left(\begin{array}{c}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{array}\right)\begin{array}{l}>Ca\\ >Mg\\ -K\\ -H\end{array} + NaOH = \left(\begin{array}{c}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{array}\right)\begin{array}{l}>Ca\\ >Mg\\ -K\\ -Na\end{array} + H_2O$$

Следовательно, можно изгнать водород из почвенного комплекса и уничтожить почвенную кислотность, что и делается в хозяйстве, только не с помощью растворимых щелочей, но с помощью более дешевой извести[4]. И обратно, можно ввести водород в поглощающий комплекс в целях изучения свойств почвенных

[1] Или, вернее, диссоциация в этих условиях возможна лишь в незначительной степени и притом только у поверхности раздела между твердой и жидкой фазами.

[2] Актуальная кислотность почв, т. е. кислотность почвенного раствора, бывает обусловлена присутствием в нем H_2CO_3, кислых и гидролитически кислых солей, а частично и растворимых органических кислот, образующихся при разложении органического вещества в почве.

[3] Сильно выраженная актуальная кислотность почв в общем представляет редкое явление, так как в большинстве случаев у почв культурных pH водной вытяжки чаще почти не опускается ниже 6,6—5,5. Кислые же торфяные почвы и некультурные подзолы (например, вересковые пустоши) могут иметь pH водной вытяжки 4,5—4,0 и даже ниже.

[4] Кроме того, здесь известь нужна и по существу, независимо от дешевизны, потому что важно получить коллоиды, свертывающиеся и выпадающие из воды, а не растворяющиеся в ней, как мыло. В случае же мыла известь, наоборот, не годится: известковая соль стеариновой кислоты «не мыльна»—это известно из действия жесткой воды на мыло. Но когда хотят в лаборатории в целях выделения заставить поглощающий комплекс почвы растворяться в воде и отделиться от более грубых частиц, то тоже вводят в него щелочи вместо поглощенного кальция; тогда он переходит (частично) в коллоидальный раствор.

ацидоидов, если обработать почву какой-либо сильно разведенной кислотой, хотя бы соляной, например, 0,05-*н* раствором HCl. Более крепких растворов кислоты брать нельзя, так как кислота тогда разрушит поглощающий комплекс, отделит глинозем от кремнекислоты; последняя выделится в свободном виде, глинозем же даст хлористый алюминий. Но слабые растворы кислоты отнимают только поглощенные основания, переводя их в хлористые соли; водород же становится на их место.

Таким образом, можно определить количество и состав поглощенных оснований в почве, вытесняя их водородом разведенной кислоты, и это легче сделать, чем промыванием почвы раствором хлористого аммония, потому что водород обладает наибольшей энергией вытеснения, по сравнению с другими катионами (с другой стороны, можно определить количество водорода в первоначальной почве, если повторно промывать почву, например, раствором хлористого бария и затем учесть суммарную кислотность этих вытяжек).

Какие же составные части почвы обусловливают обменную кислотность почвы?

Кислотность почвы, вызываемая гуминовыми кислотами. В восьмидесятых годах прошлого столетия агрохимиками на Бременской станции по культуре болот было замечено, что моховой торф разлагает фосфорит и что это действие может быть усилено прибавлением нейтральных солей, как K_2SO_4 и $(NH_4)_2SO_4$. Пришлось допустить, что не только относительно слабые кислоты, как фосфорная, могут вытесняться гуминовыми кислотами, но даже и сильные кислоты, как серная и соляная, конечно, сообразно закону действия масс, т. е. нужны большие количества гуминовых кислот, чтобы вытеснить малые количества HCl и H_2SO_4; кроме того, здесь присоединяется то обстоятельство, что мы имеем дело с ацидоидами, дающими с катионами различных солей (K, NH_4 и пр.) трудно растворимые солеобразные соединения, что обыкновенно обозначается как явление адсорбции.

В первый период возникновения учения о коллоидах делались попытки отрицать кислотную природу гуминовых веществ и объяснить сдвиг реакции нейтральных растворов общими свойствами коллоидов. Однако коллоиды могут иметь различный заряд, и прежнее представление о поглощении коллоидами только катионов оказалось односторонним. Коллоидальное состояние не мешает одним веществам проявлять кислотные свойства, другим—основные, третьим—быть нейтральными (как крахмал).

Что гуминовые кислоты имеют характер настоящих кислот, теперь доказано тем, что в них присутствуют карбоксильные группы в различных положениях, с разной наклонностью к диссоциации, и при электрометрическом титровании происходит последовательное замещение водорода карбоксильных групп, так что получается ступенчатая кривая (начиная от pH=5,0; следующая ступень отвечает pH=7, затем 9 и 11).

Сообразно сказанному, Каппен, изучая взаимодействие гуминовой кислоты с солями, непосредственно наблюдал разложение калийной соли с освобождением кислоты и связыванием эквивалентного количества основания. При этом он брал гуминовую кислоту как природного происхождения (из торфа, из бурого угля), так и искусственно полученные препараты (из сахара, из гидрохинона). Взбалтывая в течение часа 5 г вещества со 100 мл раствора K_2SO_4, он при титровании раствора децинормальной щелочью и анализе осадка получал такие данные:

	«Гуминовая кислота»			
	из торфа	из бурого угля	из сахара	из гидрохинона
Титруемая кислотность вытяжки (в миллилитрах)	19,0	21,6	11,1	22,1
Найдено калия в соли гуминовой кислоты (миллиграммов)	88,2	99,7	49,6	101,7
Вычислено по кислотности вытяжки (в миллиграммах)	89,2	101,7	52,3	103,9

Таким образом, разложение K_2SO_4 гуминовой кислотой переведением части калия в нерастворимое соединение этой кислотой (ацидоидом) доказывается согласием двух последних рядов цифр.

Способность малорастворимых органических кислот обменивать часть водорода карбоксильных групп на катионы нейтральных солей была показана в нашей лаборатории опытами Карпова и Рязанова со стеариновой кислотой[1]. Реакция суспензии стеариновой кислоты в воде (лишенной CO_2 путем кипячения) была равна 6,0 pH. После же взбалтывания 2 г стеариновой кислоты с 40 мл 1-*н* раствора $BaCl_2$ (имеющего первоначальную реакцию 6,6 pH) соленая вытяжка имела pH=4,8, а при последовательных обработках раствором $BaCl_2$ pH опускалось до 4,4. Одновременно с подкислением раствора происходило поглощение бария. Этот опыт достаточно убедительно демонстрирует природу обменной кислотности, ибо, очевидно, в данном случае имел место обмен ионов водорода карбоксильных групп стеариновой кислоты на катионы $Ba^{\cdot\cdot}$ из раствора:

$$2RCOOH+BaCl_2=(RCOO)_2Ba+2HCl.$$

При этом, понятно, не было полного замещения водорода карбоксильных групп, а реакция ограничивалась поверхностью частичек стеариновой кислоты. Таким образом, мы имеем, с одной стороны, прямое доказательство того, что малорастворимые органические вещества, имеющие в своем составе карбоксильные группы (как стеариновая кислота), способны быть носителями обменной кислотности, с другой стороны, ряд указаний на то, что содержащиеся в почве органические вещества (гуминовые кислоты) имеют карбоксильные группы. Поэтому мы с большим основанием можем считать, что наличие в составе органического вещества почвы карбоксильных групп, водород которых не замещен основаниями, является одной из причин того, что мы называем обменной кислотностью почвы.

Благодаря большому содержанию гуминовых кислот в моховых торфяниках последние способны снижать pH солевых растворов иногда до pH=2,5, тогда как в минеральных почвах это снижение редко переходит за 4,0. С этого рода фактами приходится считаться при удобрении кислых торфяников растворимыми солями.

Обменная кислотность минеральной части почв. Позднее, чем стала известна кислотность болотных почв, богатых органическими веществами, обратила на себя внимание *способность некоторых минеральных почв также вызывать подкисление растворов нейтральных солей*, причем оказалось, что в кислом растворе, содержащем KCl, после соприкосновения с такой почвой, обнаруживаются соли алюминия (иногда также железа и марганца). Первый открыл этот факт Veitch (США) в 1904 г. Более подробно исследовал это явление японский агрохимик Дайкухара. Так как такие соли алюминия, как $AlCl_3$, будучи солями сильной кислоты и слабого основания, в водном растворе гидролитически расщепляются [$AlCl_3+3H_2O=Al(OH)_3+3HCl$], то они придают раствору кислую реакцию; мало того, при титровании такого раствора и нейтрализации части кислоты происходит дальнейшее расщепление, и так можно протитровать всю HCl, как будто алюминия в растворе вовсе не было.

Дайкухара произвел ряд исследований над такими кислыми почвами Японии, в которых кислотность зависела не от гуминовых кислот, а от минеральных веществ, и показал, что для таких почв обычно титруемая кислотность солевой вытяжки совпадает (или почти совпадает) с содержанием в ней солей алюминия. Вот пример:

Исследуемые образцы	Титруемая кислотность вытяжки (в миллиграммах 0,1-н NaOH)	Al_2O_3 (в граммах)	
		найдено	вычислено из кислотности
Почва из Niigata	80,0	0,1496	0,1412
» » Nara (A)	18,2	0,0310	0,0312
» » Nara (D)	6,4	0,0109	0,0128

[1] «Научно-агрономический журнал», 1927, № 10.

Но далее явился вопрос, какого происхождения этот алюминий.

Первоначально Дайкухара предположил, что почвенные коллоиды адсорбируют соли алюминия по типу молекулярной (безобменной) адсорбции и что при обработке солями катион соли вытесняет алюминий, не затрагивая аниона, с которым Al был связан; ему казалось, что подтверждение этого объяснения дается следующим опытом: если почву, не обладающую обменной кислотностью, обработать раствором $AlCl_3$ и промыванием водой удалить избыточный алюминий, то такая почва при действии раствором KCl обнаруживает обменную кислотность, причем в солевой вытяжке содержится Al. Однако Каппен показал, что представление Дайкухара об адсорбции в этих случаях $AlCl_3$ (по типу молекулярной адсорбции) было неправильным: при такой обработке почвы раствором $AlCl_3$ поглощается только Al, а хлор не поглощается; он остается в растворе в соединении с теми катионами, которые вытеснил Al (Ca и др.); следовательно, алюминий поглощается по типу обменной адсорбции и в этом случае занимает такое же место в поглощающем комплексе, как Ca и другие катионы. Но если искусственно введенный в почву Al занимает места, обычно занятые Ca, Mg и K, то отсюда можно заключить, что и первично находившийся в почвах Al мог частично занимать такое же место; при опытах Дайкухара с влиянием KCl он мог переходить в раствор и давать $AlCl_3$ с теми ионами Cl', которые вводились с KCl. Такой взгляд и был высказан Каппеном; Гедройц же считал, что появление подвижного Al в этом случае есть явление вторичное, что первично кислые почвы содержат в поглощающем комплексе водород, но образующаяся при действии KCl на такую почву соляная кислота действует на $Al(OH)_3$ или на нестойкие соединения глинозема и поэтому в растворе появляется $AlCl_3$. Но если мы под обменной кислотностью будем разуметь как вытеснение из поглощающего комплекса иона водорода, так и иона Al, и учтем тот факт, что очень часто в солевой вытяжке часть кислотности зависит от присутствия соли Al, часть—от наличности иона водорода, то различие приведенных выше двух формулировок (Каппена и Гедройца) практически становится не очень существенным, тем более что и Каппен впоследствии признал наличность обменного водорода в кислых почвах; в солевых вытяжках из таких почв могут находиться и водород и алюминий одновременно. Различие взглядов касается только объяснения происхождения этого алюминия, в вопросе же о водороде это разногласие устранено.

В нашей лаборатории Асиниаи (1926) было показано, что наличие Al в солевой вытяжке находится в связи со значением pH, устанавливающимся при взаимодействии почвы с солевым раствором. А именно, больше алюминия было в вытяжках, имевших большую кислотность. Вот некоторые примеры:

Почва	pH солевой вытяжки	Найдено Al в процентах от общей титруемой кислотности вытяжки
Торфянисто-подзолистая Ленинградской области, горизонт A	4,1	98
Подзолистый суглинок—III квартал лесной дачи ТСХА	4,5	57
Подзолистый суглинок Витской опытной станции, горизонт A	4,7	33
Деградированный чернозем Шатиловской опытной станции	6,7	нет

Заметим, что участие алюминия в обменной кислотности (или вообще присутствие подвижного алюминия в почве) может иметь существенное значение, ибо растения сильнее страдают от повышенной кислотности в присутствии алюминия.

[1] Чтобы подойти к познанию природы обменной кислотности, Дайкухара изучал пути искусственного создания ее в почвах, первично лишенных этой кислотности. Один из таких путей состоит в действии на почву слабых кислот, но слишком сильное воздействие кислоты на почву снова снижает обменную кислотность; это стало теперь совершенно понятным, так

как слишком энергичное воздействие кислоты, вместо усиленного введения иона водорода в поглощающий комплекс, уже начинает разрушать минеральную часть этого комплекса; тогда уменьшается емкость поглощения, а следовательно, и количество обменного водорода. Вот пример из опытов, проведенных в лаборатории Каппена:

Концентрация кислоты		0,01-н	0,05-н	0,1-н
Обменная кислотность в миллилитрах 0,1-н NaOH	в случае HCOOH	4,23	5,90	7,27
	в случае H_2SO_4	7,64	7,28	4,25

В то время как при обработке почвы муравьиной кислотой обменная кислотность возрастала тем больше, чем больше была концентрация кислоты, в случае более сильной кислоты, как H_2SO_4, переход к концентрации 0,1-н вызвал уже снижение обменной кислотности вследствие разрушения алюмосиликатной части поглощающего комплекса.

При таком разрушении, основания (в том числе и алюминий) дают соли с вводимой кислотой, а неустойчивая кремневая кислота H_2SiO_3 быстро распадается на ангидрид SiO_2 и воду; тогда исчезают ее кислотные свойства, как и ионы водорода, способные к замещению (Каппен).

Важно наблюдение Дайкухара, что даже самая слабая кислота, которая в естественных условиях принимает большое участие в жизни почвы,—угольная кислота—может вызвать обменную кислотность, если ее вводить в больших количествах, например, обрабатывать невыветрившиеся минералы водой, насыщенной углекислотой. В опытах Каппена при обработке 100 частей почвы 4 л воды, насыщенной углекислотой, наблюдалось такое возрастание обменной кислотности:

	До промывания	После промывания
Почва 1	0,14 мл	2,24 мл
» 2	0,54 »	4,08 »

Для количественного определения обменной кислотности в какой-либо почве Дайкухара предложил повторно промывать ее нормальным раствором хлористого калия до тех пор, пока раствор этот не перестанет менять реакцию при прохождении через почву; но так как при этом приходится промывать почву 30—40 (и более) раз, то такой метод не мог получить распространения; тогда Дайкухара, изучив путем титрования последовательных фильтратов ход изменения степени их подкисления, предложил формулу, по которой можно определить обменную кислотность, имея только данные титрования первого и второго фильтрата, а для приближенного определения предложено было даже одно только показание титрования первого фильтрата умножать на 3,5*.

При переходе к большему разнообразию почв, чем те, с которыми работал Дайкухара, обнаружилось, что коэффициент этот не является постоянным для всех почвенных типов и что поэтому приходится предпочесть многократное промывание (до тех пор, пока фильтрат не перестанет подкисляться) и титрование соединенных фильтратов. Так как обменный водород слишком медленно вытесняется при промывании раствором KCl, то Гедройц предложил вместо него раствор $BaCl_2$, так как барий является более энергичным вытеснителем, благодаря двухвалентности и большему атомному весу. При титровании солевой вытяжки получается суммарное определение ее кислотности независимо от того, была ли она обусловлена наличностью HCl, или $AlCl_3$, или смесью того и другого.

Ввиду медленности вытеснения водорода и необходимости длительного промывания растворами солей представляет интерес другой путь—это титрование почвенной суспензии до pH =7,0. Такой прием очень упростил бы технику определения обменной кислотности, однако приходится считаться с тем, что при определении обменной кислотности промывание раствором «нейтральных» солей эта нейтральность понималась условно, так как на деле растворы KCl и $BaCl_2$ имеют pH равные не 7, а 5,5—6,0; поэтому титрование до pH =7,0 хотя и дает результаты, ценные сами по себе, но они не будут сравнимы с теми, которые получены с помощью растворов KCl и $BaCl_2$.

Следует указать еще, что при почвенных исследованиях широко применяется определение pH солевой вытяжки (чаще всего берут 1-н раствор KCl). В общем понятно, что чем выше обменная кислотность почвы, тем больше вытесняется ионов водорода при однократной

* По этому методу определение ведется так: 100 г почвы обрабатывают 250 мл раствора KCl. Затем берут 125 мл вытяжки и титруют 0,1-н раствором щелочи. Число миллилитров щелочи обозначают y_1. Для того чтобы отнести результаты титрования к навеске почвы (100 г), следует y_1 умножить на 2 (так как титровалась половина вытяжки). Кроме того, умножают еще на 1,75, делая поправку на неполноту вытеснения обменной кислотности при однократной обработке почвы раствором KCl. Произведение на 2 на 1,75 дает общий коэффициент 3,5.

обработке почвы раствором KCl. Однако определение pH не дает представления об абсолютных размерах обменной кислотности, а позволяет судить о ней лишь приблизительно. Для практических целей такие приблизительные определения часто бывают достаточными, преимущество же метода состоит в его простоте и быстроте выполнения; достаточно указать, что подобного рода определения можно выполнить не только в лаборатории, но и непосредственно в поле, для чего служит портативный прибор (универсальный индикатор[1]), смонтированный в небольшом ящике.

ГИДРОЛИТИЧЕСКАЯ КИСЛОТНОСТЬ

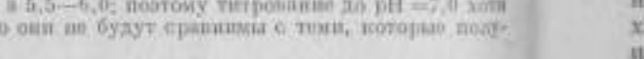
Из предыдущего изложения мы видели, что в составе твердой фазы почвы может находиться поглощенный водород, способный к обмену на катионы нейтральных солей (обменный водород или обменная кислотность почв). Но весь ли водород, находящийся в почвенных соединениях, является в этих условиях обменным, т. е. способным замещаться катионами нейтральных солей, или имеется еще какой-то остаток водорода, не принимающий участия в таком обмене, но поддающийся замещению при реакции с щелочами? Оказывается, что такой водород имеется.

В наличии такого водорода в почве убедиться весьма нетрудно: если промыть почву раствором $BaCl_2$ «до отказа», т. е. до вытеснения всего водорода, способного замещаться в этих условиях барием, а затем подействовать на такую почву раствором $Ba(OH)_2$, то, несмотря, казалось бы, на то, что почва насыщена барием, она при переходе к щелочной реакции окажется ненасыщенной и вновь свяжет некоторое количество бария; в то же время в растворе не обнаруживается никаких других катионов, кроме оставшегося непоглощенным избытка введенного бария. Это явление раньше называли «безобменным поглощением», однако ясно, что если в щелочной среде барий вытеснил какую-то часть водорода, то такой водород с ионом OH' даст воду и внешне поглощение бария будет казаться безобменным.

Чтобы было яснее, какие дремлющие силы средства можно «разбудить» щелочью, обратимся к более простым веществам, чем почвенные коллоиды, и воспользуемся ими как моделью.

Известно, что сильные и слабые кислоты отличаются разной степенью диссоциации в водных растворах.

Однако не только водород, связанный с различными анионами (например, Cl' и CH_3COO'), обладает разной наклонностью к диссоциации, но и различные атомы водорода, входящие в молекулу одной и той же кислоты, могут быть весьма различны в этом отношении. Возьмем, например, фосфорную кислоту; в ней один водород может быть замещен при сохранении кислой реакции среды (например, KH_2PO_4), тогда как замещение всех трех атомов водорода возможно только в щелочной среде. Среди почвенных коллоидов также встречаются тела, в которых часть атомов водорода находится в положении, аналогичном последнему атому в фосфорной кислоте; такой водород проявляет наклонность к диссоциации только в щелочной среде. Чтобы еще более приблизить случай с фосфорной кислотой к преобладающему в почвах типу труднорастворимых соединений, заместим два атома водорода не калием, а кальцием; тогда в таком малорастворимом фосфате, как $CaHPO_4$, третий (незамещенный) водород и будет отвечать тому, что условно называют гидролитической кислотностью; ни водная, ни солевая вытяжка этого водорода не обнаруживают, т. е., говоря языком химии почвы, $CaHPO_4$ не обладает обменной кислотностью, но в щелочной среде и этот водород проявляет наклонность к диссоциации, происходит его замещение с образованием воды:

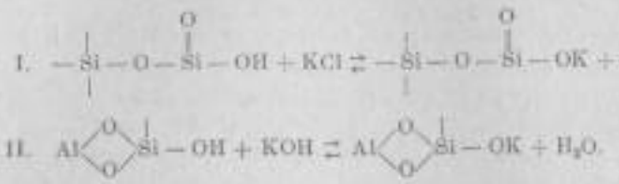


$$2CaHPO_4 + Ca(OH)_2 = Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2O.$$

По отношению к минеральной части поглощающего комплекса укажем на то, что в составе образующих ее алюмосиликатов могут присутствовать гидроксильные группы в разном

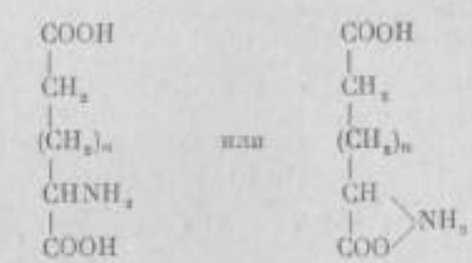
[1] Название «универсальный индикатор» относится собственно к применяемой для определения pH вытяжки смеси цветных индикаторов (например, бромтимолблау и метиларот), дающей гамму переходных окрасок в большом интервале pH.

положения, как это видно из схем, приведенных выше (см. стр. 134), в соответствии с чем водород этих групп будет обладать различной способностью к замещению на другие катионы (в зависимости от реакции среды), по такой, например, схеме (Тонас):



Приведенные примеры могут служить моделью для иллюстрации различий между обменной и гидролитической кислотностью, поскольку они связаны с ионами водорода, входящими в состав минеральной части поглощающего комплекса. Для органической части почвы такой же моделью могут служить дикарбоновые или поликарбоновые органические кислоты, в которых карбоксильные группы находятся в неодинаковом положении.

Представим себе, что мы имеем дикарбоновую кислоту жирного ряда с достаточно длинной цепью углеродных атомов, чтобы она отличалась трудной растворимостью (наподобие стеариновой кислоты) и в этом отношении походила на почвенные ацидоиды; но, кроме того, введем еще группу NH_2 по соседству с одной из карбоксильных групп: тогда мы будем иметь дело с соединением такого типа:



Если мы будем пропускать через тонко измельченное вещество такого строения раствор $BaCl_2$ (определить обменную кислотность по Гедройцу), то только одна карбоксильная группа (верхняя в приведенном изображении) будет проявлять наклонность частично поглощать Ba из раствора $BaCl_2$, и подкислять этот последний, другая же карбоксильная группа, имеющая рядом группу NH_2, будет оставаться пассивной в нейтральном растворе, и только при щелочной реакции и ее водород станет также активным и способным к замещению основаниями. Стоит взять вместо нейтральной соли свободную щелочь, NaOH или $Ba(OH)_2$, тогда можно вытеснить и этот водород; вместо него станет Na или Ba, а водород с группой OH даст воду по схеме:

$$RCOOH + NaOH = RCOONa + H_2O.$$

Вот эта-то вторая карбоксильная группа и будет носителем того свойства, которое применительно к почве обозначается как гидролитическая кислотность. Не только карбоксильные группы, ослабленные соседством группы NH_2, ведут себя таким образом, но и спиртовые группы способны при известной реакции давать соединения со щелочами (алькоголяты, феноляты). Так, известно, что сахара способны давать соединения с основаниями, причем замещаются атомы водорода в гидроксильных группах; сахарат кальция, малой растворимостью которого (на холоду) пользуются для выделения сахара из патоки, представляет соединение этого типа; но достаточно подкисления такой слабой кислотой, как угольная, чтобы разложить сахарат и получить свободную сахарозу.

Так как в гуминовых веществах содержатся и карбоксильные группы, притом с разной наклонностью к диссоциации, и фенольные группы, то понятно,

что эти вещества могут обнаруживать явления как обменной кислотности, так и гидролитической кислотности, смотря по тому, какова будет реакция солевого раствора, с которым они приходили в соприкосновение.

Таким образом, в почве, кроме водорода обменного, который можно вытеснить нейтральными солями, есть водород, который нейтральными солями не вытесняется, он как бы глубже сидит, но его можно вытянуть действием щелочи, и поэтому он не входит в учет при определении емкости поглощения в том смысле, как мы ее выше охарактеризовали. Этот «сверхучетный» в означенном смысле водород может содержаться как в минеральных соединениях, так и в органических.

Нахождение в почве такого водорода, который вступает в реакцию только в щелочной среде, получило название добавочной, или гидролитической, кислотности, хотя о кислотности здесь можно говорить лишь условно, в смысле наличности водорода, замещаемого только щелочами, но не обнаруживаемого ни в водной вытяжке, ни в солевой вытяжке, если последняя нейтральна.

Обнаружить присутствие в почве гидролитической кислотности можно не только действием свободных щелочей [как NaOH, KOH, $Ba(OH)_2$ и т. п.], но применяя растворы солей слабых кислот и сильных оснований, которые дают щелочную реакцию в результате гидролитической диссоциации.

Одно из первых наблюдений этого рода над почвенными коллоидами принадлежит Ван-Беммелену, который показал, что гидрат окиси кремния, не имеющий обменной кислотности, проявляет гидролитическую кислотность при взаимодействии с K_2CO_3 и Na_2HPO_4, отнимая часть оснований, причем образуется некоторое количество $KHCO_3$ и NaH_2PO_4 (однако не такое, чтобы среда становилась кислой).

Такого же порядка явление наблюдал Такэ на Бременской торфяной станции; он показал, что низинные торфа, даже лишенные обменной кислотности, все-таки разлагают, в известной степени, $CaCO_3$ с выделением CO_2 (на этом основан предложенный Такэ способ определения общей кислотности торфяных почв).

Но после 1910 г., по предложению Баумана и Гулли, наибольшее применение из числа гидролитически расщепляющихся солей нашли не карбонаты, а ацетаты—соли уксусной кислоты.

Нормальный раствор ацетата натрия (CH_3COONa) обнаруживает явления гидролитической диссоциации с образованием CH_3COOH и NaOH, но так как CH_3COOH является слабой кислотой, а NaOH—сильная щелочь, то нормальный раствор CH_3COONa имеет щелочную реакцию. Хотя степень диссоциации такого раствора, пока он не соприкасается с почвой, невелика (0,0032%), однако его щелочность достаточна, чтобы при взаимодействии с почвой вступили в реакцию атомы водорода в таких кислотных группировках, которые в нейтральной среде остались пассивными; часть натрия связывается ими, и соответствующее количество уксусной кислоты освобождается.

Было высказано мнение, что лучше было бы брать уксуснокислый кальций, чем натрий, так как в почвах распространен больше кальций, и для устранения почвенной кислотности мы также применяем углекислый кальций (или CaO). Но так как уже большое число определений сделано было с ацетатом натрия и поведение обоих ацетатов близко, то обычно продолжают применять раствор CH_3COONa, тем более что при употреблении того и другого ацетата, в зависимости от времени взбалтывания и концентрации раствора, получаются различные величины гидролитической кислотности и для получения постоянных результатов приходится устанавливать условные нормы.

Так, время взбалтывания влияет следующим образом на величину гидролитической кислотности, определяемую титрованием 125 мл фильтрата и выраженную в миллилитрах 0,1-н раствора NaOH:

Продолжительность взбалтывания	10 мин.	30 мин.	1 час	3 часа	6 часов
Ацетат Na	11,2	11,4	11,6	12,2	12,5 мл
» Ca	13,1	13,3	13,7	14,4	14,5 »

Кроме того, разложение ацетатов кислой почвой, конечно, повышается с увеличением концентрации раствора, как видно из следующих цифр:

Концентрация раствора	0,1-н	0,5-н	1-н	2-н
Ацетат Na . . .	6,2	10,3	12,5	13,5 мл
» Ca . . .	6,8	10,6	11,8	13,9 »

Температура тоже влияет на результат (а влияние времени и температуры говорит за химический характер процесса связывания кальция в этом случае); поэтому для получения сравнимых результатов принято вести взбалтывание при комнатной температуре в течение одного часа, причем на 100 г почвы берется 250 мл 1-н раствора ацетата (а титрованию подвергается 125 мл фильтрата)[1]. При этом раствор уксуснокислого натрия предварительно приводится к pH =8,2.

Однако однократной обработки почвы таким раствором недостаточно, чтобы заместить на натрий весь водород, способный замещаться при pH =8,2, так как после взбалтывания раствор уже не будет иметь того же pH, как до взбалтывания; поэтому нужно повторить обработку почвы таким же раствором до тех пор, пока реакция его не будет смещаться от взаимодействия с почвой. При этом подкисление фильтрата при повторении взбалтывания сначала уменьшается резко, а затем разница становится все меньше и меньше; сумма показаний титрования всех фильтратов ($y_1+y_2+y_3...$) выражает гидролитическую кислотность данной почвы.

Изучая изменение реакции последовательных фильтратов, Каппен пришел к выводу, что здесь приложима та же формула, которую дал Дайкухара для обменной кислотности; поэтому для упрощенного и приближенного определения гидролитической кислотности производит титрование только половины объема первого фильтрата (y_1) и полученное показание умножают на 3,5*; тогда получается величина, близкая к сумме показаний для десяти последовательных фильтратов.

Гидролитическая кислотность является первой формой кислотности, которая появляется при самом начале процесса обеднения почвы основаниями; только позднее присоединяется к ней обменная кислотность, что можно наблюдать при искусственном подкислении почвы путем ее обработки возрастающими дозами кислоты. Так, Каппен при обработке соляной кислотой (от 0,01 до 0,1-н) и последующем отмывании водой образовавшихся солей наблюдал такую последовательность нарастания гидролитической и появления обменной кислотности:

	Исходная почва	Почва, обработанная возрастающими количествами кислоты				
Гидролитическая кислотность (в миллилитрах 0,1-н раствора NaOH)	2,8	3,1	5,7	9,5	16,7	27,3
Обменная кислотность (в миллилитрах 0,1-н раствора NaOH)	0	0	0	0,30	1,0	9,7
pH почвы	7,75	7,54	6,81	6,03	4,91	4,25

Таким образом, гидролитическая кислотность возрастает тем сильнее, чем больше почва лишается оснований; однако при продолжении обработки почвы кислотой, гидролитическая кислотность может начать и убывать, а в то же время обменная кислотность будет дальше расти (до известного предела, см. стр. 150). Сообразно этому и в природе мы можем иметь почвы с сильно выраженной гидролитической кислотностью при очень слабой обменной кислотности; таковы черноземы в первоначальной стадии деградации и, наоборот, сильно оподзоленные кислые почвы имеют меньшую гидролитическую кислотность, чем деградированный чернозем, при сильно выраженной обменной кислотности.

[1] Или соответственно: 40 г почвы, 100 мл раствора ацетата и для титрования 50 мл фильтрата.

* Последующими работами было показано, что для всех почвенных разностей нельзя пользоваться одним и тем же коэфициентом и надо устанавливать соответствующее значение его для данной группы почв.

Гидролитическая кислотность сама по себе (при отсутствии обменной кислотности) не вредна для растений, но ее нужно учитывать при вопросе об отношении почвы к фосфоритованию и известкованию, так как она принимает участие в разложении почвой фосфоритной муки, а при известковании та грань (pH =8,2), до которой мы доходим при определении гидролитической кислотности, помогает избегнуть избытков извести, вредных для растения, и в то же время иметь уверенность в том, что мы заведомо устраняем вредную для растений обменную кислотность.

Если подытожить все то, что мы говорили выше о разных видах кислотности активной, обменной и гидролитической, то они характеризуются нахождением водорода в разных соединениях (или в разном положении даже в одном и том же соединении) следующим образом:

Вид кислотности	I активная	II обменная	III гидролитическая
Растворимость соединений, содержащих водород	Легкая	Очень трудная	Очень трудная
Наклонность к диссоциации . .	Значительная	Ничтожная	Ничтожная
Способ переведения водорода в раствор	Водная вытяжка	Солевая вытяжка	Щелочный раствор
С чем соединяется H в растворе	С тем же анионом	С анионом соли	С анионом щелочи, т. е. с группой OH
Характер получаемого соединения	Кислота	Кислота	Вода

Кроме того, нужно иметь в виду, что в литературе по почвенной кислотности обычно (если не сделано особых оговорок) под названием гидролитической кислотности приводятся данные, полученные непосредственно при обработке почвы раствором уксуснокислого натрия, между тем ясно, что всякий щелочный реактив будет реагировать не только с водородом «третьей очереди», но со всеми видами водорода, другими словами, такие показания охватывают на деле сумму всех видов кислотности, т. е. I+II+III (правильнее было бы сказать, что это есть показатель почвенной кислотности, включая и гидролитическую кислотность), и, чтобы получить отдельно данные для III вида кислотности, следовало бы из общего показателя вычесть величину обменной кислотности. Но обычно это предоставляется сделать читателю.

СТЕПЕНЬ НАСЫЩЕННОСТИ ПОЧВ ОСНОВАНИЯМИ

Почвы, содержащие водород в поглощающем комплексе, являются тем более кислыми, или, точнее, *ненасыщенными основаниями*, чем большая доля от общей емкости поглощения занята водородом. Учет количества поглощенных оснований, с одной стороны, и количества поглощенного водорода—с другой, дает возможность судить о степени насыщенности или ненасыщенности почвы.

Если мы обозначим обменную емкость поглощения через E, а сумму поглощенных оснований (т. е. сумму поглощенных катионов Ca, Mg, K и др., но без ионов водорода) через S, то степень насыщенности почвы основаниями можно выразить в процентах, как

$$\frac{S \cdot 100}{E}.$$

Представляет ли какой-либо практический интерес ненасыщенность почвы основаниями, если поглощенный водород находится в труднорастворимых соединениях и его нельзя учесть в водной вытяжке? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно учесть, при каких обстоятельствах этот поглощенный водород может в значительных количествах освобождаться из нерастворимого поглощающего

комплекса и переходить в ионной форме в почвенный раствор в соединении с теми или иными анионами. Это происходит в действительности под влиянием тех же приемов, какими мы выявляем скрытый водород в лабораториях, а именно, *этот поглощенный (или обменный) водород при соприкосновении с нейтральными солями замещается катионами вводимых солей и сам переходит в раствор, соединяясь с анионом взятой соли, отчего раствор делается кислым.*

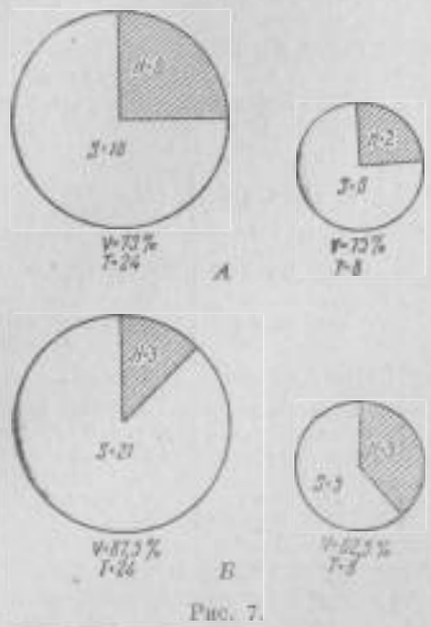


Рис. 7.

А так как *нейтральные соли мы вносим в почву в качестве удобрений, то это и может являться фактором превращения скрытой, или пассивной, кислотности в ленную, активную*, которая может причинять значительный вред растениям, если мы не примем мер к ее устранению. Особенно легко такой вред получается на почвах, обладающих обменной кислотностью, в том случае, если вносится, большое количество солей; это бывает, например, при употреблении низкопроцентных калийных солей, когда приходится вместе с необходимым количеством калия поневоле вносить большие количества хлористого натрия. В этих случаях, несмотря на устранение недостатка калия в почве, может получиться вред от сильного обогащения почвенного раствора ионами водорода. Во избежание этого в таких случаях приходится сопровождать внесение калийных (и других) солей предварительными мерами по обогащению почвы основаниями (известкование, заправка почвы фосфоритной мукой, внесение золы).

Так как емкость поглощения почвы зависит от pH, при котором определяются способные к обмену катионы, то понятно, что выражение степени насыщенности почвы будет также зависеть от того, какая величина емкости в данном случае имеется в виду. Емкость поглощения, по Гедройцу, представляет сумму эквивалентов содержащихся в почве поглощенных оснований и водорода обменной кислотности. Если же мы будем считаться не только с теми ионами водорода, которые способны замещаться при pH меньше 7,0 (обменная кислотность), а пойдем в сторону гидролитической кислотности и будем считать пределом насыщения pH =8,2 (как это предложил Каппен), тогда термин «насыщенность» получает другое содержание. А именно, тогда придется принимать за 100 сумму поглощенных оснований + гидролитическая кислотность (эта величина емкости обычно обозначается T) и в процентах от этой величины выражать количество поглощенных оснований. При таком способе выражения степени насыщенности почвы (обозначается V) получают величину:

$$V = \frac{S \cdot 100}{T}.$$

Следует иметь в виду, что только в том случае, когда почвы при одинаковой насыщенности имеют одну и ту же величину емкости, кислотность их будет одинаковой. Но две почвы могут иметь одинаковую степень насыщенности, например, 75%, и различную кислотность, если емкость поглощения у них разная, как это можно наглядно представить следующей схемой (см. рис. 7, *А*). Очевидно, что и при одинаковой величине кислотности степень насыщенности почв может быть разной (см. рис. 7, *Б*).

Различия в понимании степени насыщенности почвы, по Гедройцу и по Каппену, могут быть иллюстрированы такой схемой (см. рис. 8 на стр. 157).

В этой схеме S обозначает сумму поглощенных оснований, a—обменную кислотность, $(a + b)$—гидролитическую кислотность в обычном понимании[1], E—обменную емкость поглощения по Гедройцу (при pH<7,0), а T—емкость при pH =8,2.

В настоящее время при почвенных исследованиях чаще всего степень насыщенности выражают в процентах от T, т. е. принимая во внимание гидролитическую кислотность.

Однако можно было бы пойти и дальше в том же направлении (как это и было предложено голландским почвоведом Гиссинком), понимая под емкостью T то количество оснований, которое данная почва может удерживать в поглощенном состоянии при еще более щелочной реакции, чем при pH =8,2. Гиссинк предложил для этой цели обрабатывать почву раствором $Ba(OH)_2$ и после четырехдневного взаимодействия с раствором барита определить неопоглощенный $Ba(OH)_2$. Так как из щелочного раствора $Ba(OH)_2$ почва поглощает еще больше оснований, чем из раствора уксуснокислого натрия (или кальция), то емкость T по Гиссинку получается большей, чем T по Каппену. Поэтому здесь ненасыщенность получается значительно преувеличенной (обычно в естественных почвах по этому методу насыщенность не бывает выше 55%).

Рис. 8.

Вместо раствора $Ba(OH)_2$ Геринг предложил обрабатывать почву избытком $Ca(OH)_2$, затем пропускать через суспензию CO_2 (до исчезновения окраски с фенолфталеином) и по увеличению поглощенного кальция судить о кислотности почвы.

С точки зрения агрономической особый интерес представляют методы определения кислотности и ненасыщенности почвы, основанные на применении $CaCO_3$ в качестве нейтрализатора кислотности (результат взаимодействия можно учесть по количеству углекислоты, освобождающейся при разложении $CaCO_3$ в кислой почве). Эти методы ближе всего подходят к тем условиям, которые создаются в почве при внесении извести с целью устранения кислотности.

БУФЕРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Кроме планомерного воздействия на реакцию почвы, как это бывает при внесении извести в кислые почвы или при внесении подкислителей в щелочные почвы, в практике удобрения приходится считаться еще с побочным действием на эту реакцию некоторых удобрений, вносимых с другой целью, например, ради доставления растениям азота. Мы отмечали выше, что азотистые удобрения, например, могут оставлять в почве или кислые остатки, как H_2SO_4 и HCl, при внесении $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4Cl, или щелочные остатки (от $NaNO_3$); при частом внесении одного и того же типа удобрений без должного их чередования реакция почвы может делаться или более кислой или более щелочной, чем первоначально.

При накоплении одного и того же количества кислых или щелочных остатков разные почвы обнаружат неодинаковый сдвиг реакции, что можно воспроизвести в лаборатории при простом опыте прибавления возрастающих доз кислоты и щелочи к отдельным пробам почвы. Тогда мы увидим, что у одних почв реакция будет легко измениться, быстро удаляясь от нейтральной точки, другие же почвы проявляют большую стойкость в этом отношении и способны противостоять введению значительных количеств кислот и щелочей без заметной перемены первоначальной реакции. Эту способность почв противостоять сдвигу реакции называют *буферной способностью*.

Понятие буферности возникло первоначально в другой области, именно—физиологии, и лишь потом было приложено к почве. Было замечено, что жидкости, играющие видную роль в жизни организма, как, например, кровь, способны оказывать значительное противодействие изменению концентрации водородных ионов при введении разбавленных кислот или щелочей. Особенно ясно это сказалось при изучении деятельности ферментов, которые требуют определенного pH; оказалось, что в желудке господствует реакция, отвечающая оптимальному pH для пепсина, который пептонизирует белок; слюна имеет реакцию, отвечающую оптимальному pH для действия диастатического фермента; в кишечнике сок имеет pH, отвечающий оптимуму действия трипсина, и т. д.

[1] Т. е. включая кислотность обменную.

Тогда занялись изучением механизма, с помощью которого достигается эта устойчивость реакции физиологически важных жидкостей, и здесь оказались замешанными три рода явлений.

Во-первых, играет роль присутствие в растворе смесей из слабых кислот и их солей; такими комбинациями являются в организме животных карбонаты и углекислота, фосфаты и фосфорная кислота, у растений—органические кислоты (винная, яблочная, лимонная, щавелевая) и их соли. В таких смесях pH не отвечает содержанию в них свободных кислот, потому что в присутствии соли данной кислоты ее собственная диссоциация понижается. Если, например, мы имеем смесь уксусной кислоты и ее соли и внесем в этот раствор некоторое количество соляной кислоты, то не получим той концентрации ионов водорода, как при внесении соляной кислоты в чистую воду, потому что соляная кислота вытеснит уксусную кислоту из ее соли; получится исчезновение из раствора ионов водорода, потому что уксусная кислота вообще мало диссоциирована, и здесь ее диссоциация еще подавляется избытком ее соли. Точно так же, если внести в упомянутую смесь некоторое количество NaOH, то чистыя ионы водорода исчезают, для воды с ионами OH', часть уксусной кислоты дает CH_3COONa, но избыточная уксусная кислота снова даст известное количество ионов водорода, не особенно отличающееся от того, которое имелось до прибавки NaOH. Вот пример из опытов Михаэлиса, проделанных с так называемым стандартным раствором (50 мл 1-н раствора NaOH, 100 мл 1-н уксусной кислоты в 350 мл воды), имеющим pH =4,62; при прибавлении 5 мл децинормальной кислоты получается pH =4,6 (в воде было бы pH =2,3), а 5 мл щелочи дают pH =4,8 (вместо 11,4 в воде). Таким образом, смеси слабых кислот и их солей оказываются хорошо забуференными, защищенными от резких сдвигов pH при введении небольших количеств как кислот, так и щелочей.

Другой случай буферности представляет наличность тел амфотерного характера, способных вступать в соединение как с кислотами, так и с основаниями; такого рода амфотерными веществами являются белки и их компоненты—аминокислоты. Общая формула аминокислот $R(NH_2)COOH$ показывает, что в них есть карбоксильные группы, способные в щелочной среде проявлять замещение водорода тем или иным из катионов, и в них есть аминная группа, способная в кислой среде присоединить, например, молекулу HCl, совершенно подобно тому, как NH_3 дает NH_4Cl [т. е. $R(NH_2)COOH+HCl=R(NH_3Cl)COOH$].

Таким образом, амфотерные электролиты способны менять свой заряд и играть роль кислоты в щелочной среде, смягчая ее щелочность, а в кислой среде они играют роль основания и смягчают ее кислотность.

Третий фактор смягчения как кислотности, так и щелочности представляют тела с сильно развитой адсорбционной поверхностью; так, уголь способен адсорбировать как ионы водорода, так и гидроксила, и таким образом уменьшать отклонения от нейтральной реакции в ту и другую сторону.

В почвах мы имеем те же факторы для создания буферности, какие играют важную роль и в жизни организмов. Так, мы имеем слабые кислоты и их соли, как карбонаты и угольная кислота, как гуминовые кислоты, и солеобразные соединения их с основаниями; таковы алюмокремневые кислоты, могущие содержать в своем составе как водород, так и другие катионы.

Поэтому, если в почвенном растворе содержатся $Ca(HCO_3)_2$, то он является важным фактором буферности, так как при внесении кислоты образуется соль кальция и H_2CO_3, которая распадается на воду и CO_2, т. е. ионы водорода, внесенные с сильной кислотой, большей частью исчезают из раствора; при внесении $Ca(OH)_2$ получится $CaCO_3$ и щелочность смягчится. Но если этот буфер будет разрушен, то роль буфера в почве переходит к цеолитной и гуматной частям, которые при внесении кислот отдают свои основания и воспринимают вместо них водород, давая гуминовые и алюмокремневые кислоты; так как они очень мало растворимы и мало диссоциированы (являются типичными ацидоидами), то большая часть ионов водорода исчезает из раствора.

При продолжающемся подкислении присоединяется еще новый момент буферности—это образование солей алюминия, которые обнаруживают лишь слабую гидролитическую диссоциацию; однако, если этот фактор начинает играть заметную роль, то одно это уже может создать неблагоприятные условия для жизни растений, поэтому практически этот фактор буферности наименее интересен.

Точно так же и второй случай—участие амфолитоидов в придании устойчивости реакции —имеет место в почве. Не говоря о том, что почва содержит белки, образуемые бактериями и грибами, еще и гуминовые кислоты можно считать в известной мере амфолитоидами, так как они, кроме группы COOH, содержат также и аминные группы, а затем амфолитоидность может быть не чужда и некоторым минеральным составным частям почвы.

Наконец, адсорбционная способность почвенных коллоидов также сильно выражена. Но все же из трех отмеченных факторов буферности главная роль в почве принадлежит наличности слабых кислот и их солей.

Помимо углекислого кальция (роль которого особенно велика в почвах карбонатных), способность почв противостоять сдвигу реакции в кислую сторону зависит в первую очередь от богатства ее поглощенными основаниями, среди которых преобладает поглощенный кальций. Поэтому, чем больше емкость поглощения и чем выше насыщенность почвы основаниями, тем большее количество кислоты можно ввести в нее без риска создать вредную для растений кислотность, а следовательно, тем больше выдержит она удобрение такими солями, как сернокислый или хлористый аммоний, не только не изменяя заметно реакции, но и не обедняясь поглощенным кальцием настолько, чтобы могли измениться к худшему ее физические свойства. Насколько велики могут быть различия между почвами в этом отношении, видно из следующих примеров:

Емкость поглощения

	В процентах кальция	В миллиэквивалентах на 100 г
Мощный чернозем	1,5	75,0
Деградированный чернозем . .	0,55	27,5
Суглинок	0,115	5,75
Песчаная почва	0,023	1,15

Для того чтобы должным образом оценить значение этих цифр, нужно учесть, что 1% от веса почвы составляет (в абсолютных цифрах) только для пахотного слоя около 300 ц кальция на гектар (считая в данном случае на Ca, а не на CaO), а между тем и подпахотный горизонт в этом случае не может быть оставлен без внимания.

Кроме общего заключения о большой или малой буферности данной почвы, нужно иметь какой-либо способ выражения этого признака. Первое предложение этого рода сделано было Аррениусом; его способ состоит в прямом определении того сдвига реакции почвы, который вызывает последовательное прибавление возрастающего числа миллилитров децинор-

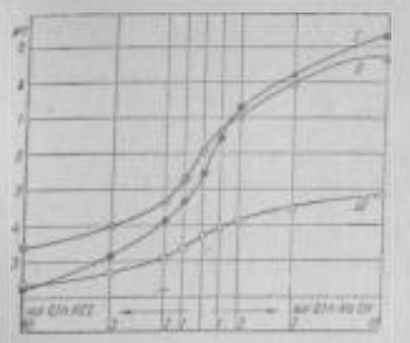


Рис. 9.

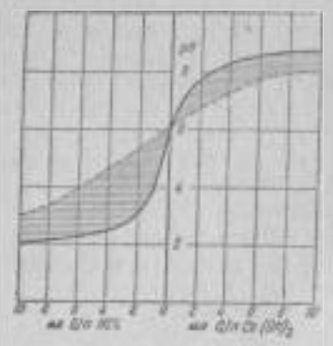


Рис. 10.

мальной кислоты в щелочи к ряду сосудов с одинаковой навеской почвы (10 г); после взбалтывания в фильтратах определяется pH и вычерчивается кривая титрования.

Такие кривые титрования изображены на рис. 9; они наглядно показывают различную буферную способность чернозема (*II*), подзолистой почвы (*I*) и торфа (*III*). Аррениус предлагал для характеристики буферности почвы по кривой титрования находить, какое число миллилитров децинормальной кислоты или щелочи вызывает сдвиг pH на единицу, и это число, отнесенное к 1 г почвы, принимать за характеристику буферной способности данной почвы; однако этот метод встретил возражения, которые не касаются экспериментальной части, а только способа выражения результата, а именно: что такое изменение величины pH на единицу? Ведь pH не есть прямое выражение концентрации ионов водорода, а отрицательный логарифм ее, поэтому не все равно—происходит ли сдвиг pH от 7,0 до 6,0 или от 5,0 до 4,0: по абсолютному количеству водорода одна величина превышает другую в 100 раз.

Поэтому было предложено измерять буферную способность прямым количеством водородных ионов, которые связываются почвой при действии на нее кислоты. Чтобы избежать больших цифр и отрицательных степеней, можно выражать количество связанных ионов водорода в процентах от количества внесенных с 1 мл деци-нормальной кислоты; тогда можно получить, например, для трех почв с убывающей буферностью такие числа:

99,75% 93,23% 81,37%

Большую наглядность дает метод, предложенный Тонборг-Иенсеном (Дания), основанный на измерении планиметром так называемых «буферных площадей», получаемых в графическом изображении следующим образом: кроме кривой титрования, на ту же самую диаграмму наносится другая, так называемая основная кривая. Эта основная кривая характеризует совершенно безбуферную почву. Основная кривая не наносится заранее на систему координат, как неподвижная, но она как бы сдвигается по оси абсцисс так, чтобы пересекать почвенную кривую как раз на срединной ординате (в качестве «безбуферной почвы» Иенсен брал песок, промытый кислотой; кривая здесь близка к тем, какими выражается изменение pH при нейтрализации свободных кислот и щелочей).

Так как в природе безбуферных почв не встречается, то «кислая» ветвь почвенной кривой титрования всегда будет итти выше такой же ветви основной кривой, а щелочная—ниже соответственной части основной кривой, и, смотря по буферности почвы, между основной кривой и почвенной кривой всегда будет заключаться больший или меньший промежуток; площадь этого промежутка служит масштабом буферности почвы (см. рис. 10).

СОСТАВ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ У РАЗНЫХ ПОЧВ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ

Так как присутствие водорода в поглощающем комплексе и вообще состав поглощенных катионов определяют не только реакцию почвенного раствора, но и ряд других важнейших свойств почвы, с которыми приходится считаться при внесении удобрений, то мы остановимся несколько подробнее на этом вопросе в связи с разными типами почвообразования.

В зависимости от состава поглощенных катионов можно различать следующие главные случаи:

1. Водород участвует в поглощающем комплексе (подзолистые почвы на севере и латеритные почвы на юге).

2. Поглощающий комплекс обменного водорода не содержит, его свойства определяются наличностью в нем главным образом кальция и некоторого количества магния (чернозем) или еще и натрия (солончаки и солонцы).

Из первой группы наиболее распространены *подзолистые почвы*, которые образуются в умеренном поясе и на севере при условиях вымывания дождевыми водами[1] всех растворимых веществ или веществ, способных постепенно переходить в растворимые формы благодаря гидролизующему действию воды на минеральные вещества почвы. Нужно заметить, что вода действует не одна, но во всякой почве при разложении растительных остатков образуется углекислота. Поэтому в условиях промывания в раствор постепенно переходит кальций из углекислого кальция и вымывается из почвы в виде двууглекислой соли $Ca(HCO_3)_2$. Вследствие этого подзолистые почвы, в отличие от южных почв, не содержат углекислого кальция, но, мало того, дальше действие воды с углекислотой направляется на основания поглощающего комплекса; они также переходят в раствор, и постепенно в поглощающий комплекс входит водород по такой схеме:

$$\left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}>Ca\\ >Ca\\ >Ca\end{matrix} + 2H_2CO_3 = \left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}-H\\ -H\\ >Ca\\ >Ca\end{matrix} + Ca(HCO_3)_2$$

Это вхождение водорода в поглощающий комплекс начинается лишь после того, как из почвы вымыт весь углекислый кальций. Пока же последний еще

[1] Происходит промывание почвы или нет—это зависит не только от количества осадков, но и от величины испарения; например, разница между климатом Москвы и Кубышина зависит не столько от количества осадков, сколько от различия в ходе испарения, так как при малом испарении преобладает движение воды вниз, в подпочву, а при сильном испарении преобладает движение воды вверх, и промывания почвы не происходит.

имеется, он защищает собой основания поглощающего комплекса от замещения водородом.

Процесс подзолообразования не ограничивается одним лишь вхождением водорода в поглощающий комплекс вместо вытесненных оснований, но затем водород воды, подкисленной углекислотой[1], начинает действовать разрушительно на самый поглощающий комплекс, разлагая сложное цеолитоподобное ядро на более простые соединения (окислы кремния, алюминия, железа). Таким образом, почва обедняется коллоидами, поглощающий комплекс уменьшается количественно, а остальная его часть оказывается более или менее ненасыщенной основаниями. В конце концов в сильно оподзоленных почвах мы имеем *малую емкость поглощения, значительную обменную кислотность и малую буферность*, а так как и гуматная часть поглощающего комплекса тоже в сильной степени подвергается разрушению, то бедные в то же время кальцием подзолы обычно обладают плохими физическими свойствами—именно они плохо сохраняют структуру и наклонны к заплыванию.

В качестве примера приведем следующие данные состава поглощенных катионов для *подзолистой почвы*:

Процентный состав поглощенных катионов (миллиэквивалентов)			Содержание поглощенных катионов (в процентах от веса почвы)		
H	Ca	Mg	H	Ca	Mg
39,4	40,5	20,1	0,0007	0,014	0,004

Еще большая доля приходится на водород в кислых и бедных золой моховых торфяниках, в то время как луговой торф содержит больше зольных веществ, и соответственно этому его поглощающий комплекс может содержать мало водорода и много кальция. Вот примеры:

Виды торфа	Процентный состав поглощенных катионов			
	H	Ca	Mg	NH_4
Моховой	79	11	3	6
Луговой	7	88	1	3

Как сказано выше, ненасыщенные почвы распространены в умеренном поясе и на севере. В тропических и субтропических местностях в виде исключения также могут получаться ненасыщенные почвы, хотя и иного типа, чем подзолы, а именно в случае чрезвычайно большого количества осадков образуются *латеритные почвы*, или *красноземы*. Такие почвы в пределах Союза мы, например, имеем на чайных плантациях Батумского побережья, где большое количество влаги (свыше 2 000 мм дождя) действует на почву в условиях повышенной температуры. Будучи сходны с подзолами по малой емкости поглощения, по значительному участию в заполнении этой емкости поглощенным водородом и бедности кальцием[2], латериты отличаются от подзолов накоплением иных остатков от разрушения поглощающего комплекса, а именно—гидратных окислов железа и алюминия, тогда как в подзолах накопляются значительные количества кремнекислоты. Кроме того, латеритные почвы отличаются проникновением процесса распада поглощающего комплекса на гораздо бо́льшую глубину, чем в случае подзолистых почв.

[1] Хотя угольная кислота и является слабой кислотой, но все же некоторая степень диссоциации H_2CO_3 на ионы H^+ и HCO_3' имеет место.

[2] Вот пример для красноземa из Чаквы:

	H	Ca	Mg
Процент поглощенных катионов в почве	0,0114	0,040	0,050
Процентный состав (миллиэквивалентов)	65,0	11,4	23,6

Кислотность этих почв мешает развитию культуры, например, люцерны, для которой климат этого района чрезвычайно благоприятен, но без предварительного известкования она не может расти на кислых почвах.

Среди почв, не содержащих поглощенного водорода, наибольшее значение имеет *черноземный тип*, распространенный в той зоне, где почвы не промываются на большую глубину даже зимней влагой, так что двууглекислый кальций и другие растворимые вещества не уходят в подпочву, но при начинающемся с ранней весны сильном испарении возвращаются обратно в почвенный горизонт. Поэтому почвенный слой здесь не обеднен углекислым кальцием, а наличность последнего защищает собой от вымывания кальций поглощающего комплекса; в связи с этим самый поглощающий комплекс отличается в черноземах особой стойкостью, причем в нем сильно представлена и гуматная часть. Раз почвенный раствор содержит кальций, а кальций обладает большой способностью поглощаться и вытеснять другие катионы, то в поглощающем комплексе черноземов, как правило, господствует кальций; второе место занимает магний, третье—калий. Поглощенный натрий и водород в типичных черноземах практически отсутствуют. Емкость поглощения чернозема, в связи со сказанным, является большой, а при большой емкости и высоком проценте органических веществ и физические свойства чернозема также весьма благоприятны: благодаря насыщенности кальцием, цеолитно-гуматная часть не наклонна к излишнему набуханию и сплыванию и хорошо удерживает структуру при смачивании дождевой водой. Примером для сказанного о составе катионов могут служить следующие данные для одного образца тульского чернозема:

Процентный состав поглощенных катионов (миллиэквивалентов)			Процентное содержание в почве поглощенных катионов		
Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
82,1	15,1	2,7	0,90	0,10	0,06

Все сказанное относится к типичным черноземам, но у северной границы черноземной полосы залегает переходная зона *деградированных черноземов*, в которых уже можно констатировать начало вхождения водородного иона в поглощающий комплекс на фоне происшедшего обеднения этих почв углекислым кальцием.

Иными свойствами, чем чернозем, обладают те почвы, в которых при отсутствии водорода в комплексе имеется *поглощенный натрий, как это бывает в почвах солончаковых*, содержащих много растворимых солей натрия. Поэтому, несмотря на большую энергию поглощения кальция, натрий здесь может частично войти в поглощающий комплекс благодаря количественному перевесу над кальцием. Стадию солончака можно получить искусственно, если обработать чернозем в несколько приемов раствором хлористого натрия, но интересно вот что: если мы затем отмоем хлористый натрий водой, то первоначального чернозема не получим, а вместо него образуется солонец щелочного характера, для которого характерно присутствие в почвенном растворе соды. Вхождение натрия в поглощающий комплекс делает почвенные коллоиды способными более набухать и сплываться от действия воды—отсюда легкая потеря структуры у таких почв. Раньше думали, что солонец можно улучшить, вымывая из него соду водой, но Гедройц показал, что тут дело вовсе не в наличности в почве готовой соды, а в способности почвы вновь постоянно образовывать соду; это зависит от наличности в поглощающем комплексе натрия. Механизм образования соды, разъясненный Гедройцем, может быть изображен следующими схемами:

$$\left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\\text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}Na\\Na\end{matrix} + CaCO_3 = \left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\\text{комплекс}\end{matrix}\right)Ca + Na_2CO_3;$$

или

$$\left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\\text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}Na\\Na\end{matrix} + {}_2Ca(HCO_3)_2 = \left(\begin{matrix}\text{Поглощающий}\\\text{комплекс}\end{matrix}\right)Ca + 2NaHCO_3.$$

Образованию соды, таким образом, способствует одновременное нахождение натрия в поглощающем комплексе и углекислого кальция в окружающей среде. Поэтому, сколько бы мы ни промывали солонец водой, если в нем есть

$CaCO_3$, то мы будем при последующих промываниях водой все время получать щелочные вытяжки вследствие образования Na_2CO_3. Таким образом, промывание не удаляет соды, ибо она вновь и вновь образуется путем взаимодействия между Na поглощающего комплекса и углекислым кальцием почвы. Чтобы избавиться от процесса образования соды, нужно изменить самый состав поглощающего комплекса почвы, заменить в нем натрий кальцием. Это достигается внесением гипса ($CaSO_4$), причем количеству гипса не должно быть высчитываемо по количеству готовой соды в почве, как это думали раньше (считая, что все действие гипса сводится к обменному разложению: $Na_2CO_3 + CaSO_4 = CaCO_3 + Na_2SO_4$), но оно должно быть гораздо большим, достаточным для вытеснения значительного количества Na из поглощающего комплекса, т. е. для *разрушения в корне аппарата содообразования* (причем Na_2SO_4 удаляется из почвы при ее промывании водой). В качестве примеров приведем следующие данные по составу поглощенных катионов в солонцах (в процентах):

Почвы	Процентное распределение поглощенных катионов			
	Ca	Mg	K	Na
Сильно солонцеватая (из Калифорнии)	0	0	14,6	85,4
Средне солонцеватая	35,7	25,5	14,0	24,7
Слабо солонцеватая (Челябинский район)	52,9	39,7	—	7,4

Благодаря присутствию натрия в поглощающем комплексе и щелочной реакции почвенного раствора коллоиды солонцовых почв особенно наклонны набухать и расплываться в воде, оттого эти почвы во влажном состоянии становятся вязкими и клейкими; при повышенной влагоемкости они обладают слабой водопроницаемостью и медленным поднятием воды; при высыхании такие почвы дают такую твердую массу, которая трудно поддается раздроблению.

Из сказанного видно, какую важную роль играет поглощающий комплекс в жизни почвы.

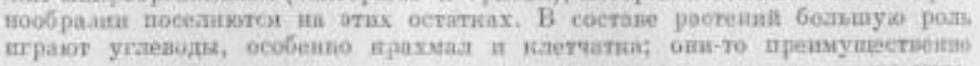
Хотя растения берут пищу в растворенном виде, но и содержание питательных веществ, и кислотность, и щелочность почвенного раствора зависят от состава поглощенных катионов, причем абсолютное их количество зависит от емкости поглощения данной почвы. Поэтому при внесении удобрений и при борьбе с кислотностью или щелочностью в почве недостаточно считаться с имеющимися в почвенном растворе нежелательными компонентами или с недостатком в нем питательных веществ. Нужно помнить, что чаще всего главный резерв составных частей почвенного раствора находится в поглощающем комплексе и без учета этого резерва невозможно регулирование химического состава почвенного раствора.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

Мы уже отмечали выше, что органическое вещество в своей коллоидной части обусловливает, наряду с алюмосиликатным (цеолитоподобным) комплексом, поглотительную способность почвы, но мы не входили ближе в рассмотрение состава почвенного гумуса и не останавливались на ряде других его свойств, имеющих значение с точки зрения применения удобрений. Так, органическое вещество почвы содержит азот, который при минерализации переходит в доступные для растений соединения. При разложении органических веществ выделяется углекислота, являющаяся растворяющим агентом для ряда минеральных веществ. Свободные гуминовые кислоты могут разлагать фосфорит. Далее, органическое вещество сильно повышает буферность почвы, а также может улучшать некоторые важные физические свойства почвы (прежде всего влагоемкость); оно же служит пищей для ряда микроорганизмов, и выделяемая последними углекислота диффундирует из почвы в прилежащие слои атмосферы,

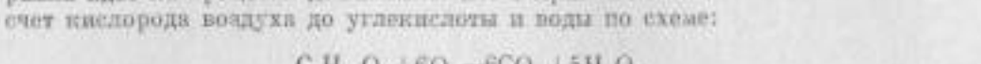
а это повышение процента углекислоты в воздухе, непосредственно омывающем листья культурных растений, повышает ассимиляционную деятельность последних. Кроме органического вещества, содержащегося в почве, мы вносим его с удобрениями (особенно в больших количествах в виде навоза и зеленого удобрения). Поэтому важно иметь представление о составе и общем характере превращений органических веществ в почве.

Главная роль при разложении растительных остатков в почве принадлежит микроорганизмам (бактериям и грибам), которые в большом числе и разнообразии поселяются на этих остатках. В составе растений большую роль играют углеводы, особенно крахмал и клетчатка; они-то преимущественно и дают пищу многочисленным микроорганизмам, причем главная трата материала идет на процессы дыхания. В итоге крахмал и клетчатка окисляются за счет кислорода воздуха до углекислоты и воды по схеме:



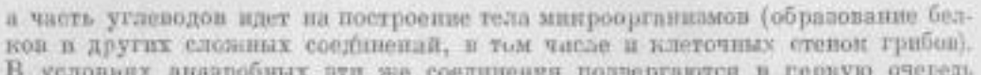
$$C_6H_{10}O_5+6O_2=6CO_2+5H_2O,$$

а часть углеводов идет на построение тела микроорганизмов (образование белков и других сложных соединений, в том числе и клеточных стенок грибов). В условиях анаэробных эти же соединения подвергаются в первую очередь распаду, хотя и по другому типу, преимущественно путем метанового брожения, по схеме:



$$C_6H_{10}O_5+H_2O=3CH_4+3CO_2.$$

Приведенные схемы являются лишь упрощенным выражением итога гораздо более сложных превращений крахмала и клетчатки. Так, оба эти тела являются сложными углеводами; их молекулы построены из большого числа частиц простого углевода—глюкозы—путем полимеризации с выделением воды по схеме:



$$nC_6H_{12}O_6=(C_6H_{10}O_5)_n+nH_2O.$$

При разложении бактерии и грибы с помощью выделяемых ими ферментов вызывают обратный процесс, т. е. расщепляют крахмал и клетчатку на частицы глюкозы и питаются последней. То же относится к заместителям клетчатки, так называемым гемицеллюлезам, которые отличаются от клетчатки меньшей стойкостью. Это также вещества углеводного типа, как и клетчатка, того же элементарного состава (C—44,4%, H—6,2% и O—49,4%), но они, во-первых, гораздо легче гидролизуются, чем клетчатка, именно гидролиз происходит при кипячении уже с 3% H_2SO_4, в то время как для клетчатки требуется 75% H_2SO_4 или 42% HCl. Во-вторых, они дают другие продукты гидролиза, а именно вместо глюкозы получаются или другие гексозы (галактоза, маннозa), или пентозы (ксилоза, арабиноза). Гемицеллюлезы служат, наряду с клетчаткой и другими углеводами, источником энергии для грибов и бактерий, а также идут на построение их тела (в том числе и на синтез белков). Повидимому, непосредственно все эти вещества углеводного типа прямо не дают гумуса, но косвенно, давая материал для образования белков, они впоследствии могут входить своим углеродом в азотистую часть гумуса.

Кроме клетчатки и гемицеллюлез, в клеточных стенках обычно содержится еще *лигнин*. Лигнин отличается тем, что он трудно поддается разложению микроорганизмами и потому при разложении растительных остатков в почве он может в конце концов оказаться в количестве, превышающем количество быстро разлагающейся клетчатки.

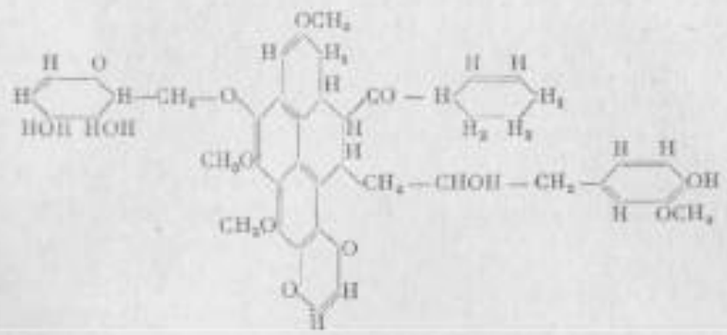
В химическом отношении лигнин представляет вещество совершенно иного состава, чем клетчатка. Это вещество не углеводного типа и характеризуется более высоким содержанием углерода (65,5%) и меньшим содержанием кислорода (28, 8%), по сравнению с клетчаткой или крахмалом (см. табл. на стр. 166).

Химическое строение тех звеньев, из которых построен лигнин, совсем особое; они относятся не к жирному ряду, как клетчатка, а к ароматическому. В их основе лежит бензольное ядро, осложненное вхождением боковых цепи-

чек. Наличием ароматических групп в составе лигнина и объясняется более высокое содержание в нем углерода, чем в клетчатке и вообще в углеводах.

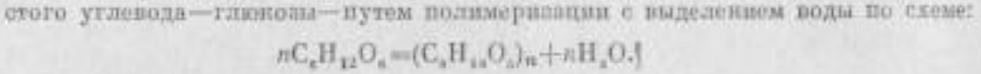
Состав и строение лигнина изучались многими исследователями, но вопрос этот до сих пор остается неразрешенным. Мы приведем здесь лишь одну из гипотетических структурных формул лигнина, предложенную Фуксом (W. Fuchs), ввиду того, что этот автор ставит в связь строение лигнина с предположительным (но еще более гипотетическим) строением гуминовой кислоты.

Фукс предложил следующую структурную формулу лигнина:



Существуют и другие гипотезы о строении лигнина (Класона, Фрейденберга и др.), которые дают иные схемы.

Как мы уже отметили, подобного рода формулы дают лишь приблизительное представление о характере строения лигнина, точно пока не установленного; так, например, тот же Фукс дает такую эмпирическую формулу лигнина, несколько отличающуюся от приведенной выше (структурной):



$$C_{22}H_{44}O_{10}(OCH_3)_2COOH(OH)_4CO.$$

Трудность точного определения элементарного состава лигнина и установления его строения состоит в том, что в процессе самого выделения и очистки лигнина возможны различные его изменения; поэтому отдельные препараты лигнина бывают не вполне идентичны.

Лигнин отличается по своим свойствам от клетчатки тем, что он не поддается гидролизу. Поэтому после обработки древесины крепкими кислотами, переводящими клетчатку в растворимые соединения, лигнин остается неизмененным, сохраняя очертания одревесневших клеток, как это видно при микроскопических исследованиях. Молодые клетки не содержат лигнина, и он откладается в стенках готовых клеток вторично (откуда и название «инкрустирующее вещество») и придает твердость деревенеющим тканям.

При большей стойкости против кислот лигнин легче, чем клетчатка, поддается действию щелочей и окислителей (в том числе действию хлора), на чем и основано удаление лигнина при получении целлюлозы в бумажном производстве. Обратно действуют бактериальные процессы при разложении органического вещества в почве: подобно действию кислот, они разрушают клетчатку и оставляют мало затронутым лигнин.

Точно так же может относительно возрастать процент *белковых веществ*, но не потому, чтобы они были действительно стойки против разложения; их кажущаяся устойчивость зависит от того, что более простые азотистые продукты, образующиеся при обмене веществ и при отмирании одних бактерий, идут на питание сменяющих их новых поколений, пока есть запас клетчатки или других безазотистых соединений, а потому общее количество белка может оставаться довольно постоянным. Так как общая масса органического вещества убывает, то наблюдается обычно возрастание процентного содержания в ней белковых веществ.

Чтобы лучше представить ход образования перегноя (процесс гумификации), остановимся на содержании углерода и других элементов в главных составных частях растительного организма и затем сопоставим эти данные с составом продуктов разложения (см. верхн. табл. на стр. 166).

	C	O	H	N
Клетчатка (и крахмал)	44,4%	49,4%	6,29%	0,%
Белок	53,0%	22,0%	6,8%	17,0%
Лигнин	65,5%	28,8%	5,7%	0%

Так как эти вещества представлены в растении неравномерно и клетчатка преобладает, то средний состав растительной массы не резко отличается от состава клетчатки. По мере же разложения обнаруживается, с одной стороны, возрастание процентного содержания для углерода и снижение его для кислорода; это является следствием того, что клетчатка легко разлагается, а лигнин более стоек; с другой стороны, возрастает относительное содержание азота, так как азот при отмирании одних организмов используется другими и обычно в газообразном виде не выделяется (уходит CO_2, CH_4 и вода).

В итоге постепенно состав разлагающейся массы приближается к составу гуминовой кислоты, которая считается главной составной частью гумуса; это видно из следующего сопоставления состава дубовых листьев в разных стадиях разложения и гуминовой кислоты (в процентах):

	C	O	H	N
Дубовые листья:				
свежие	50,6	42,1	6,0	1,3
полуразложившиеся	53,6	38,7	5,2	2,5
разложившиеся	56,2	36,1	4,9	2,8
Гуминовая кислота	58,5	32,5	5,0	3,5

В дальнейшем процесс обогащения углеродом идет еще дальше, и постепенно разлагающаяся масса приближается в этом отношении к лигнину; это видно, например, из следующего сопоставления состава торфа разного возраста (увеличивающегося от 1 к 3) с составом лигнина (в процентах):

		C	O	H	N
Торф	1)	57,8	36,0	5,4	0,8
	2)	62,0	30,7	5,2	2,1
	3)	64,1	26,8	5,0	4,1
Лигнин		65,5	28,8	5,7	0

Для характеристики направления этого процесса отметим, что в дальнейшем в течение геологических периодов он заканчивается образованием бурого и каменного угля[1].

Все сказанное выше намечает происхождение гумуса лишь в общих чертах, в виде некоторой схемы. На деле же гумус, сообразно своему происхождению, представляет собой сложную смесь как веществ, входивших в состав расте-

[1] Вот несколько ступеней этого дальнейшего процесса:

	C	O	H	N
Бурый уголь (лигнит)	69,5%	24,0%	5,6%	0,9%
Каменный уголь	83,2%	10,5%	5,1%	1,2%
Антрацит	95,0%	1,6%	1,6%	0,8%
Графит	99,9%	0%	0,1%	0%

ний[1] и частично не поддавшихся разложению, так и продуктов деятельности ряда разнообразных микроорганизмов; кроме того, в нем могут происходить и реакции чисто химического порядка (вторичный синтез), приводящие к образованию темноцветных продуктов (такова, например, реакция ряда аминокислот с углеводами). При действии на гумус различных растворителей (спирта, эфира, водных растворов щелочей и фтористого натрия) в них переходит большая или меньшая часть органического вещества, но меньше всего растворяется в воде, что и естественно, так как водорастворимые части растений первыми делаются добычей микроорганизмов.

Совершенно условно та часть гумуса, которая извлекается щелочами и осаждается из раствора кислотами, называется гуминовой кислотой, но это есть заведомо смесь весьма разнообразных соединений с различным содержанием не только углерода, водорода и кислорода, но также и азота, серы, фосфора и других зольных веществ. Что в эту смесь входит тела кислотного характера, это несомненно, так как присутствие характерных для органических кислот карбоксильных групп в ней доказано, но к ней примешиваются и тела другого типа, как, например, белки (из тела грибов и бактерий), ибо они тоже растворяются в щелочах и осаждаются кислотами.

Мульдер (1840) полагал, что главным продуктом разложения органических веществ является гуминовая кислота, получаемая путем обработки почвы щелочью и осаждением кислотой[2]; по Мульдеру, гуминовая кислота представляет в чистом виде безазотистое вещество состава $C_{24}H_{14}O_6$; если же на деле получаемые описанным путем препараты содержат азот и зольные вещества, то это обусловливается (по Мульдеру), кроме образования солей, загрязнением гуминовой кислоты различными примесями. Но так как эти примеси не удаляются повторным растворением и осаждением и «гуминовая кислота» не может быть освобождена от них общими химическими методами, как не поддающаяся ни перегонке, ни кристаллизации, то Мульдер (а за ним и другие авторы) стал получать искусственную гуминовую кислоту из сахара, действуя на него крепкими кислотами (H_2SO_4 и HCl); при этом молекула сахара отдает элементы воды, обогащается относительно углеродом и темноцветный продукт приобретает свойства кислоты (ацидоида). Конечно, если исходить из очищенного перекристаллизацией сахара, то продукт гумификации не содержит ни азота, ни зольных веществ, однако и здесь не удалось получать какого-либо индивидуального химического соединения, потому что такая гуминовая кислота тоже не перегоняется, не кристаллизуется и не поддается гидролизу, поэтому и дока-

[1] В состав растения входят, кроме названных выше составных частей клеточных стенок (клетчатка, гемицеллюлоза, лигнина) и белков, еще жиры, воски, смолы, алкалоиды, глюкозиды, органические кислоты, пектины, дубильные вещества и прочие соединения весьма разнообразного состава.

[2] Мульдер различал в гумусе нейтральные тела—гумин и ульмин (теперь к ним часто применяется термин гумусовые угли), нерастворимые в разведенных щелочах (но при нагревании с крепкими щелочами переходящие в гуминовую кислоту), затем кислоты гуминовую и ульминовую, растворимые в слабых щелочах и осаждаемые кислотами; при этом остаются в кислом растворе кислоты, описанные Мульдером как креновая и апокреновая кислоты. Но дальше отдельное существование ульминовой кислоты было отвергнуто, а в фильтрате, который должен был бы содержать креновую и апокреновую кислоты, была обнаружена сложная смесь веществ. По позднейшим исследованиям (Свен Оден, Шмук и др.), имеет место такое примерное соотношение отдельных составных частей гумуса (понимая под ними не индивидуумы, а группы веществ, характеризуемых их отношением к растворителям):

I. Нерастворимо в щелочной вытяжке (гумусовые угли, гумин и ульмин Мульдера) . . . . . около 20%

II. Переходит в щелочную вытяжку:

1) гуминовая кислота (осаждается при подкислении раствора) . . . . . 40—45%

2) гематомелановая кислота (растворимая в спирту часть гуминовой кислоты) . . . . . 10—15%

3) остающаяся в растворе после подкисления щелочной вытяжки смесь веществ (бывшая креновая и апокреновая кислоты Мульдера или фульвокислоты по С. Одену) . . . . . около 20%

зать тождество хотя бы основного ядра такой гуминовой кислоты с ее природными аналогами было невозможно.

Далее оказалось, что присутствие азота в природной гуминовой кислоте не может быть объяснено образованием аммиачных солей с воображаемой гуминовой кислотой состава $C_n(H_2O)_{n-x}$, потому что азот этот не удаляется при нагревании со щелочью, да и зольные вещества природной гуминовой кислоты ведут себя своеобразно, переходя вместе с ней в щелочную вытяжку и осаждаясь в кислой среде (тогда как, например, фосфорная кислота в минеральных примесях должна бы вести себя обратно).

Далее было показано еще в восьмидесятых годах прошлого столетия (Эггерцем в Швеции), что препараты гуминовой кислоты, полученные по Мульдеру из различных почв, имеют весьма разнородный состав в зависимости от исходного материала; вот какие колебания состава этих осадков (гуминовой кислоты) для разных почв наблюдались Эггерцем (в процентах):

C	от 40 до 56	SiO_2	от 0,37 до 10,5
H	» 4,3 » 6,6	P_2O_5	» 0,15 » 7,5
O	» 35 » 40	S	» 0,5 » 2,09
N	» 2,6 » 6,0	Fe_2O_3 и Al_2O_3	» 0,3 » 3,9

Ряд работ с выделением из гумуса определенных химических соединений произвели в Америке Шрейнер и Шорей; они извлекали из почвы органическое вещество 2% раствором NaOH, причем в раствор перешла большая часть гумуса (75% по углероду); затем они осаждали из раствора гуминовую кислоту, в которую перешло 36,6% от всего углерода почвы, и подвергали разделению с помощью различных растворителей (спирта, петролейного эфира и пр.) как осадок (гуминовую кислоту), так и фильтрат, содержащий креновую и апокреновую кислоты (по обычному представлению); при этом им удалось как из осадка, так и из раствора выделить определенные химические соединения, как диоксистеариновая кислота, янтарная кислота, фитостерин, ксантин, аргинин, гистидин и пр. Если бы при этом был проведен еще количественный учет, то пришлось бы заключить, что гуминовая кислота есть смесь таких-то веществ; однако до этого весьма далеко—количество извлеченных веществ невелико, и потому возможно и другое заключение—что все выделенные вещества являются просто примесями к гуминовой, креновой и апокреновой кислотам.

Кроме того, было отмечено (А. А. Шмук), что выделенные американскими авторами компоненты гуминовой кислоты не содержат азота и не имеют той интенсивной темной окраски, какая свойственна гуминовой кислоте, как это видно из следующих сопоставлений:

Осадок от соляной кислоты (гуминовая кислота)	Фильтрат (креновая и апокреновая кислоты)
Фитостерин, Агростерин } $C_{26}H_{44}O$	Диоксистеариновая кислота $C_{17}H_{33}(OH)_2COOH$
Глицериды жирных кислот	Пиколин-карбоновая кислота $C_7H_7NO_2$
Парафиновая кислота, Лигноцериновая кислота } $C_{24}H_{48}O_2$	Ксантин $C_5H_4O_2N_4$
	Гипоксантин $C_5H_4ON_4$
Агроцериновая кислота $C_{27}H_{54}O_2$	Цитозин $C_4H_5ON_3$
Смоляные кислоты $C_{20}H_{34}O_2$	Аргинин $C_6H_{14}O_2N_4$
	Гистидин $C_6H_9O_2N_3$
	Пентозаны $(C_5H_8O_4)_n$

Если бы гуминовая кислота слагалась из приведенных здесь компонентов, то она была бы безазотистым веществом, что не отвечает действительности. Кроме того, гуминовая кислота содержит в разных случаях от 56 до 61% углерода, те же вещества, которые выделены Шрейнером, гораздо богаче углеродом—они содержат его от 72 до 80%.

Таким образом, в том препарате, который Мульдер назвал гуминовой кислотой, содержится ряд веществ разнообразного состава. Конечно, можно сказать, что, несмотря на эти примеси, тот остаток от обработки нейтральными растворителями, который растворяется только в щелочах, представляет собой все-таки гуминовую кислоту; однако не доказано (и по существу невероятно), чтобы этот остаток представлял собой какое-то однородное вещество; он неизбежно должен представлять смесь веществ, растворяемых в щелочи и осаждаемых кислотой, а эти вещества не могут быть разделены ни перегонкой, ни кристаллизацией, и пока не найдено пути к их разделению; по суммарному анализу этих препаратов трудно судить о составе и о природе гуминовой кислоты.

Неопределенность состава гуминовых кислот (и, в частности, их зольной части) дала повод в начальный период развития учения о коллоидах предполагать, что способность гумуса присоединять минеральные вещества основана не на наличности карбоксильных групп, а на общем свойстве коллоидов давать адсорбционные соединения неопределенного состава (Беммелен); это мнение нашло яркое выражение в позднейших работах Баумана и Гулли (1909), которые стали отрицать самое существование гуминовых кислот, полагая, что кажущаяся кислотность гумуса есть следствие адсорбции оснований из растворов нейтральных солей. Однако этими авторами было упущено из виду, что в коллоидальном состоянии могут находиться тела как с кислотными, так и с основными или нейтральными свойствами, что самые типичные коллоиды, если они химически нейтральны (как, например, крахмал и клетчатка), не вызывают тех явлений, какие вызывает гуминовая кислота (например, не вытесняют фосфорной кислоты из трехкальциевого фосфата, не инвертируют сахарозы, не вызывают иодной реакции с крахмалом в присутствии KJ и пр.).

Но не следует смешивать вопрос об индивидуальности гуминовой кислоты в смысле Мульдера с вопросом о кислотности препаратов, условно обозначаемых этим термином: последующие работы с ясностью подтвердили, что в этом случае мы действительно имеем дело с кислотами; так, А. А. Шмук доказал наличность карбоксильных групп в гуминовой кислоте общими методами органической химии (получение сложных эфиров действием сухого хлороводорода с последующим омылением этих эфиров); к таким же выводам пришли Свен Оден в Швеции и Эренберг в Германии, работая другими методами.

Свен Оден пришел к выводу, что гуминовые кислоты являются действительно кислотами и дают со щелочами соли, на основании следующих опытов: он прибавлял возрастающие количества аммиака к навеске гуминовой кислоты в воде, с одной стороны, и к чистой воде—с другой, последовательно определяя изменение электропроводности. Здесь возможны были три случая: 1) если гуминовая кислота не оказывает влияния на электропроводность, то это означало бы отсутствие взаимодействия ее с аммиаком; 2) или она снижает электропроводность аммиачного раствора—это говорило бы за явление молекулярной адсорбции; 3) или электропроводность при взаимодействии аммиака с гуминовой кислотой возрастает—это должно говорить за образование аммиачной соли гуминовой кислоты, за действительно кислотные свойства последней. Опыт показал, что имеет место третий случай—электропроводность возрастала, следовательно, имело место образование аммиачной соли гуминовой кислоты.

В настоящее время, на основании совокупности исследований, считается, что гуминовые кислоты имеют группы COOH, фенольные группы и, кроме того, первичные и вторичные спиртовые группы (т. е. CH_2OH и CHOH). Кроме того, есть группа CO и CH_3O (метоксильная группа). Некоторые данные говорят о наличии циклически связанного кислорода (—O—) и двойных связей (CH =CH) в гуминовой кислоте. Стадников и его сотрудники показали, что при взаимодействии гуминовой кислоты, выделенной из углей, с раствором $Ba(OH)_2$ барий поглощается не только карбоксильными группами, но и фенольными.

Наличность в гуминовой кислоте гидроксилов не только в карбоксильных, но и спиртовых (фенольных) группах доказана Стадниковым таким образом: сначала получаются в кислой среде сложные эфиры, например, с метиловым спиртом при пропускании сухого хлороводорода, при этом замещение гидроксилов на метоксилы происходит только в карбоксильных группах (и количество их может быть учтено последующим омылением и определением металлового спирта). После замещения карбоксильных групп (что вызывает уменьшение способности гуминовых кислот связывать $Ba(OH)_2$) переходят к замещению спиртовых групп, для чего реакции ведутся в щелочной среде (с помощью диаметана), причем опять-таки количество спиртовых (преимущественно фенольных) гидроксилов может быть количественно определено последующим разложением эфиров действием HJ и определением CH_3J. При

этом совершенно параллельно со степенью метилирования изменяется способность гуминовой кислоты связывать барий, так как образование сложных эфиров, связывая группы COOH, навело устраняет способность поглощения Ba из раствора $BaCl_2$ и уменьшает поглощение из раствора $Ba(OH)_2$, а замещение спиртовых групп прекращает поглощение бария и в щелочной среде; другими словами, образование сложных эфиров, в котором участвуется группа COOH, устраняет обменную кислотность, а следующий этим метилирования и образования соединений типа простых эфиров устраняет и гидролитическую кислотность гуминовой кислоты.

Таким образом, схематически взаимодействие гуминовой кислоты с раствором $Ba(OH)_2$ можно представить так:

$$\text{I.}\quad R\left\{\begin{matrix}(OH)_x\\(COOH)_y\end{matrix}\right. + \frac{1}{2}yBa(OH)_2 \rightleftarrows R\left\{\begin{matrix}(OH)_x\\[(COO)_2Ba]_{\frac{y}{2}}\end{matrix}\right. + yH_2O;$$

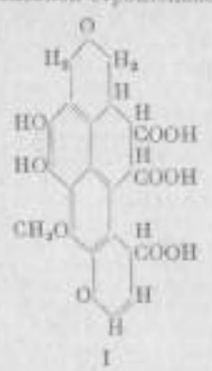
$$\text{II.}\quad R\left\{\begin{matrix}(OH)_x\\[(COO)_2Ba]_{\frac{y}{2}}\end{matrix}\right. + \frac{1}{2}xBa(OH)_2 \rightleftarrows R\left\{\begin{matrix}(O_2Ba)_{\frac{x}{2}}\\[(COO)_2Ba]_{\frac{y}{2}}\end{matrix}\right. + xH_2O.$$

Образующиеся в результате подобного рода реакций гуматы обладают разными свойствами, в зависимости от природы оснований и от степени замещенности водорода гуминовых кислот. Так, например, Сван Оден при введении возрастающих количеств NaOH наблюдал такие ступени изменения реакции растворов гумата натрия, сообразно последовательному замещению атомов водорода с разной валентностью и диссоциации (R обозначает здесь сложный радикал кислоты):

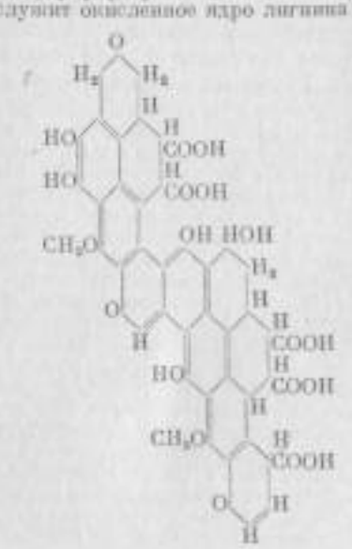
RH_3Na	pH	около 5,0
RH_2Na_2	pH	» 7,0
$RHNa_3$	pH	» 9,0
RNa_4	pH	» 11,0

Гуматы щелочных металлов «растворимы» в воде, образуя коллоидные, а при некоторых условиях, повидимому, и молекулярные растворы. Гуматы кальция в воде нерастворимы, гуматы же магния в этом отношении стоят ближе к гуматам щелочных металлов. Гуматы железа и алюминия являются наименее растворимыми.

На основании близости состава метилированных нитропроизводных лигнина и гуминовых кислот Фунс предлагает структурную формулу гуминовой кислоты (помещена II), в которой основной строительной единицей служит окисленное ядро лигнина (помещено I).



I



II

По Фунсу, при полимеризации ядер лигнина образуются высокомолекулярные соединения—гуминовые кислоты[1]. Но сам автор считает, что его формула гуминовой кислоты не имеет того значения, которое складывается в структурные формулы строго определенных кристаллизующихся органических веществ. Как справедливо отмечает И. В. Тюрин, «струк-

[1] Подробнее см. И. В. Тюрин. Органическое вещество почвы, 1937 г.

турная формула Фунса дает лишь общую идею возможного строения гуминовых кислот, в основе которой лежит представление о наличии конденсированной циклической группировки, состоящей из бензольных, гидроароматических и гетероциклических ядер; с этой конденсированной системой связаны в качестве боковых групп карбоксилы, гидроксилы и отчасти метоксилы»[1].

Но мы должны сказать, кроме того, что обнаружение в препаратах гуминовой кислоты разных группировок не дает еще права заключить, что все они находятся в молекуле какого-либо одного вещества; они могут находиться и в молекулах разных веществ, одновременно присутствующих, и до тех пор, пока не удалось выделить из этой смеси, которую мы условно называем гуминовой кислотой, определенных химических индивидуумов, говорить о формулах строения гуминовой кислоты несколько преждевременно. Выделение же индивидуальных соединений из гуминовой кислоты крайне затрудняется тем, что гуминовые кислоты неспособны кристаллизоваться и (тем более) перегонятся без разложения; также не найдено пока и других методов для получения химических индивидуумов из тех осадков, которые обозначаются именем гуминовой кислоты[2].

Немало разногласий вызвал вопрос о том, в каком виде в органическом веществе почвы находится азот.

Первоначальное предположение, что это только азот аммиака, связанного с гуминовой кислотой по типу аммиачной соли, как было уже сказано, скоро оказалось не отвечающим фактам (при отгонке с магнезией этот азот не удаляется в виде аммиака); но затем было констатировано, что если даже искусственно ввести аммиак, то при высушивании такого препарата аммиак переходит в какие-то более прочные соединения (амиды) и не может быть более обнаружен путем отгонки с магнезией (опыты Тархова в Петровской академии в 1881 г. и позднейшие опыты Эггерца в Швеции).

В последнее время все более обращает на себя внимание взгляд американского исследователя Ваксмана (о котором будет говориться ниже), что в природной гуминовой кислоте главная часть азота находится в виде белков, которые также растворяются в щелочах и осаждаются кислотами, а потому должны попадать в препарат гуминовой кислоты. По этому поводу уместно напомнить, что подобные взгляды у нас развивал еще в конце прошлого столетия П. А. Костычев, применивший общие методы определения азота белков к гумусу чернозема. Те черноземы, которые исследовал Костычев, содержали около 5% азота в органическом веществе; относительное постоянство этой цифры он объяснял так: почвы эти населены массой различных микроорганизмов, которые окисляют органическое вещество в углекислоту и воду. Если почва получает запас углеводов в виде соломистого навоза или пожнивных остатков, то микроорганизмы деятельно принимаются за их разложение, процент азота постепенно будет расти (вследствие траты углеводов на дыхание) и дойдет, наконец, до 5%—это ровно столько азота, сколько содержится его в тканях самого организма (т. е. грибов и бактерий, по Костычеву). Дальше затруднется размножение их, и вследствие недостатка углеводов начинается частичное отмирание; азот будет освобождаться в форме NH_3 и будет улавливаться корнями растений или вымываться в подпочву (после перехода в нитратный азот); содержание его в органическом веществе не повысится более, чем это отвечает содержанию азота в теле грибов. Таким образом, по Костычеву, микроорганизмы почвы являются регулятором содержания азота в органическом веществе ее.

При всем интересе этого построения необходимо отметить, что заведомо не весь азот в почве, переходящий в осадок от гидрата окиси меди, является белковым азотом.

[1] И. В. Тюрин. Органическое вещество почвы. 1937 г., стр. 121—122.

[2] В последнее время для выяснения строения и структуры почвенных гуминовых кислот был применен рентгенографический метод (см. И. Д. Седлецкий. Строение и свойства гуминовой кислоты, 1937 г.). Ранее этими методами было показано, что, например, клетчатка, лигнин, крахмал, некоторые белки и другие высокомолекулярные органические соединения, не образующие видимых кристаллов, имеют все же внутреннее микрокристаллическое строение. Исследования Седлецкого показали, что гуминовые кислоты, выделенные обычными методами из торфов и почв, имеют такое микрокристаллическое строение, близкое к лигнину (однако этим нисколько не повышаются шансы на получение макрокристаллов гуминовой кислоты, так как лигнин тоже таких кристаллов не образует).

Известным французским химиком Бертло было высказано предположение, что азот в гуминах находится в виде амидных или аминных групп. Этому предположению дано было фактическое подтверждение в 1900 г. в лаборатории проф. Демьянова работой, в которой применены были общие химические методы определения азота в аминных и амидных группах (типа RNH_2COOH и $RCONH_2$), а именно—разложение аминных групп азотистой кислотой (при этом выделяется свободный азот, объем которого может быть измерен, а на место группы NH_2 становится группа OH). Амидные группы определяются отщеплением их (в виде аммиака) при кипячении с разведенными кислотами и последующей отгонкой аммиака с магнезией из нейтрализованного раствора.

Оказалось, что аминный азот гораздо сильнее представлен в гуминах, чем амидный, но всего азота этими путями выделить не удалось, и значительная часть его остается в форме, не участвующей в вышеуказанных реакциях.

Так, например, для препаратов гуминовой кислоты (из черноземных почв) общее содержание азота и распределение его по группам было следующим:

Почвы	Процент общего азота в гуминовой кислоте	От всего азота приходится на		
		азот аминокислот $R(NH_2)COOH$	азот амидов $RCONH_2$	остальной азот гуминовой кислоты
№ 1 (Горьковской области)	2,73	49,1%	11,3%	39,6%
№ 2 (Куйбышевской области)	3,33	70,3%	9,6%	20,1%
№ 3 (Тульской области)	4,59	22,0%	10,5%	67,5%

Такие определения, позволяя до известной степени судить о подготовленности азота гумуса к переходу в более простые соединения под влиянием различных агентов (если исходить из предположения, что амидный азот наиболее близок к отщеплению в виде аммиака, прочнее связан аминный азот и еще прочнее остальной азот гуминов), ничего не говорят о том, какое участие принимают белки в этом сложном комплексе. Но есть другой способ подхода к этому вопросу—это приложение к гуминовой кислоте такого же процесса гидролиза (нагревание с соляной кислотой при кипячении), который применяется при изучении ближайшего состава белков.

Было показано (работа Сузуки), что при этом действительно получаются частично типичные продукты гидролиза белковых веществ (обычные аминокислоты—лейцин, тирозин, аспарагиновая кислота, лизин, аргинин и пр.), но суммарный выход их далеко не отвечает общему количеству азота в гуминовой кислоте.

Тот факт, что содержание азота в препаратах гуминовой кислоты колеблется обычно от 3,3 до 5%, показывает, что о преобладании белка в гуминовой кислоте (в виде ли примеси или как компонента некоторого комплекса) здесь говорить не приходится, так как белки содержат 16—18% азота; следовательно, здесь должны принимать участие какие-то безазотистые или не столь богатые азотом компоненты; их нужно, вероятно, искать среди тех составных частей высших растений, которые трудно поддаются разложению или которые вторично образуются низшими организмами, питающимися растительными остатками; так как клетчатка и другие углеводы разлагаются легко, то некоторые авторы обратили внимание на возможную роль производных ароматического ряда, как дубильные и «инкрустирующие» вещества (Гоппе-Зейлер—1889, Дегерен—1892, Слезкин—1900). Позднее (1911—1917) в работах Трусова (лаборатория Кравкова) мы находим также утверждение, что главная роль в образовании гумуса принадлежит не углеводам, а веществам циклического строения, содержащим пиррольные и бензольные ядра, дающие продукты замещения и уплотнения; сюда относятся некоторые компоненты белковой молекулы (пролин, тирозин, триптофан) и *лигнина* (хиноидная группа), полифенолы (пирокатехин, резорцин, гидрохинон, пирогаллол) и дубильные вещества; при этом в образовании гуминов принимают участие окислительные процессы (в связи с этим стоит факт, что оксидазы способствуют образованию темноцветных продуктов), таково, например, потемнение многих растительных срезов и соков на воздухе.

Трусов пришел к выводу, что гуминовой кислоты, как химического индивидуума, не существует и то, что обозначают этим именем, есть смесь разнообразнейших соединений, среди которых, несомненно, присутствуют и кислоты.

Наиболее видным представителем взгляда, что к составу гумуса нужно прежде всего подходить с хорошим знанием ближайшего состава растений и затем уже следить, как эта сложная смесь изменяется под влиянием микроорганизмов, является в последнее время Ваксман (США), давший весьма значительный ряд экспериментальных работ по вопросам о превращении органических веществ в почве.

Свои общие взгляды на образование почвенного гумуса Ваксман формулирует следующим образом:

1. Органические вещества почвы вовсе не разлагаются по какой-то одной схеме, как единое целое, так как в них входят все составные части растения, следовательно, при разложении имеют место *многообразные процессы*.

2. Организмы, вызывающие разложение, также могут быть различны, притом не только в зависимости от разнообразия субстрата, но и в зависимости от условий среды (температура, влага, состав солей), следовательно, и по этой причине возможен также *различный ход распада* растительных остатков.

3. Эти организмы *не только разрушают, но и синтезируют различные вещества*, и это тоже вносит свои различия, зависящие от вида организмов.

Поэтому Ваксман считает неправильным сравнение микроорганизмов с катализаторами, только ускоряющими ход реакции,—они изменяют самый характер реакции и влияют на состав гумуса.

В связи со сказанным Ваксман рассматривает органическое вещество почвы (или почвенный гумус) как смесь темноокрашенных аморфных продуктов, образовавшихся в почве при разложении растительных (и животных) остатков под влиянием микроорганизмов; *оно состоит из веществ, трудно поддающихся разложению* (лигнин и его производные), из веществ, *находящихся в процессе распада* (целлюлеза и гемицеллюлеза, белки растений), и веществ, *являющихся продуктами синтеза* (белки бактерий) за счет углеводов и аммиака (или нитратов), причем соотношение этих веществ в разных условиях различно.

Для фактического обоснования своих взглядов Ваксман исходит прежде всего из опытов по разложению растительных материалов, проведенных в искусственной обстановке, а с другой стороны, он определяет в природной обстановке размер изменений, вызванных разложением тех или иных растительных остатков.

В качестве примера приведем данные опыта Ваксмана с разложением ржаной соломы, продолжавшегося два месяца (при температуре 25° Ц, оптимальной влажности, введении необходимых солей K, Mg и добавлении азота в виде фосфата аммонии, так как недостаток усвояемого азота замедляет разложение соломы).

Результаты сопоставлены в следующей таблице.

Составные части	Первоначальный материал (в процентах)	В конце опыта	
		процент от исходного материала	процент от конечного остатка
Органическое вещество	100,0	58,0	100,0
Клетчатка	41,5	18,3	31,5
Пентозаны	26,0	10,3	17,7
Лигнин	22,5	20,0	34,4
Протеин	1,7	3,4	5,4

Как видно, клетчатка и пентозаны разрушались наиболее сильно, лигнин же был весьма стоек, поэтому процентное содержание его возросло; количество белка возросло абсолютно почти в 3 раза (за счет введенного аммиака и углеводов соломы), а процентно—более чем в 4 раза.

При разложении состав растительных остатков постепенно приближается к составу почвенного гумуса (в процентах):

Составные части	Свежие листья дуба	То же, после разложения	Состав гумуса лесных почв	Состав органического вещества черноземов
Целлюлоза	17,2	8,0	2,5—9,4	3—5
Гемицеллюлозы	15,6	8,7	5—12	5—8,5
Лигнин сырой	29,6	54,2	50,4	41—43
Сырой протеин	3,5	12,3	10,1	33—37

Подобное же возрастание содержания лигнина и «протеина» замечается при образовании торфа, хотя оно и происходит преимущественно при анаэробных условиях (состав в процентах):

Составные части	Осока (свежие растения)	Низовой торф
Целлюлоза	28,2	0
Гемицеллюлозы	18,4	8,9
Лигнин	21,1	50,3
Сырой протеин	7,9	18,7
Зола	3,3	10,1

В итоге можно сказать, что в основе этого построения лежат несомненные факты нестойкости углеводов (не только крахмала, но также клетчатки и гемицеллюлоз), гораздо большей стойкости лигнина и способности белков к регенерации благодаря деятельности микроорганизмов; слабым же местом является подсчет количества белков («сырого протеина») умножением всего количества азота на обычный коэфициент 6,25, потому что заведомо не весь азот гумуса находится в форме белков. Так, какая-то часть азота входит в состав грибной клетчатки, имеющей родство с хитином и отличающейся большой стойкостью; затем мы видели выше, что соединения гуминовой кислоты с аммиаком обнаруживают при высыхании переход аммиачного азота в амидный, а такие процессы в природе возможны.

О возможности образования азотистых соединений небелкового типа говорят также работы Майяра (Maillard), который, нагревая на водяной бане смесь глюкозы с какой-нибудь аминокислотой (например, с гликоколем), получал темнобурые вещества, обладавшие некоторыми свойствами гуминовой кислоты, т. е. растворимые в щелочах и оседающие при подкислении раствора[1]; то же происходило и с другими углеводами, причем моносахариды, как пентозы, так и гексозы, реагируют очень быстро, дисахариды—медленно. Здесь интересно то, что образование темноцветных продуктов происходит без участия сильнодействующих средств (кислот и щелочей), при взаимодействии нейтральных тел, как углеводы с аминокислотами; в реакции участвуют аминная и альдегид-

[1] Интересно, что в последнее время Ваксман использовал реакцию Майяра для объяснения своего наблюдения, что лигнин, введенный в среду, содержащую белки, задерживает их разложение; именно он предполагает, что здесь происходит соединение лигнина с белком или отдельными аминокислотами, входящими в состав белка, по схеме:

$$C_{10}H_{68}O_{14}(OCH_3)C\begin{matrix}H\\O\end{matrix}+H_2N\cdot RCOOH=C_{10}H_{68}O_{14}(OCH_3)\cdot CH:NRCOOH+H_2O.$$

Продукт присоединения Ваксман называет лигнино-протеиновым комплексом. Это взаимодействие лигнина с белком Ваксман осуществил экспериментально и обнаружил известное сходство такого соединения с поведением гумуса. Ваксман даже склонен считать такое соединение нейтральным и типичным для гумуса (humus nucleus—ядро гумуса); но это направление работ Ваксмана нужно им уже отклонившимся от прежней его установки, по которой гумус, являющийся кладбищем растительных и животных организмов, содержит все разнообразие входящих в них и вновь образованных микроорганизмами соединений, среди которых бесполезно искать чего-то единого, типичного для всех случаев, вроде старой гуминовой кислоты времен Мульдера (т. е. понимаемой как химический индивидуум), характерный для всех случаев гумификации.

ния группы, вступающие в связь с выделением воды (кроме того, может разрушаться карбоксильная группа с выделением CO_2).

Нельзя отрицать нахождения значительной части азота гумуса в небелковых соединениях; хотя аналитически пока и нет хороших методов отделения белкового азота от азота других труднорастворимых соединений, все же отнесение всего азота гуминов к азоту белков является произвольным. Кроме того, если бы в этом отношении Ваксман был прав, то в препаратах гуминовой кислоты мы должны бы иметь, наряду с белком, какой-то безазотистый компонент кислотного характера. Правда, лигнин в процессах постепенного окисления изменяется в сторону приближения в некоторых отношениях к гуминовой кислоте; именно, он теряет часть боковых цепей (число метоксильных групп уменьшается), появляются карбоксильные группы, и вместо нейтрального соединения получается переход к кислотному типу; и если бы мы в гуминах имели соединение некоторой гуминовой или лигниновой кислоты с белком, то при удалении белка (например, путем переваривания с помощью трипсина или путем гидролиза) получалась бы безазотистая гуминовая кислота, которой, однако, никто в почве до сих пор не находил.

В последнее время в Германии предложены некоторые растворители, позволяющие разделить гумифицированные вещества от неизмененных составных частей растения; так, Шпрингер пользуется ацетилбромидом (CH_3COBr) как реактивом, удаляющим все углеводы, лигнин, белки и оставляющим нетронутыми гумины. При проверке этим способом препарат гуминовой кислоты (от Мерка) оказался содержащим только 50% остатка, нерастворимого в ацетилбромиде. Содержание гумуса в торфяно-болотных почвах и подзолах оказалось равным 46—52% от общего количества органического вещества в почве, в лугово-болотных почвах—около 80%, в черноземах—от 71 до 91%.

Если ацетилбромид позволяет действительно удалить белки, не трогая гуминовой кислоты в собственном смысле, то обработка им различных препаратов гуминовой кислоты должна сделать возможной проверку взглядов Ваксмана и выяснить, какая доля азота в гумусе принадлежит белкам и сколько остается на азот гуминовой кислоты в более тесном смысле слова.

Кроме ацетилбромида, для дальнейшего исследования гуминовых веществ представляет интерес также применение нейтральных растворителей обратного назначения, способных извлекать гуминовую кислоту, не затрагивая остального органического вещества почвы,—таковыми являются (по Симону) фтористый и щавелевокислый натрий, позволяющие избегнуть того резкого действия щелочей и кислот на гуминовую кислоту, которым она подвергается при прежнем способе ее извлечения из почвы.

Одновременное присутствие основных (аминных) и кислотных (карбоксильных) группировок в гуминовых кислотах объясняет, почему органические вещества так способствуют повышению буферных свойств почвы и устойчивости реакции против сдвига ее как в кислую, так и в щелочную сторону, что весьма важно для практики внесения минеральных удобрений.

Далее необходимо учесть значение громадного количества азота (по расчету на 1 га), содержащегося в органическом веществе почвы, способного к постепенному переходу в более простые соединения, служащие источником азотистой пищи для растений. Само органическое вещество, конечно, не может служить непосредственным источником азота растений, поэтому содержание в пахотном слое общего количества азота, превышающего потребность самых высоких урожаев в 30 раз (суглинки) и даже в 100 раз (черноземы), само по себе еще не обеспечивает растения достаточным количеством азотистой пищи, и только тот небольшой процент азота, который под влиянием микроорганизмов перейдет в простейшие соединения, имеет непосредственное значение как азотистая пища растений.

Но во всяком случае, органическое вещество является основным запасным фондом азота, и чем больше органического вещества в почве, чем глубже почвенный слой, тем лучше обеспечиваются растения за счет перехода хотя бы

процентно и небольшой доли этого запаса в усвояемое состояние, но абсолютно это может иметь большое значение. В этом и состоит, например, одно из важных отличий мощных черноземов, в которых органическое вещество пропитывает большую толщу, в несколько раз превосходящую глубину пашни, от почв подзолистой зоны, где не только содержание органического вещества в пахотном слое невелико, но и вообще перегнойный горизонт зачастую не простирается глубже пахотного слоя.

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВЕ

В результате минерализации органического вещества азот переходит в конце концов в форму азотнокислых солей (нитратов), причем накопление этой формы азотистых соединений носит название *нитрификации*. Но нитрификация является только последним звеном в целом ряде превращений азотистых веществ перегноя, которые происходят в такой последовательности:

1) нерастворимые азотистые соединения (белки, гуминовые кислоты);

2) растворимые соединения (преимущественно аминокислотного и амидного типа);

3) аммиак;

4) азотистая и

5) азотная кислота, образующая соли с кальцием и другими основаниями.

Превращение азота органических веществ почвы в азот аммиачный схематически можно представить следующим образом.

Под воздействием протеолитических ферментов, продуцируемых микроорганизмами почвы, белковые вещества распадаются на аминокислоты (через промежуточные продукты распада белка—пептоны или непосредственно). Далее под действием ферментов же (дезаминаз и дезамидаз) от образующихся аминов и от амидов (также входящих в состав органических азотистых веществ почвы) отщепляется аммиак. Эти последние процессы носят название *дезаминирования* и *дезамидирования*, в целом же процессы эти (вместе взятые) называют *аммонификацией*.

Амиды распадаются наиболее легко, чем, повидимому, и объясняется относительно меньшее их количество в почве. Дезаминирование можно представить и как процесс гидролитический и как процесс окислительно-восстановительный. Например:

$$R-CHNH_2\,COOH + H_2O = R-CHOHCOOH + NH_3$$
$$R-CHNH_2\,COOH + H_2O = R-CH_2OH + CO_2 + NH_3$$
$$R-CHNH_2\,COOH + O_2 = R-COOH + CO_2 + NH_3$$
$$R-CHNH_2\,COOH + H_2 = R-CH_3\,COOH + NH_3$$
$$R-CHNH_2\,COOH + O = R-COCOOH + NH_3$$

Среди этих процессов, повидимому, преобладающими являются окислительные (в частности, сопровождающиеся образованием кетокислот).

Образующийся при дезаминировании и дезамидировании аммиак превращается в соли угольной, уксусной, муравьиной, пропионовой и других кислот, выделяющихся при разложении органических веществ в почве, и поглощается почвенными коллоидами. При этом лишь очень небольшая часть аммонии будет в растворе, большая же часть его (практически почти все количество) перейдет в состояние поглощенного NH_4-иона.

Первые ступени разложения до аммиака включительно не представляют специфических функций какого-либо отдельного микроорганизма, но вызываются целым рядом бактерий, актиномицетов и плесневых грибков, а так как среди бактерий, вызывающих эти стадии разложения органического вещества, есть и аэробные и анаэробные формы, то образование аммиака возможно и при доступе воздуха и без него. Кроме того, вследствие разнообразия форм, здесь участвующих, приспособленных к разной реакции среды, процесс этот не приурочен строго к какому-либо определенному оттенку реакции, а потому образование аммиака является довольно универсальным процессом, идущим, в сущности, во всех почвах, но только с разной энергией (смотря по температуре, влажности и другим условиям). К тому же в одних почвах процесс на образовании аммиака останавливается (при анаэробном разложении), в других же аммиак подлежит дальнейшим превращениям, именно—окислению[1].

Еще в семидесятых годах прошлого столетия Шлезингом и Мюнцем было установлено, что нитрификация есть процесс бактериальный, ибо нагревание и действие анестезирующих веществ его останавливают. Однако все попытки выделить и культивировать эти бактерии на желатине с добавлением глюкозы, как это обычно делается, не удавались, пока Виноградский не доказал, что этим бактериям органического вещества вообще не нужно, а, в частности, глюкоза им вредна; ему удалось их выделить культурой на минеральном субстрате—студенистой кремнекислоте, причем источником энергии для них оказалось именно окисление аммиака до азотистой и азотной кислот (бактерии, вызывающие первую стадию окисления, носят название Nitrosomonas, вторую—Nitrobacter[2]), и за счет этой энергии нитрификаторы строят сами свое органическое вещество, заимствуя углерод из углекислых солей. Таким образом, их развитие не зависит от хлорофиллоносных растений (и через них от солнечного света), как зависит развитие остальных бактерий и грибов, а также и всего животного мира.

Окисление аммонийных солей в азотистую кислоту может быть представлено следующим образом:

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O,$$

а окисление азотистой кислоты в азотную так:

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3.$$

В отличие от процесса образования аммиака окисление его производится только специфическими бактериями и протекает поэтому в условиях более определенных, причем обмен веществ этих бактерий настолько отличается от обычного для микроорганизмов, что их долго не могли выделить из почвы обычными методами.

Нитрификация требует доступа воздуха, а потому определенной, но не избыточной влажности, определенной температуры (лучше всего 25—30°) и весьма зависит от реакции среды.

Так как в конце концов этот процесс состоит в переходе щелочного вещества (аммиака) в сильную кислоту по схеме:

$$NH_3 + 2O_2 = HNO_3 + H_2O,$$

[1] Так как аммиак хорошо поглощается почвой, а поглощенный аммоний в водную вытяжку не переходит, то прежде нередко делались неправильные выводы о ходе образования аммиака в почве. Кроме изменения методики (вытяжка не водой, а раствором соли или кислоты), можно выяснить направление почвенных процессов, усилив их энергию внесением легко разлагающихся азотистых веществ, например, кровяной муки. В одном опыте были получены при этом такие данные (в миллиграммах):

Почвы	Нитраты		Аммиак	
	Без удобрений	Кровяная мука	Без удобрений	Кровяная мука
Огородная почва	24,0	99,3	0,9	23,9
Торфяная земля	0	0	2,4	39,7
Вересковая земля	0	0	2,5	73,9

Таким образом, в культурной почве процесс шел до конечной стадии с образованием нитратов, а в почвах с большим содержанием кислого перегноя и плохой аэрацией шло только накопление аммиака, причем в первой почве разложение шло вообще энергичнее, если взять за мерило сумму аммиачного и нитратного азота.

[2] В последнее время Виноградскому удалось выделить ряд новых нитрифицирующих бактерий. Так, наряду с Nitrosomonas, выделены Nitrosocystis и Nitrosospira, также окисляющие аммонийные соли в азотистую кислоту. По Виноградскому, Nitrosomonas—наиболее активный из нитронных бактерий—встречается преимущественно в плодородных, богатых органическим веществом почвах, Nitrosocystis—средний по активности—присутствует, наряду с Nitrosomonas, в лесных почвах. И, наконец, наименее активный Nitrosospira как будто бы преобладает в бедных, малоокультуренных почвах. Виноградский утверждает также, что имеются, наряду с Nitrobacter, и другие возбудители второй фазы нитрификации.

то должно быть налицо какое-либо основание для нейтрализации кислоты, так как в сильнокислой среде натрификация останавливается. Таким основанием в почвах является обыкновенно кальций, независимо от того, будет ли это кальций, находящийся в почве в виде углекислого, или же, при его отсутствии, кальций поглощающего комплекса[1].

Поэтому когда говорят об образовании нитратов в почве, то нужно иметь в виду преимущественно $Ca(NO_3)_2$. Из сказанного понятно, что не только всякое рыхление почвы, усиливая доступ воздуха в почву, повышает нитрификацию, но также и известкование является средством усилить нитрификацию (и вообще минерализацию органического вещества), если почва бедна поглощенным кальцием. Потребность в извести возрастает, если нитрификации подвергается не аммиак, происшедший из органических веществ, а например, $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4Cl, внесенные в качестве удобрения. Тогда, кроме связывания азотной кислоты, нужен еще кальций для связывания оставшихся кислот—серной или соляной.

Раньше думали, что нитрификация необходима физиологически, потому что аммиак является плохим источником азота для растений. Теперь же, когда мы знаем, что аммиак может прекрасно усвояться растениями, мы должны сказать, что нитрификация более необходима по почвенно-химическим, чем по физиологическим соображениям, ибо нитрификация есть верный признак культурной почвы, в которой имеются условия для благоприятного развития растений, а если процесс минерализации азотистых соединений останавливается на стадии аммиака, то это означает, что в почве нехватает или кальция для нейтрализации кислот, или воздуха для деятельности нитрификаторов (и то и другое столь же необходимо для самого культурного растения, как и для этих бактерий).

Нитрификация, медленно начинаясь весной, по мере прогревания почвы усиливается, и летом количество нитратов может быть весьма значительным, если поле свободно от сорной растительности (чистые пары), а почва богата гумусом по природе (чернозем) или обогащена им благодаря внесению органического вещества со стороны (навоз, зеленое удобрение) или благодаря предшествующему возделыванию многолетних азотособирателей (люцерна, клевер)[2]. В качестве примера усиленного накопления нитратов при применении черного пара приведем данные следующих опытных станций черноземной полосы:

Опытные станции	Нитраты на 1 кг почвы (в миллиграммах N)	Это отвечает содержанию селитры в килограммах на 1 га (в пахотном слое)
Тамбовская	29,8	682
Шатиловская (Тульская область)	35,7	778
Чишминская (Башкирская АССР)	26,7	565
Кубанская	44,0	932

Поздний пар накопляет гораздо меньше нитратов, чем черный и ранний весенний. Поэтому, например, резерв нитратов к посеву озимых можно создать, прибегая к черному (или раннему) пару или же занимая пар рано убираемыми растениями, но после них внеся азотистые удобрения.

[1] В этом случае на место кальция в комплекс входит водород азотной кислоты, но это поглощение большей частью является временным, так как после использования растением азотнокислого кальция как источника азота значительная часть кальция остается в почве в виде $Ca(HCO_3)_2$, и тогда кальций снова войдет в поглощающий комплекс с выделением углекислоты в почвенный раствор.

[2] Не следует смешивать влияния клевера с влиянием смеси клевера с тимофеевкой; последняя на третий год пользования (когда клевер обычно уже отсутствует) является потребителем того азота, который перед тем накопил клевер, и снижает содержание азота в почве, а не повышает его. Поэтому в интенсивных хозяйствах Запада сеют клевер без тимофеевки, сокращая срок пользования до одного года.

Однако на почвах, бедных по природе и не получающих в то же время обильного навозного удобрения, образование нитратов и в числом пару идет слабо. Вообще есть некоторая связь между способностью почвы к накоплению нитратов и ее плодородием.

Нитраты могут *не только накопляться в почве, но и претерпевать убыль*; последняя может быть троякого рода: 1) вымывание нитратов, 2) их разрушение (денитрификация), 3) обратный переход в органические азотистые соединения, преимущественно белки.

Потери нитратов от вымывания достигают весьма различной высоты—в зависимости главным образом от климата (количество осадков в данной местности, размер испарения), от того, занято поле растениями или находится в пару.

Паровые поля во влажных климатах обнаруживают наибольшие потери нитратов, растительность же предохраняет нитраты от вымывания, во-первых, тем, что корни растений поглощают нитраты, а во-вторых, тем, что, испаряя значительные количества воды, растения уменьшают количество дренажных вод.

Как крайний случай, характеризующий влияние долгого пребывания поля в пару во влажном климате, можно привести один из опытов, произведенных в Ротамстеде (Англия), в котором почва, поддерживавшаяся в течение 47 лет свободной от растительности, потеряла треть своего азота, содержание которого упало с 1,46 г на 1 кг почвы до 0,98 г, причем в дренажных водах найдено соответственное количество азота в виде нитратов, составлявшее в первый период опыта около 50 кг азота на год на 1 га, а затем постепенно опускавшееся до 30 кг. Почва, занятая хлебами, даже в английском (влажном) климате вела себя различно; именно при обильном удобрении были потери нитратов, при культуре же без удобрения наблюдалась даже некоторая прибыль азота (7—8 кг азота на 1 га), если суммировать азот почвы и азот урожаев. Это объясняется так: кроме вымывания нитратов из почвы, атмосферные осадки приносят в почву некоторое количество соединений азота (например, 15 кг азота за год—это зависит от количества осадков), и если на удобряемых почвах вымывание превышает прирост азота, то при отсутствии удобрения при ничтожном вымывании начинается прирост азота от улавливания корнями не только почвенных, но и приносимых с осадками соединений азота.

Еще в большей мере обогащается азотом почва, покрывающаяся растительностью при оставлении ее в долголетней залежи. Так, на том же Ротамстедском опытном поле за 23 года содержание азота в такой почве возросло с 1,08 до 1,45 г на 1 кг почвы. Это зависит, во-первых, от уменьшения промывания задернелой почвы по сравнению с пашней (часть воды стекает в сторону); во-вторых, в этом случае, кроме азота атмосферных осадков, присутствие некоторого количества бобовых способствует накоплению азота, а также этому способствует деятельность некоторых свободно живущих бактерий (Azotobacter), ведущих работу за счет органического вещества почвы, если только почва достаточно обеспечена кальцием. Процессы прироста и убыли азота в почвах идут параллельно с изменениями в количестве органического вещества.

Если нераспаханная почва, даже в климате Англии, противостоит вымывающему действию осадков и обнаруживает известное накопление азота в органическом веществе, то в еще большей мере это относится к местностям с сухим климатом, как, например, значительная часть нашей черноземной полосы. Здесь вымывания нитратов боиться не приходится, притом не только на целине, но и на пашне, так как большей частью почвенные воды не смываются с подпочвенными, и весной, вскоре после таяния снегов, все более возрастающее испарение вызывает обратное поднятие вверх неглубоко опустившейся зимней влаги.

Однако в данном случае, кроме климата, может оказывать влияние и почва. Так, песчаные почвы, встречающиеся оазисами среди чернозема, благодаря большой проницаемости и опусканию атмосферных осадков на большую глу-

бину, подвергаются промыванию (особенно в условиях чистого пара), а тем более это относится к условиям севера, где имеются большие массивы песчаных почв (например, Шенкурский район, Архангельской области) и где при пониженном испарении промывание почвы, а значит и потери нитратов могут быть особенно значительными.

Насколько на паровых полях, обогащенных нитратами, может увеличиваться просачивание последних в более глубокие слои даже на суглинках, показывают также данные, полученные Ключаревым на опытном поле в Петровско-Разумовском: в воде, просочившейся через лизиметры (цилиндры в 50 см высоты, врезанные в почву без нарушения ее структуры), на разных полях были найдены такие количества нитратного азота (за год на 1 га) в зависимости от рода культуры: паровое поле—42,0 кг, вика—5,25 кг, овес—0,23 кг, ячмень—0,27 кг.

Однако просачивание на 50 см не есть еще потеря нитратов; они могут в сухое время года подниматься обратно, приближаясь к поверхности почвы. При изучении послойного распределения нитратов на большие глубины у нас в ряде опытных учреждений пришли к выводу, что опасения относительно вымывания нитратов преувеличены[1]. Однако окончательное суждение по этому вопросу наиболее просто иметь в тех случаях, когда имеются анализы дренажных вод. Так как у нас дренирование пока мало распространено (в отличие от Англии и других стран Запада), то таких данных немного. Для окрестностей Москвы имеются данные в работе Перитурина по учету нитратов в дренажных водах для совхоза «Новоивановского» (теперь «Красные зори»), из которой мы заимствуем следующую таблицу.

Вымывание питательных веществ в зависимости от предыдущей культуры
(с 31 марта по 20 мая 1924 г.)

Показатели	После овса (не испахано)	После ржи (испахано с осени)	После ржи (испахано в умаленно с осени)	После корнеплодов	После клевера
Количество воды (в кубических метрах на 1 га)	800	1 600	1 620	1 621	1 100
Азот (в килограммах на 1 га)	1,3	13,0	19,8	18,1	4,8
Фосфорная кислота (в килограммах на 1 га)	0,8	1,8	2,5	2,5	1,1
CaO (в килограммах на 1 га)	6,0	23,2	35,0	75,2	8,5

Здесь взят весенний период, потому что зимой в условиях Москвы обычно дренажных вод не получается, затем позднее летом отток также прекращается (кроме случаев сильных дождей). Поэтому можно говорить об опасности вымывания преимущественно лишь весной, и то на испаханных с осени и обильно удобренных полях, но и для весны не каждый раз повторяется картина 1924 г. (в годы с малым количеством осадков потерь почти не бывает).

Еще один путь, позволяющий судить о вымывании нитратов в суммарной форме для больших площадей, представляет учет нитратов в водах рек, причем более характерны показания анализов для зимних месяцев, так как летом водная растительность, потребляющая нитраты, может снижать их количество. Такие анализы во Франции для реки Сены производил Шлезинг, нашедший зимой 8—9 мг на 1 л; у нас же для Москва-реки—Ключарев, нашедший гораздо меньшее количество—от 1,2 до 1,4 мг на 1 л. Шлезинг рассчитывает, что потери азота в бассейне реки Сены составляет 5—8 кг на 1 га. В бассейне Москва-реки, где меньше пашни и она слабее удобряется, естественно, общие потери меньше, а затем, если мы учитываем потери нитратов, то для общего баланса важно еще учесть, сколько связанного азота приносится в год с дождем

[1] См. обзор в книге Кудрявцевой «Селитра в почве», 1927 г.

и снегом. Для Франции Шлезинг пришел к выводу, что потери от вымывания компенсируются соединениями азота, который почва получает с осадками и путем прямого поглощения аммиака из атмосферы. Можно думать, что в среднем и у нас такая компенсация (если не говорить о песчаных почвах) имеет место (хотя данных пока недостаточно), но для отдельных полей, в связи со временем вспашки и внесения удобрения, возможен перевес расхода нитратов над приходом связанного азота из атмосферы.

Денитрификацией называется восстановительный процесс, следовательно, он по направлению противоположен нитрификации, но приводит не обратно к аммиаку, а к выделению свободного азота. Здесь участвуют другие бактерии, разрушительная работа которых становится особенно сильной, если одновременно отсутствует доступ воздуха и имеется избыток неразложенного органического вещества, богатого клетчаткой или другими углеводами. Тогда начинается окисление органического вещества за счет кислорода нитратов и восстановление последних, приводящее к безвозвратной потере азота в газообразном виде. Следующая схема изображает существо этого процесса:

$$5C_6H_{12}O_6 + 24KNO_3 = 12N_2 + 24KHCO_3 + 6CO_2 + 18H_2O.$$

Кроме отсутствия доступа воздуха и избытка органических веществ (например, неперепревшей соломы), щелочная реакция благоприятствует работе денитрификаторов. Ввиду особой специфичности условий, требующихся для того, чтобы разрушительная деятельность нитрификаторов приняла большие размеры, в обычных условиях полевой культуры не приходится опасаться больших потерь нитратов от этой причины.

Гораздо чаще приходится иметь дело не с такими безвозвратными потерями нитратного азота, а с *временным восстановлением нитратов* при обратном переходе в органическое вещество при их потреблении рядом микроорганизмов, имеющем место, например, при внесении в паровое поле неперепревшей соломы. Тогда клетчатка и пентозаны этой соломы идут на питание различных микроорганизмов, строящих свой белок за счет азота нитратов и углеводов, внесенных с соломой. Но если это произошло не перед посевом озимых, а заблаговременно, то избыток углеводов постепенно исчезает; микроорганизмы, нуждающиеся в углеводах, не смогут больше размножаться, и в процессе постепенного отмирания они будут освобождать азот в виде аммиака. Тогда нитрификаторы снова окислят его до азотной кислоты. Ближе мы коснемся этого вопроса в главе о применении навозного удобрения.

Кроме азота, органическое вещество почвы содержит в органических соединениях *фосфор* и *серу*, но значительная часть этих элементов находится и в чисто минеральных соединениях почвы—здесь нет такого сосредоточения в органическом веществе, как в случае азота. Кроме того, вхождение фосфора в органические соединения не столь прочное, как в случае азота[1].

С другой стороны, мы не можем путем обработки так воздействовать на переход фосфора в усвояемое состояние, как это имеет место по отношению к нитрификации. Часто имеет место даже обратное: чем энергичнее нитрификация, тем больше $Ca(NO_3)_2$ в почвенном растворе, а обогащение раствора кальцием означает большее или меньшее обеднение его фосфорной кислотой. Перевод фосфатов в более растворимое состояние скорее возможен иными приемами, чем обработка, а именно: внесение некоторых удобрений, изменяющих реакцию почвы, или таких приемов, как культура на зеленое удобрение растений, способных разлагать трудно усвояемые (для других растений) фосфаты, как люпин и пр. Об этих приемах будет речь ниже в соответствующих главах.

[1] Мы видели, что в состав гумуса входят белки и нуклеопротеиды бактерий и плесневых грибов, а нуклеиновая кислота есть производное фосфорной кислоты. Таким образом, фосфор содержится здесь уже в окисленной форме и достаточно только отщепления фосфорной кислоты.

ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОЧВЫ С УРОЖАЕМ И ВОЗМЕЩЕНИЕ ЕГО ПРИ ПОМОЩИ УДОБРЕНИЙ

С каждым урожаем растения уносят из почвы значительные количества азота и зольных веществ, и если эту потерю не возмещать, то постепенно происходит истощение почвы, и урожаи падают. При этом падение урожаев наступает часто тогда, когда почва, казалось бы, содержит еще много питательных веществ и об абсолютном истощении какого-нибудь «выпаханного» чернозема не могло быть никакой речи, если бы урожай зависел от валового содержания питательных веществ в почве, но на деле он зависит только от той их части, которая является усвояемой, а эта часть составляет только небольшой процент от валового запаса их в почве. Правда, за счет этого валового запаса постепенно происходит частичное пополнение и той его части, которая является усвояемой, но темп этого пополнения большей частью не таков, чтобы уравновесить вынос азота и зольных элементов с урожаями, и последние, как правило, постепенно падают, если не вносить удобрений, хотя темп этого падения для разных почв и неодинаков. Чтобы познакомиться с порядком тех величин, какими, с одной стороны, обусловливается ход истощения почвы урожаями, а с другой стороны, какими выражается общий запас питательных веществ в почвах разного типа, приведем несколько примеров.

Вынос питательных веществ, конечно, бывает различным, смотря по уровню урожаев. Так, по данным Мироновской опытной станции, озимая пшеница уносит при сравнительно высоких урожаях—в 30 ц на 1 га—такие количества (в килограммах):

$$N - 112;\ P_2O_5 - 39;\ K_2O - 77.$$

Для урожаев в 15 ц по другим источникам даются такие величины:

$$N - 46;\ P_2O_5 - 22;\ K_2O - 28.$$

Те же урожаи, в 7—8 ц, какие у нас не так давно считались средними, унесут, конечно, еще меньше.

Для сахарной свеклы, которая вообще более требовательна, чем хлеба, той же Мироновской станцией при урожае в 270 ц даются такие величины (принимая во внимание соответственное количество листьев):

$$N - 166;\ P_2O_5 - 42;\ K_2O - 157.$$

При более низких урожаях получаются величины в 65—85 кг N и соответственно пониженные количества калия и фосфора.

Увеличение выноса питательных веществ вместе с ростом высоты урожая сахарной свеклы можно иллюстрировать следующими данными анализов[1] свеклы с участков 38 передовых звеньев (УССР, Воронежская и Курская области); в таблице показана средняя величина урожая для группы звеньев и соответствующие средние размеры выноса N, P_2O_5 и K_2O.

[1] См. Ф. С. Соболев, сборник «Удобрение сахарной свеклы», 1937 г.

Число звеньев	Средний урожай корней (в центнерах на гектар)	Вынос в килограммах с 1 га		
		N	P_2O_5	K_2O
11	225	122	32	117
13	386	193	58	224
8	618	278	99	371
6	890	552	169	668

Следовательно, при высоких урожаях вынос питательных веществ достигает весьма значительных размеров, превышая в несколько раз выносы, типичные для среднего уровня урожаев. Понятно, что это обстоятельство подчеркивает роль удобрений как одного из главнейших элементов комплекса агротехники высоких урожаев.

Что касается валового содержания питательных веществ в почве, то оно выражается для пахотного слоя довольно большими величинами, что можно видеть из таких примеров (общее содержание в пахотном слое почвы в килограммах на 1 га):

	N	P_2O_5	K_2O
Бедный подзол	4 000	1 700	15 000
Суглинок	3 700	2 800	42 500
Чернозем	10 600	6 000	68 500

Если бы все эти запасы были усвояемыми[1] или легко переходящими в усвояемое состояние, то оказалось бы, что в черноземе их хватит на 100 хороших урожаев пшеницы (а так как глубина чернозема больше пахотного слоя, то и еще больше) и даже бедный подзол мог бы дать 50 плохих или 25 средних урожаев зерна ржи или овса без внесения удобрений.

На самом же деле, на легких оподзоленных почвах достаточно немногих лет, чтобы при культуре без удобрения обнаружилось понижение урожаев вследствие более быстрого темпа использования усвояемых питательных веществ растениями по сравнению с темпами перехода элементов *богатства* (т. е. потенциального плодородия) в *элементы эффективного плодородия*, т. е. в усвояемую форму. Дольше такому истощению противостоит суглинок; еще дольше—черноземы, но в конце концов рано или поздно и на них становится почти невозможной культура без удобрений.

Наиболее длительный опыт культуры без удобрения с полным учетом результатов мы имеем на Ротамстедской опытной станции (Англия), которая была основана в 1844 г. и на которой с редким постоянством опыты бессменной культуры ведутся в течение длинного ряда десятилетий, повторяясь ежегодно по той же схеме и на тех же самых делянках, на которых они были заложены в сороковых и пятидесятых годах прошлого столетия. Возьмем пример из опытов с бессменной культурой ячменя, в которых ход истощения почвы при культуре без удобрений и влияние удобрения выразились такими цифрами:

Средние урожаи (в центнерах с 1 га)

Удобрения \ Периоды (по годам)	1852—1859	1860—1867	1868—1875	1876—1883	1884—1891	1910—1920
Навоз (175 кг азота)	25,32	30,00	29,38	29,90	25,56	27,0
«Полное» минеральное удобрение (47 кг азота)	28,41	29,52	25,68	25,42	22,3	23,6
Фосфор	17,0	13,98	10,65	11,23	9,45	—
Азот	24,12	19,76	17,92	16,95	14,36	—
Калий	15,3	11,86	9,05	8,94	6,14	—
Без удобрения	13,85	10,3	8,31	8,51	6,72	5,0

[1] Но если бы это могло иметь место, то в силу избыточной концентрации питательных веществ самые богатые почвы оказались бы наиболее бесплодными.

На рис. 11 данные 1852—1891 гг. нанесены графически, причем для того, чтобы исключить влияние колебаний, зависящих от непостоянства климата, урожай по навозу для каждого периода принят за 100.

Отсюда видно, что идущее вначале быстрыми шагами падение урожаев дальше замедляется, но все же все время прогрессирует, опускаясь в конце концов ниже 20% от урожая, который получается при регулярном внесении удобрений. При этом потребовалось 30 лет культуры без удобрения, чтобы урожаи снизились до уровня средних урожаев при том примитивном хозяйстве, какое велось в доколхозный период нашим крестьянством, а через 60 лет они опустились до уровня, который встречался у нас на тех отдаленных от деревень запольных землях, которые никогда не получали навоза (например, в нечерноземной части бывш. Тульской губ.). Возникал вопрос, стоит ли пахать такую землю или лучше оставить ее под залежь, используя как пастбище, чтобы вновь распахать через несколько лет, когда благодаря процессам выветривания, деятельности микроорганизмов и небольшому приросту азота за счет атмосферных осадков плодородие почвы повысится настолько, чтобы дать сколько-нибудь приемлемый урожай.

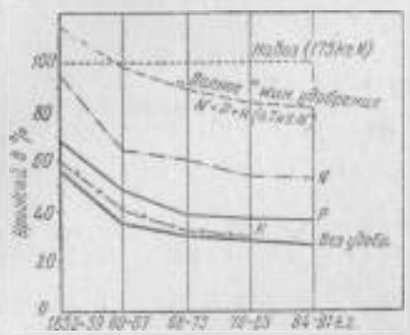


Рис. 11. Урожаи ячменя при бессменной культуре в Ротамстеде (в процентах от урожая по навозу).

Из данных опытов, произведенных в Ротамстеде, видно, что более острым в истощенной почве был недостаток азота; на втором месте стоит фосфор, а калий без фосфора и азота почти не оказывает действия[1]. Эта последовательность является обычной для суглинков, но на песчаных почвах порядок минимумов может изменяться, и здесь вместо наблюдавшейся последовательности по истощенности ($N > P > K$) может проявляться последовательность $N > K > P$.

Ввиду того что почва в Ротамстеде представляет очень плодородный суглинок, такие опыты были заложены в Англии еще в другом пункте (Вобурн) с более легкой супесчаной почвой. Тогда падение урожаев в период с 1890 по 1920 г. выразилось такими цифрами по десятилетиям (в центнерах с 1 га):

	I	II	III	IV
Без удобрения	15,5	11,2	8,7	4,1
Навоз	26,0	24,5	21,5	18,7

Здесь падение произошло быстрее, чем на суглинке, и за 40 лет урожай опустился до 4 ц, т. е. ниже, чем в Ротамстеде за 80 лет. Но эта крайняя степень истощения по своей исключительности не так интересна, как имеющая непосредственное хозяйственное значение разница между удобренными и неудобренными делянками, выявляющаяся уже в начальные периоды ведения опыта.

Ротамстедские данные относятся к бессменной культуре. При чередовании же культур и наличности в севообороте клевера можно ждать известного замедления в истощении благодаря тому, что клевер должен смягчать остроту азотного голодания, а для почв нечерноземных именно азот чаще всего оказывается в минимуме.

[1] Под конец замечается даже как бы отрицательное действие внесения одного калия (см. цифры урожая 1884—1891 гг.), но здесь еще замешаны и побочные обстоятельства: при закладке опытов в сороковых годах, когда еще не было твердого списка необходимых для растений элементов, кроме N, K и P вводили также соли, которых, как мы теперь знаем, не следовало вводить. Поэтому то, что мы для краткости называли «калий», на деле было смесью сульфатов, а именно K_2SO_4, Na_2SO_4 и $MgSO_4$, вследствие чего отрицательное действие могло быть вызвано накоплением солей и вытеснением поглощенного кальция одновалентными катионами, что за полстолетие ежегодного внесения могло, конечно, сказаться неблагоприятно и на физических свойствах почвы. Из желания сохранить неизменным опыт, заложенный основателем Ротамстедской станции, эти ненужные соли вносятся и до сих пор. Это же может оказать понижающее действие и на всех других делянках (кроме неудобренной и навозной), но на делянке с «полным» удобрением сказалась еще недостаточная доза азота по сравнению с навозом, о чем будет речь ниже.

Кроме того, в этих опытах для сравнения значения навоза и минеральных удобрений как средств, противодействующих падению урожаев, отсутствует такое необходимое условие сравнимости, как выравнивание количеств питательных веществ[1].

Здесь приходится сопоставлять ежегодное внесение 175 кг азота в навозе (что заведомо избыточно) с ежегодным внесением 47 кг азота в селитре, а это заведомо недостаточно для получения тех урожаев, какие получались по навозу, что видно из простого арифметического подсчета по среднему составу урожая (ср. также данные Мироновской станции, приведенные выше). Это обстоятельство часто остается незамеченным, и потому обычно из этих опытов делаются неправильные выводы о сравнительном значении навоза и минеральных удобрений. На самом же деле для такого сравнения эти опыты не годятся[2].

В связи с этим приведем данные тридцатилетних опытов, проведенных в Дании (опытная станция Асков), также на суглинке, хотя более оподзоленном и менее плодородном, чем в Ротамстеде (как это видно из уровня урожаев в первые годы опыта), но в этих опытах, во-первых, проводилось полное выравнивание доз азота, фосфора и калия, внесенных в навозе и в минеральных удобрениях, а во-вторых, опыты велись не при бессменной культуре, а в севообороте с участием клевера, что делает их более близкими к с.-х. действительности, чем ротамстедские опыты.

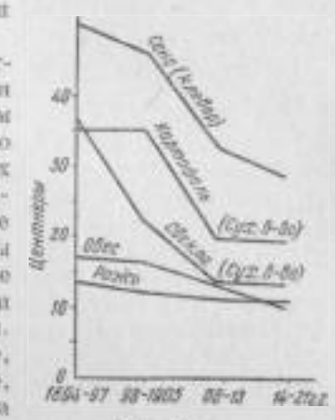


Рис. 12.

Опыты велись в норфольском четырехполье, в котором последовательность такова: пропашное, яровое, клевер, озимое, причем навоз вносился 2 раза в течение севооборота, а минеральные удобрения — в 4 приема (поэтому сумма питательных веществ в обоих видах удобрения по отдельным годам частично не совпадала, но за все время севооборота равенство строго выдерживалось, составляя в среднем в год на гектар: 40 кг N, 30 кг P_2O_5 и 36 кг K_2O).

Приведем прежде всего данные для неудобренных делянок под разными культурами (средние по четырехлетним периодам, в центнерах с гектара) (см. также рис. 12):

Культуры	Периодам			
	1894—1897 гг.	1898—1905 гг.	1906—1913 гг.	1914—1921 гг.
Свекла (сухое вещество)	37,0	22,0	13,0	13,0
Картофель (сухое вещество)	35,0	35,0	19,0	19,0
Овес	17,0	16,0	12,7	10,5
Рожь	13,8	12,1	11,1	10,9
Клевер	51,4	46,3	32,9	27,9

Из этих данных видно, что урожаи на делянках без удобрения последовательно понижались для всех культур, несмотря на присутствие клевера в сево-

[1] Например, в такой форме: в навозе вносится 160 кг азота один раз в 4 года, в селитре вносится по 40 кг азота ежегодно.

[2] В другом опыте той же Ротамстедской станции (с пшеницей), где были варианты с более высокими дозами азота (141 кг N в минеральных удобрениях против 175 кг N в навозе), в течение 40 лет урожаи по полному удобрению не уступали урожаям по навозу (соответствующие данные приведены ниже, см. стр. 474).

обороте, так как клевер дает только азот[1] и не ослабляет, а усиливает вынос калия и фосфора по сравнению с хлебами. Нужно учесть, что здесь и по азоту клевер давал только то, что содержалось в корневых остатках, так как азот надземных органов, обычно возвращающийся в почву через навоз, здесь в нее не попадал.

Культуры, потребляющие больше азота, фосфора и калия, как свекла и картофель (или по крайней мере фосфора и калия, как клевер), обнаружили более стремительное падение урожаев, чем хлеба, уносящие меньшее количество питательных веществ. В конце концов падение урожаев хлебов все же не доходило до таких низких ступеней, как в английских опытах (с бессменной культурой). Здесь урожаи ржи опускаются лишь до уровня в 10 ц (что нужно объяснить, конечно, присутствием клевера в севообороте).

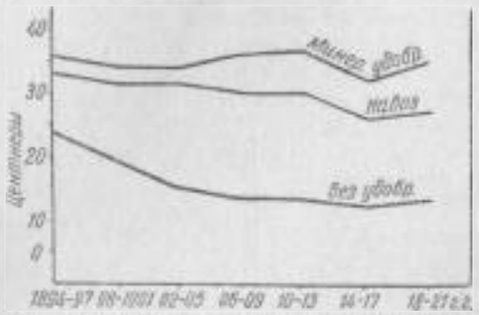


Рис. 13. Урожаи по минеральным удобрениям и по навозу при условии выравнивания доз N, P и K.

Далее из данных опытов видно, что ежегодное возвращение почве питательных веществ в минеральных удобрениях по норме (в килограммах на 1 га)

$$N — 40,\ P_2O_5 — 30,\ K_2O — 36$$

позволяет при севообороте с клевером иметь в зоне оподзоленных (а значит и достаточного увлажнения) почв устойчивые и довольно высокие урожаи, а именно в 22—23 ц зерна, 200 ц картофеля, 480—500 ц кормовой свеклы и 50—60 ц клеверного сена (см. таблицу—урожаи в центнерах с 1 га):

Культуры	Периоды						
	1894—1897 гг.	1898—1901 гг.	1902—1905 гг.	1906—1909 гг.	1910—1913 гг.	1914—1917 гг.	1918—1921 гг.
Свекла	518	469	466	491	606	503	552
Картофель	186	246	230	182	203	198	238
Овес	24,8	27,6	23,7	25,7	26,0	21,8	22,0
Рожь	22,7	22,7	22,1	22,6	26,6	23,1	21,4
Травы	63,1	59,1	59,6	69,0	50,8	(40,8)	64,1

Заметим, что урожаи эти далеко не максимальные (даже статистически среднее для всей Дании—29 ц пшеницы). Однако при данной дозе азота нельзя рассчитывать на большее даже на фоне клевера (см. данные по выносу азота, приведенные на стр. 182).

Затем данные этих опытов показали, что, при условии выравнивания количеств, питательные вещества в растворимых формах минеральных удобрений являются более активными, чем питательные вещества навоза (рис. 13). Даже тридцатилетний срок опытов не привел к полному переходу азота навоза в усвояемое состояние, и суммирование эффектов от внесения навоза за предыдущие годы (так называемое последействие) не дало все же выравнивания урожаев по навозу и минеральным удобрениям (о причинах этого будет говориться подробнее потом).

Отметим, что сравнение действия навоза и минеральных удобрений далось *необходимым в деле исследования* не только с точки зрения уяснения возможной роли минеральных удобрений в деле борьбы с истощением почвы, но и с точки зрения понимания роли самого навозного удобрения, так как необходимо знать усвояемость питательных веществ навоза, и, не уяснив роли азота,

[1] Не говоря о том, что клевер обеспечивает также должную структуру почвы.

фосфора и калия навоза, нельзя составить представления и о размере действия органического вещества и о других сторонах действия навоза. Но в хозяйстве вовсе не приходится противопоставлять навозу минеральные удобрения и говорить о замене одного другим в борьбе с истощением почвы: наоборот, введение минеральных удобрений даже увеличивает количество навоза в хозяйстве (больше урожай зерна—больше соломы, выше урожаи клевера и других кормов—больше скота, больше навоза), а опыт показывает, что если говорить не об искусственной обстановке, допускающей точную регулировку всех условий, а об условиях, обычных в хозяйстве, то *наибольшие урожаи получаются при комбинировании навоза с минеральными удобрениями*.

В предыдущем мы касались хода истощения почв дерново-подзолистой зоны. Для богатых черноземов при начале их культуры истощение идет медленнее, но в конце концов—это вопрос времени. Возможны случаи, что и 100 лет культуры без удобрения на черноземе не приведут к таким низким урожаям, как 10 лет культуры на недавно распаханной подзолистой почве, но в районах старой культуры и на черноземе мы уже имеем дело с резко выраженным недостатком прежде всего азота и фосфора и с невозможностью получать систематически сколько-нибудь сносные урожаи без удобрения.

Для разных частей нашей черноземной полосы этот переход от неприменения удобрения к острой нужде в нем происходил в разные периоды[1]. Так, в тридцатых годах прошлого столетия в бывш. Харьковской губ. применение навозного удобрения считалось вредным. В восьмидесятых годах считали, что для черноземной полосы важна лишь своевременная обработка почвы (ранняя вспашка пара), а удобрение не имеет существенного значения. В начале же текущего столетия на первый план выступила роль удобрения, и опытами Харьковской опытной станции было с ясностью показано, что только при сочетании ранней вспашки и удобрения достигается наилучший результат, причем прибавка от удобрения (навозом) оказалась даже выше, чем разница в урожаях по раннему и позднему пару. Это видно из следующих данных (урожай ржи в центнерах с 1 га):

	Без удобрения	По навозу	Прирост от навоза
Поздний пар	12,0	19,8	7,8
Ранний „	15,9	24,9	9,0
Прибавка	3,9	5,1	—

Работами той же Харьковской станции было выяснено, что при внесении навоза под озимые в пару на черноземе из содержащихся в навозе элементов главным образом действует фосфор. Это видно из следующих данных (среднее за 10 лет):

	Без удобрения	Селитра	Суперфосфат	Навоз
Урожай по чистому пару (в центнерах с 1 га)	11,5	11,5	19,2	20,1

В условиях чистых паров и чернозема нитрификация идет энергично, и потому селитра не действует, но действие суперфосфата почти равно действию навоза.

[1] Теперь не легко представить, что прежде в бывш. Рязанской губернии навоз был не нужен, как это наглядно описано очевидцем: «Земли тучна, у крестьянина еле-еле хватает сил, чтобы собрать урожай. Весь навоз свозится к реке, и когда сходит снег и прибывает вода, то навоз уносится водой» (записки Штадена, немца-опричника времени Ивана Грозного). Этот тип хозяйства постепенно отходил все дальше к югу и юго-востоку, и, вероятно, можно проследить движение этой волны истощения почвы по историческим данным (например, начало упоминания о вывозке навоза в хозяйственных договорах).

На основании таких опытов до последнего времени думали, что истощение чернозема касается только фосфора, а азота в нем еще достаточно; однако опытами НИУ доказано, что яровые, которым пар не предшествует, и на черноземе в районах давней культуры гораздо лучше озимых реагируют на азотистые удобрения.

Затем нужно отметить, что если чернозем долго противостоит истощению при культуре хлебов, то при возделывании технических растений падение урожаев (без удобрения) наступает быстро, как это показано опытами Сумской и Мироновской станций для сахарной свеклы. Вот пример из опытов с бессменной культурой (в центнерах с 1 га):

	1914 г.	1915 г.	1916 г.	1917 г.	1918 г.	1919 г.
Урожай свеклы без удобрения .	160	85	54	67	65	54
» » по навозу . . .	220	234	270	214	203	230

При этом свекла требует не только внесения *фосфора, но и азота и калия.* Так, опытами Мироновской станции было показано, что если при исключении навоза в минеральных удобрениях давать только азот и фосфор, то уже через две ротации пятипольного свекловичного севооборота (с 40% свеклы) чернозем проявляет явный недостаток калия.

Таким образом, увеличение участия в севообороте технических культур сильно повышает необходимость внесения, кроме навоза, также и минеральных удобрений, тем более что и в навозе у нас часто чувствуется острый недостаток вследствие малой площади или полного отсутствия лугов и в то же время недостаточного развития кормового клина на полях в очень многих областях, особенно в бывш. ЦЧО и на Украине.

В последние годы опытными станциями и передовиками сельского хозяйства степных районов южной Украины, Северного Кавказа, Заволжья, Западной Сибири и Казахстана показано, что и в этих районах, *при соответствующей агротехнике и умелом применении удобрений*[1], эффективность удобрений также может быть довольно высокой, несмотря на то, что культура там еще сравнительно молода и ощущается недостаток влаги. Но все же в указанных районах первоочередным фактором урожая остается вода, и рентабельное применение удобрений возможно только на фоне агромероприятий, способствующих накоплению и экономному расходованию воды.

В настоящее время перед нами стоит уже не только задача борьбы с истощением почв, как это представлял в свое время Либих, а задача дальнейшего поднятия урожаев. Поэтому теперь нельзя довольствоваться подсчетами выноса питательных веществ современными урожаями, а нужно учитывать тот повышенный уровень, которого мы должны и можем достигнуть с помощью удобрений и остальных агротехнических мероприятий (известно, что как первая ступень поднятия урожаев на ближайшее время—1942 г.—XVIII съездом ВКП(б) намечено получение 13 ц зерновых на гектар в среднем по всему Союзу).

Вопрос о ходе истощения касается больше всего черноземной полосы в районах старой культуры. Почвы же подзолистой зоны часто бедны от природы, и тут приходится заботиться не о «восстановлении плодородия», как у нас иногда говорят, а о *создании заново достаточных запасов усвояемых питательных веществ в почве*, которые позволили бы иметь высокие урожаи. А что при должном удобрении наши подзолы способны дать урожаи, не уступающие датским, доказано еще раньше работами опытного поля бывш. Петровской академии, а за последние годы—сотнями и тысячами передовых колхозников.

У нас прежде мало работали по вопросам удобрения, и мы не имеем своего Ротамстеда, хотя должны были бы иметь их целую серию, так как разнообразие почвенных типов в пределах Союза достаточно велико.

[1] Глубокая заделка удобрений, прежде всего.

Только за пятилетие (1926—1930 гг.) были получены такие данные опытов географической сети НИУ, которые позволили дать хотя бы предварительную характеристику потребности в удобрениях почв разных типов (так как число опытов для громадной территории Союза было все-таки недостаточно)[1].

По совокупности полученных тогда материалов потребность отдельных почвенных зон в удобрениях характеризовалась так (для тогдашнего уровня агротехники и урожаев):

Почвенные зоны	Азот	Фосфор	Калий
Подзолистая	Очень сильная	Сильная	Сильная
Северо-черноземная	Средняя	Сильная	Средняя
Южно-черноземная	Слабая	Средняя	Слабая
Каштановые почвы	Слабая	Средняя	Слабая
Сероземы	Сильная	Сильная	Слабая
Латериты	Средняя	Очень сильная	Слабая

Общие же итоги действия полного удобрения (NPK) (среднее за 1928, 1929 и 1930 гг.) видны из следующего графического изображения (рис. 14). Величины урожаев без удобрения и по полному удобрению для всех почв выражены здесь в процентах от урожаев на подзоле без удобрения.

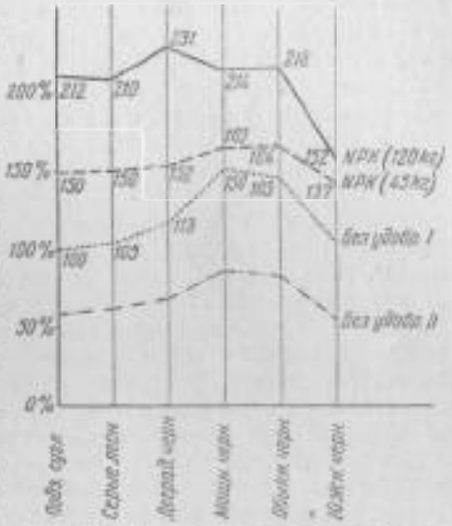


Рис. 14. Линия «Без удобрения I» означает урожай неудобренных делянок на полях опытных станций, а линия «Без удобрения II» отвечает урожаю урожаев яровых посевов в совхозах и колхозах по массовым данным.

Отсюда видно, что подзолы, дающие без удобрения низкие урожаи, при удобрении дают гораздо большие урожаи, чем чернозем без удобрения, но и на последних удобрение дает также крупное повышение, и на этом повышенном уровне обнаруживается почти полное *выравнивание урожаев на подзолах и черноземах под влиянием удобрения*, кроме юго-востока, где сильно сказывается влияние засухи.

В итоге удобрение при высоких дозах удваивает урожаи на громадной площади, охватывающей не только зоны подзолистых почв, серых лесных земель и северных (более или менее деградированных) черноземов, но и в зонах типичного чернозема, кроме засушливой полосы (но и там, в известной части, возможно повышение урожаев в $1^1/_2$ раза). Заметим, что принятый за 100 средний урожай на подзолах без удобрений относится только к опытным станциям и хозяйствам, участвовавшим в опытах географической сети, и он был выше общесоюзного среднего вследствие иного уровня агротехники. Поэтому удвоение против неудобренных делянок, бывших в опытах, отвечает приблизительно утроению урожая против статистического среднего (за те же годы) для всего Союза под влиянием одновременного действия удобрения и улучшенной обработки.

Если в основу построения плана туковой промышленности для первого и второго пятилетия были положены данные географической сети НИУ (1927—1931 гг.), полученные на опытных станциях, то данные наркомземовского Института удобрений и агропочвоведения (ВИУА), начавшего работать с 1932 г.,

[1] Данные ВИУАА стали получаться только с 1932 г.

позволили строить план третьей пятилетки с еще большей уверенностью, потому что за этот период опыты не ограничивались уже опытными станциями, но в широком масштабе перешли также и на поля колхозов и совхозов (при более детальном учете различных почвенных разностей). Теперь уже не может быть места сомнениям, будет ли действие удобрений достаточным при той агротехнике, какая достижима не на опытных станциях, а в массовом масштабе[1], а те урожаи, которые получили стахановцы—свекловоды, хлопководы, льноводы и др., наглядно показывают, какие большие количества удобрений могут быть продуктивно использованы у нас при повышенном уровне агротехники.

О БАЛАНСЕ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР

В заключение рассмотрим вопрос о балансе азота, фосфора и калия в земледелии СССР, т. е. вопрос о количественном соотношении между выносом питательных веществ из почвы урожаями с.-х. культур и возмещением их в виде минеральных и органических удобрений, а для азота также и за счет таких источников, как культура бобовых растений.

Понятно, что в условиях социалистического государства задача плановой организации круговорота веществ в земледелии может стоять как вполне реальная и осуществимая. Хотя капиталистический способ производства и создает «материальные предпосылки нового, высшего синтеза,—союза земледелия и промышленности на основе их антагонистически развитых форм»[2],—эти материальные предпосылки не могут быть ни в одной капиталистической стране использованы до конца, так как этого не допускает сама природа капиталистического общества (частная собственность на землю, фабрики и заводы, стихийность производства и потребления, кризисы и т. д.). Маркс указывал, что «разрушая чисто стихийно сложившиеся условия этого обмена веществ (между человеком и землей.—Д. П.), капиталистическое производство вынуждает восстановить его уже систематически, в качестве закона, регулирующего общественное производство, и в форме, соответствующей полному развитию человека»[3]. И мы действительно видим, как развитие химической промышленности становится одной из материальных предпосылок «высшего синтеза, союза земледелия и промышленности» в той части, которая касается регулирования круговорота веществ в земледелии, регулирования «обмена веществ между человеком и землей».

Но в условиях капитализма, как это неоднократно отмечал Маркс, действительно рациональное земледелие на каждом шагу наталкивается на непреодолимые помехи, налагаемые частной собственностью. И только социалистическая система позволяет сознательно планировать как развитие промышленности, так и земледелия на действительно научной основе, исходя не из стихийно складывающихся рыночных отношений, а из задачи полного удовлетворения потребностей трудящихся.

В социалистическом государстве, где земля является социалистической собственностью, где планируется урожайность, устанавливаются задания по производству удобрений государственной промышленностью, учитываются

[1] На деле оказалось, что недостаточное (даже по сравнению с прежним) использование навоза на крестьянских землях в период гражданской войны и следующих лет создало повышенную отзывчивость этих земель и удобрениям; в особенности это относится к калию, содержание которого в навозе гораздо больше, чем содержание фосфора, поэтому недостаточное применение навоза на указанный период во многих случаях вызвало в массовых опытах ВИУА даже большую отзывчивость на калий, чем это наблюдалось в опытах НИУ на полях опытных учреждений, где таких длительных перерывов в применении навоза не было.

[2] К. Маркс. Капитал, т. I, стр. 419—420, Партиздат, 1936 г. («Капиталистический способ производства доверяет разрыв того первоначального семейного союза земледелия и промышленности, который сочетал друг с другом младенчески-неразвитые формы обоих. Но он создает в то же время материальные предпосылки нового, высшего синтеза,—союза земледелия и промышленности на основе их антагонистически развитых форм»).

[3] Там же, стр. 420.

местные удобрительные ресурсы и организуется плановое их использование, в соответствии с заданиями по урожайности производится распределение удобрений по культурам и областям, а в колхозах и совхозах удобрения применяются в сочетании с передовой машинной техникой, правильными севооборотами и т. д.—только в этих условиях создается действительная возможность сознательного, основанного на данных науки и практики регулирования обмена веществ в земледелии «в форме, соответствующей полному развитию человека».

Если истощение почв в результате нарушения обмена веществ между человеком и землей нарушает «естественное условие постоянного плодородия почвы»[1], то, с другой стороны, массовое применение удобрений, основанное на развитии крупной химической промышленности, является одним из мощных факторов не только поддержания плодородия почв на постоянном уровне[2], но и дальнейшего повышения эффективного плодородия почв, как это можно видеть хотя бы на историческом примере поднятия урожаев в таких странах с высоким уровнем химизации, как Голландия, Бельгия, Германия и др.

Заметим, что изменение эффективного плодородия почв под влиянием применения удобрений вовсе не находится в прямом отношении к тому изменению общего содержания питательных веществ в почве, которое происходит в результате внесения удобрений; так как в удобрениях большей частью питательные вещества вносятся в формах, хорошо усвояемых для растений, то даже сравнительно небольшие количества их[3] способны оказывать сильное влияние на повышение эффективного плодородия почв. «...два земельных участка с одинаковым химическим составом почвы и в этом смысле одинакового естественного плодородия,—говорит Маркс,—могут быть различны по своему действительному, эффективному плодородию в зависимости от той формы, в которой содержатся в них эти питательные вещества и в которой они лучше или хуже усваиваются, более или менее непосредственно служат для питания растений»[4].

Поэтому *химизация земледелия*, являющаяся наряду с *механизацией* важнейшим фактором технической реконструкции социалистического сельского хозяйства, *представляет в то же время одно из главнейших условий прогрессивного повышения эффективного плодородия почв*[5].

Помимо повышения количества усвояемых питательных веществ в почве, внесение удобрений, особенно при их систематическом применении, способно оказывать влияние и на такие свойства почвы, как ее реакция, состав поглощенных катионов, и вообще на физические, физико-химические и биологические свойства почвы, также определяющие условия ее плодородия. Понятно, что рациональное применение удобрений должно быть таким, чтобы и эти свойства почвы изменялись в благоприятную сторону. Ниже, при рассмотрении отдельных удобрений, будут разобраны особенности их действия и в этом отношении; сейчас же остановимся несколько подробнее на общей характеристике баланса питательных веществ в нашем земледелии и основных направлениях регулирования этого баланса в связи с плановыми заданиями по урожайности и примерными размерами удобрительных ресурсов страны.

XVIII съездом ВКП(б) поставлена задача получения в конце третьего пятилетия ежегодного сбора не менее 8 миллиардов пудов зерна, при средней

[1] К. Маркс. Капитал, т. I, стр. 420.

[2] Как это представлял Либих.

[3] По сравнению с общим содержанием азота, фосфора и калия в почвах.

[4] К. Маркс. Капитал, т. III, 1936 г., стр. 574.

[5] Эту роль химизации (и механизации) отмечал Маркс, как это видно из следующих его хорошо известных слов:

«Таким образом, отчасти от развития земледельческой химии, отчасти от завоеваний в области земледельческой механики зависит та степень, в которой на двух земельных участках одинакового естественного плодородия последнее может быть действительно использовано. Поэтому, хотя плодородие и является объективным свойством почвы, экономически оно все же постоянно предполагает известное отношение—отношение к данному уровню развития земледельческой химии и механики и изменяется вместе с этим уровнем развития» («Капитал», т. III, 1936, стр. 574).

урожайности зерновых не менее 13 ц на гектар, даны задания по урожайности других культур и определены приросты поголовья скота.

Исходя из заданий по урожайности к концу третьего пятилетия, мы определяем примерные величины ежегодного выноса питательных веществ намеченными урожаями растений (в целом для всей страны) в следующих размерах[1]:

Азота (N)	6,4 млн. т
Фосфора (P_2O_5)	2,5 » »
Калия (K_2O)	5,8 » »

В конце второго пятилетия (1936—1937 гг.) средний уровень урожайности зерновых составлял около 10 ц на гектар, что соответствует (учитывая и уровень урожаев других культур) такому общему выносу азота, фосфора и калия:

Азота (N)	4,9 млн. т
Фосфора (P_2O_5)	1,8 » »
Калия (K_2O)	4,3 » »

Таким образом, повышение ежегодного выноса питательных веществ к концу третьего пятилетия должно составлять около 1,5 млн. т азота, 700 тыс. т P_2O_5 и 1,5 млн. т K_2O. Повышение этого выноса должно сопровождаться увеличенными размерами возмещения, главными статьями которого являются в отношении азота, фосфора и калия применение навоза, минеральных удобрений и отходов промышленности, сельского хозяйства и городов. Для азота мы имеем, кроме того, еще такой важнейший источник, как культура азотособирателей (клевера, люцерны и других трав и отчасти зерновых бобовых).

Надо иметь в виду, что некоторая часть выноса питательных веществ даже в странах с высоким уровнем химизации и высокой средней урожайностью покрывается за счет таких естественных почвенных источников, как, например, ассимиляция азота свободно живущими бактериями и т. п. Так, например, соотношение между выносом азота урожаями в Германии и возмещением его с помощью удобрений и культуры бобовых приблизительно таково, что в среднем наблюдается ежегодный «дефицит» в размере около 14 кг азота на гектар. Очевидно, этот дефицит (разность между выносом и возвратом) покрывается естественными источниками, так как он не мешает поднятию урожаев до уровня 20—25 ц на гектар зерновых в среднем для всей страны. Еще более значительны размеры дефицита по калию, который составляет для Германии (и других стран Западной Европы с высоким уровнем урожаев) в среднем около 21—22 кг K_2O (по расчету на 1 га) ежегодного превышения выноса калия растениями над возвратом его в виде навоза и минеральных удобрений.

Очевидно, здесь имеет место некоторый «заем» у почвы в отношении калия, однако, поскольку подобный дефицит все же позволяет поддерживать средние урожаи на уровне 20—25 ц на гектар, повидимому, он в течение многих лет может безболезненно компенсироваться постепенной мобилизацией малоусвояемых форм калия почвы в усвояемые для растений формы. Здесь надо учесть, что общие запасы калия в почвах (за исключением почв торфяных и легких песчаных почв) огромны, поэтому, по крайней мере для весьма длительного промежутка времени, вполне возможно без ущерба для эффективного плодородия почвы наличие известного дефицита по калию (покрываемого за счет мобилизации почвенных ресурсов) в размерах около 20—22 кг на 1 га в год в среднем для всей страны.

Иначе обстоит дело с фосфором. Опыт стран с высоким уровнем химизации показывает, что по фосфору следует стремиться к полной ликвидации разности между выносом и возвратом. В ряде случаев мы имеем примеры того, когда количество фосфора, вносимого с удобрениями, даже превышает размеры выноса его растениями. Так, например, Германия, несмотря на малую обеспеченность

[1] Детали расчетов мы опускаем; отметим, что расчеты эти, конечно, приблизительны, но все же они могут характеризовать достаточно хорошо порядок величин, с которыми мы имеем дело.

фосфатным сырьем, все же имеет активный баланс по фосфору и вносит в удобрениях примерно на 9% больше фосфора по сравнению с ежегодным выносом его из почвы (если принять его за 100%); точно так же подсчет баланса фосфора для отдельных хозяйств Западной Европы (Голландии, Бельгии, Германии), получающих высокие урожаи, дает примеры систематического превышения возврата фосфора над выносом в размере 5—6 или даже выше килограммов P_2O_5 на гектар (в среднем в год).

Поэтому когда мы делаем подсчет выноса питательных веществ будущими урожаями и соответствующих размеров возмещения его, то это отнюдь не значит, что мы должны слепо следовать тезису Либиха о полном возврате всего взятого у почвы. Мы знаем теперь несколько больше, чем было известно Либиху 100 лет назад, и нам не для чего руководствоваться априорными соображениями 1840 г. К нашим услугам весь последующий опыт Западной Европы, показавший, что поднятие урожаев до высоты 20—25 ц на гектар вполне совместимо с известным дефицитом азота (около 14 кг N на 1 га) и еще более значительным дефицитом по калию (21—22 кг K_2O на 1 га) и, как мы видели, только для фосфора, видимо, необходимо полное возвращение или даже избыток фосфора, вносимого в удобрениях, против выноса его урожаями[1].

Делая ориентировочные подсчеты в целях общегосударственного планирования удобрительных ресурсов для СССР, мы должны прежде всего отметить, что структура нашего современного баланса довольно сильно отличается от того, который характерен для передовых в экономическом отношении капиталистических стран, а именно, у нас значительно большая доля выноса падает на естественные (почвенные) источники. Если сопоставить соответствующие данные, отвечающие условиям последних двух лет второй пятилетки, с характеристикой баланса азота, фосфора и калия для Германии и Дании, то мы получаем такую картину (в относительных числах):

Баланс азота, фосфора и калия в 1936—37 г.

	N			P_2O_5		K_2O	
	СССР	Германия	Дания	СССР	Германия	СССР	Германия
Вынос	100	100	100	100	100	100	100
Возвращается:							
Навоз (и отходы) . .	22,5	42,2	55,5	25,5	56,6	30,2	36,3
Минеральные удобрения	4,1	22,5	10,0	22,3	52,8	4,2	36,4
Корневые остатки бобовых	6,9	14,5	25,6	—	—	—	—
Всего возвращается . .	33,5	79,2	91,1	47,8	109,4	34,4	72,2
Разность	−66,5	−20,8	−8,9	−52,2	+ 9,4	−65,6	−27,3

Следовательно, структура нашего баланса отличается значительно большим удельным весом того дефицита, который покрывается за счет почвенных ресурсов. Конечно, относительные размеры этого дефицита (не в килограммах на 1 га, а в процентах от выноса) зависят еще и от уровня урожаев; так, если дефицит по азоту в 14 кг N (на гектар) для уровня урожаев в Германии отве-

[1] Заметим, что приведенные здесь величины допустимого дефицита по азоту и калию, конечно, являются лишь первым приближением. Понятно, что и различия в почвенно-климатических условиях, степени выпаханности почв и уровне агротехники будут здесь в какой-то мере сказываться, особенно если подходить к дифференцированному планированию баланса питательных веществ в разрезе областей, районов и тем более отдельных хозяйств. В этом отношении многое подлежит дальнейшему исследованию и уточнению. Для первых же приблизительных расчетов и притом в масштабе всей страны наиболее надежным будет учет тех данных, которые дает нам опыт соседних стран, получающих с помощью удобрений сравнительно высокие средние урожаи, несмотря на наличие известного дефицита по азоту и калию.

чает примерно 20,8%, то для урожаев порядка 13 ц зерновых (на гектар) те же 14 кг азота будут составлять около 31% от общего выноса азота, принятого за 100%. Поэтому понятно, что при более высоких урожаях относительная величина этого источника будет меньше. Отсюда вытекает, что *при систематическом повышении урожаев нам необходимо будет постепенно увеличивать относительный удельный вес активных статей прихода в общем балансе питательных веществ.*

В итоге можно сказать, что нам предстоит принимать меры не только для обеспечения повышения выноса азота, фосфора и калия по мере роста урожайности, но одновременно надо понизить ту дефицитность нашего современного баланса, которая несовместима с заданием перехода к устойчивому и неуклонному повышению урожаев и с задачей систематического поднятия эффективного плодородия почв.

Для того чтобы структуру баланса азота, фосфора и калия в СССР привести в соответствие с этими задачами, необходимо, кроме развития химической промышленности, всемерно увеличить такие статьи прихода, каждыми являются применение навоза, культура азотособирателей (бобовых) и использование в целях удобрения отходов и отбросов (зола и пр.).

В качестве ближайшей перспективы мы можем наметить достижение за счет местных ресурсов в 1942—43 гг. следующих размеров возмещения выноса азота, фосфора и калия урожаями, отвечающими уровню в 13 ц зерновых с 1 га (в среднем):

Статьи баланса	Азот (N)		Фосфор (P_2O_5)		Калий (K_2O)	
	в млн. тонн	в процентах	в млн. тонн	в процентах	в млн. тонн	в процентах
I. Вынос с урожаями	6,40	100	2,50	100	5,80	100
II. Возвращение за счет местных ресурсов						
Навоз (400 млн. т)	2,00	31,2	1,00	40,0	2,40	41,4
Азот корневых остатков бобовых (трав)	1,00	15,6	—	—	—	—
Отходы и отбросы	0,50	7,8	0,20	8,0	0,20	3,4
Азот зерновых бобовых	0,30	4,7	—	—	—	—
Итого	3,80	59,3	1,20	48,0	2,60	44,8

Как видно из приведенной таблицы, в общем балансе питательных веществ огромная роль должна принадлежать навозу. Заметим, что в 1937—38 г. количество вывезенного навоза составляло у нас лишь около 200 млн. т. Поэтому мероприятиям по увеличению накопления и использования навоза принадлежит исключительно большая роль в улучшении общего баланса удобрительных ресурсов страны. Принятое нами количество в 400 млн. т навоза является достижимым при должном внимании к этому делу; оно соответствует намечаемым размерам нашего животноводства и увеличению кормовой площади. Здесь надо использовать все пути не только для выполнения, но и для перевыполнения намеченных размеров вывоза навоза.

В азотном балансе[1], кроме того, исключительно большой должна быть роль посевов бобовых трав. Расширение посевов клевера, люцерны и других бобовых (а также использование зеленого удобрения) является одним из главнейших мероприятий, которые должны обеспечить улучшение азотного баланса и выполнение поставленных партией и правительством заданий по повышению урожайности в нашей стране.

Для того чтобы выполнить размеры запланированного накопления азота бобовыми, необходимо значительное расширение посевов клевера, люцерны

[1] К рассмотрению вопроса об азотном балансе мы еще вернемся в следующей главе.

и других бобовых с доведением площади под ними примерно до 12—13 млн. га. Считая по 160 кг азота на 1 га, мы имели бы ежегодное связывание азота бобовыми (при этой площади) в 2 млн. т азота. Практически эти 2 млн. т распределяются так: около половины будет находиться в почве, в пожнивных остатках, а другая половина с надземными частями будет поступать, пройдя через организм животных, в навоз.

Заметим, что навоз сам по себе является не столько приходной статьей по азоту (он может быть, наоборот, крупным источником потерь, если плохо хранится), сколько передаточной инстанцией, содержащей, во-первых, часть азота, взятого из почвы предыдущим урожаем (корма и подстилка), а во-вторых, также и ту часть азота, взятого из воздуха, которая содержалась в клевернем сене.

Расчленить эти две части можно лишь условно, допуская, например, что из всего количества азота, связанного клевером, половина остается в почве (в корневых остатках), а другая половина содержится в клевернем сене (поступающем в корм животным), а затем переходит в навоз.

Таким образом, на долю азота бобовых в целом придется около 30% от общего выноса азота урожаями (15% в корневых остатках и 15% через навоз); еще около 30% покрывается (в сумме) за счет оборота азота с навозом, применения отходов и пр. и, наконец, остальные 40% падают в значительной мере на счет использования азота почвы, работы азотобактера и тому подобных источников (а в некоторой части покрываются внесением минеральных азотистых удобрений).

Что касается того количества азота, которое приходится в ежегодном балансе на долю азота биологического[1], то здесь надо иметь в виду, что даже в таких странах сравнительно высокого уровня химизации, как Германия, в виде минеральных удобрений вносится ежегодно всего около 22,5% от общего выноса азота урожаями; в Дании эта доля азота «технического» опускается до 10%, а в США составляет 6,5%. Понятно, что при громадных размерах нашей посевной площади количественное преобладание в общем балансе «биологического» азота над азотом техническим (по крайней мере в ближайшие годы) представляет наиболее естественный и целесообразный путь разрешения азотной проблемы.

Значительно больший удельный вес минеральные удобрения должны занимать в активной части баланса по фосфору. Заметим, однако, что роль минеральных удобрений в организации общего круговорота веществ в земледелии на самом деле значительно более существенна, чем это может показаться на первый взгляд из сопоставления отдельных рубрик баланса. А именно, *минеральные удобрения представляют ежегодный источник новых поступлений азота, фосфора и калия в сельское хозяйство*, увеличивающий общие размеры оборота их в земледелии, причем каждый год некоторая часть этих питательных веществ (через растения, а затем корма и подстилку) переходит в навоз, а следовательно, увеличивает возможные размеры того круговорота их, который связан с применением навоза. То же самое относится и к азоту, связанному с помощью бобовых растений. И здесь, как уже было сказано, значительная часть азота попадает в конечном счете в навоз (главным образом через корма).

Общие размеры разности между выносом и возвратом азота, фосфора и калия подлежат *особенно резкому изменению по графе фосфора*. Если в 1936—37 г. дефицит по фосфору составлял у нас около 50%, то в ближайшее время как за счет увеличения возврата фосфора с навозом (40% против 25,5%), так и за счет роста производства минеральных удобрений мы должны значительно снизить дефицит по фосфору. Надо заметить, однако, что вообще дефицит по фосфору не является желательным, и необходимо в ближайшее время принять соответствующие меры к дальнейшему увеличению производства и применения фосфорнокислых удобрений. Это может быть сделано, в частности, за счет сильного увеличения производства *фосфоритной муки* местной промышленностью.

Что касается некоторой дефицитности баланса по *азоту* и *калию*, то, как уже было сказано выше, мы не считаем необходимым добиваться полной компенсации выноса N и K.

[1] Т. е. азота, связанного клубеньковыми бактериями при культуре бобовых растений.

По азоту имеются такие естественные источники покрытия дефицита, как деятельность азотобактера и частично азот атмосферных осадков. Если принять ту норму допустимого дефицита азота, которая характеризует структуру азотного баланса в таких странах интенсивной химизации, как, например, Германия, т. е. около 14 кг N на гектар, то это составит для нашей площади около 2 млн. т азота.

Точно так же и по калию за счет мобилизации естественных (почвенных) ресурсов можно отнести, считая в среднем около 20 кг K_2O на гектар, примерно 3 млн. т K_2O на всю площадь.

Однако при определении размеров потребности в минеральных удобрениях, помимо соображений, касающихся задачи урегулирования общего баланса азота, фосфора и калия в земледелии, мы должны еще учесть особые условия отдельных районов и областей с повышенной потребностью к снабжению минеральными удобрениями, каковы, например, районы свекловодства и полинного хлопководства.

Задача повышения урожайности хлопчатника, сахарной свеклы и других технических культур требует значительного усиления снабжения этих культур минеральными удобрениями. Такие источники азота, как навоз, посевы бобовых, при всем их огромном значении в общем балансе азота в стране, в ряде районов возделывания технических культур оказываются далеко не достаточными, а переброска их из одних районов в другие—невозможна.

Поэтому дальнейшее быстрое увеличение производства минеральных азотистых удобрений имеет важнейшее значение не только с точки зрения улучшения общего (суммарного) баланса азота, но и потому, что повышение удельного веса минеральных удобрений в структуре этого баланса создает большую возможность усиленного (в соответствии с общим планом народного хозяйства) снабжения удобрениями и повышения урожайности наиболее ценных технических культур.

То же самое можно сказать и по отношению к структуре баланса по калию. *Для удовлетворения повышенной потребности в калии технических культур*, в особенности свеклы, льна, а также картофеля и овощных культур, необходимо значительно *повысить долю минеральных удобрений в общем балансе калия*, которая в 1937 г. была слишком низкой (составляя всего около 4%).

Мы считаем необходимым особенно подчеркнуть настоятельную потребность в ближайшие годы дальнейшего резкого повышения производства калийных удобрений, необходимых для повышения урожайности технических культур. Наши ресурсы в части калийного сырья огромны, но для надлежащего обеспечения сельского хозяйства калийными удобрениями необходимо не только расширение добычи калийных солей на существующем руднике в Соликамске, но и быстрейшее осуществление строительства нового калийного рудника, на что, понятно, потребуется известное время.

В заключение мы должны сказать, что плановое использование всех удобрительных ресурсов страны, при должном внимании к проблеме химизации земледелия и при максимальном использовании имеющихся возможностей, может полностью обеспечить как выполнение поставленных партией и правительством заданий в третьей пятилетке, так и создать надежную базу для дальнейшего роста урожаев и прогрессивного повышения эффективного плодородия почв в нашей стране.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ (СПЕЦИАЛЬНАЯ)

АЗОТИСТЫЕ УДОБРЕНИЯ

Ни один из элементов минеральной пищи растений, поступающих через корни, не входит непосредственно в состав органических веществ, образуемых растением, в таких количествах, как азот, на который приходится около $^1/_6$ (16—18%) от веса главной составной части протоплазмы—белковых веществ.

В нашей прежней литературе нередко недооценивалась необходимость достаточного снабжения растений азотом и встречались утверждения, что урожай хлебов уносит всего лишь 16—20 кг азота на 1 га. Но нельзя упускать из виду, что эта цифра относится к тому низкому уровню урожая (7 ц), на котором революция застала нашу страну и от которого мы теперь ушли вперед (в 1937 г., например, средний урожай всех зерновых культур в СССР был равен 11.5 ц, а по озимой пшенице—13,68 ц на гектар). Низкий уровень питания азотом означает не только малые урожаи, но и низкий процент азота (а значит и белков) в урожае. Если же говорить об урожаях в 15 ц, то они уносят азота уже около 40—45 кг, а при 30 ц урожая вынос азота может достигать 100 кг. Заметим, что урожаи порядка 20—25 ц на гектар со всей площади посева в теперь уже представляют нередкое явление во многих колхозах и совхозах, не говоря уже о стахановских бригадах и звеньях, получающих урожаи зерновых порядка 50—70 ц на гектар и выше.

Технические растения, особенно при высоком урожае, уносят еще больше азота, чем зерновые, что можно видеть из следующего сопоставления:

Культуры	Урожай на гектар	Примерный вынос азота[1] (в килограммах на гектар)
Зерновые хлеба	15—20 ц зерна	40—60
	25—30 » »	85—100
Картофель	200—250 ц клубней	100—125
	300—350 » »	150—175
Сахарная свекла	200—250 ц корней	90—125
	400—500 » »	180—250
	600—700 » »	270—350
Хлопчатник	15—20 ц сырца	90—120
	30—40 » »	160—200
	50—60 » »	240—270
	90—100 » »	360—400

Кроме размеров выноса азота разными культурами, с точки зрения баланса азота в хозяйстве необходимо еще принять во внимание судьбу урожая. Так, в одних случаях питательные вещества, взятые растениями из почвы, целиком уходят из хозяйства (лен, табак); в других же случаях только часть их удаляется (например, азот в зерне злаковых), а другая—с навозом (азот соломы) возвращается в почву; в-третьих (по крайней мере теоретически) все возвращается в почву (азот кормовых корнеплодов) и, в-четвертых, в почву возвращается больше, чем из нее взято (азот в сене клевера и люцерны).

[1] Включая содержание азота в соломе, ботве и т. д.

Так как у нас около 97% площади приходится на культуры первой и второй групп, то мы имеем дело с ясно выраженным дефицитом азотного баланса. Дело не только в том, что в навоз не попадает азот зерна (а количество этого азота даже при прежних наших урожаях достигало 1 600 000 т азота), но количество фактически вносимого с навозом азота далеко не отвечает подсчетам, основанным на составе соломы и кормов, потому что у нас не весь навоз идет на удобрение, местами (на юго-востоке) он частично используется как топливо. Кроме того, при хранении и вывозке происходит потери азота, которые могут достигать 30—50%; в итоге, из общего выноса азота нашего урожая в 4 900 000 т*, с навозом возвращается пока около 1 000 000 т, т. е. около $^1/_5$ выноса. Если к этому добавить азот корневых остатков бобовых и азот минеральных удобрений, то по подсчетам для 1937 г. мы возвращали в сумме всего около $^1/_3$ выноса азота урожаями (см. табл. на стр. 193), остальные $^2/_3$ выноса азота покрывались частью работой свободно живущих азотособирателей и азотом атмосферных осадков, частью же должны быть отнесены за счет использования запасов азота почвы (особенно в черноземной полосе).

Если на основе имеющихся данных (относящихся к западно-европейской практике) принять, что такие источники, как деятельность свободно живущих в почве азотособирателей и азот атмосферных осадков, могут дать в среднем около 14 кг на 1 га азота в год, то для нашей посевной площади эта статья прихода в абсолютных величинах будет примерно равняться 2 млн. т азота. Понятно, что эта величина может быть определена лишь весьма приблизительно, тем более что в зависимости от плодородия почвы, климатических условий, агротехники и т. д. размеры фиксации азота свободно живущими азотособирателями могут сильно варьировать. В частности, можно предполагать, что в районах более южных, вследствие большей продолжительности периода интенсивной деятельности микроорганизмов, за этот счет будет накопляться больше азота, чем в почвах подзолистой зоны. Поэтому приведенный здесь расчет, являясь грубо приблизительным, характеризует лишь порядок величин, с которыми мы имеем дело при общей оценке азотного баланса.

Если все же принять, что мы можем иметь около 2 млн. т азота за счет естественных источников (азотобактер + осадки), то при общем выносе в 4,9 млн. т (что соответствует уровню урожаев, достигнутому к концу второго пятилетия) за этот счет можно было покрыть около 40% общего выноса азота. Так как в 1937 г. примерно 30% выноса мы возвращали в почву в навозе, минеральных удобрениях и корневых остатках бобовых, то в сумме это составит около 70%, а остальные 30% представляют тот *дефицит*, который, очевидно, покрывается за счет *мобилизации имеющихся запасов азота почвы*, в частности, азота наших черноземов.

Если в ближайшее время мы и не будем ставить перед собой задачу полной ликвидации этого дефицита, то все же несомненно, что нам надо стремиться к созданию более активного азотного баланса, так как задачу повышения урожаев нельзя основывать на истощении почв. Во всяком случае надо иметь в виду, что *по мере роста урожаев относительная доля отмеченных выше естественных источников в азотном балансе будет снижаться* и большую часть выноса надо покрывать азотом удобрений и культурой растений-азотособирателей (бобовых).

Необходимость резкого улучшения нашего азотного баланса в целях дальнейшего поднятия урожаев и повышения плодородия почв ставит перед нами задачу в ближайшие же годы довести суммарный приход азота примерно до 6,4 млн. т. Эта задача может быть разрешена только *одновременным использованием двух путей фиксации атмосферного азота—технического* (синтез аммиака) *и биологического* (синтез белков в клубеньках бобовых и работа азотобактера).

Оба эти пути разрешения азотного вопроса имеют свои положительные стороны и свои трудности. Они взаимно друг друга дополняют, но заменять

* Этот подсчет относится к 1935—37 г.

друг друга совсем не могут. Для азота технического характерны: большая быстрота действия в связи с растворимостью и высокой усвояемостью продуктов заводского синтеза (отсюда—возможность высокого темпа в поднятии урожаев); большая транспортабельность при высоком содержании азота (например, процент азота в синтетической мочевине в 100 раз больше, чем в навозе) и возможность переброски, по желанию, в любой район; возможность гораздо большего насыщения севооборота техническими культурами, чем при отсутствии технического азота. Мы не могли бы занять в Средней Азии такой большой процент площади хлопчатником, если бы хлопководные районы широко не снабжались азотистыми удобрениями.

Следует иметь в виду, что развитие крупной азотной промышленности необходимо и по иным причинам: прежде всего она связана с нуждами обороны и военной мощью страны.

Но азот технический всегда дороже азота клевера и азота навоза; поэтому даже в странах с высокоразвитой промышленностью не ему принадлежит главная роль в снабжении с.-х. растений азотом, а азоту биологическому (включая сюда и часть азота навоза, так как в навоз переходит азот клеверного сена). В сущности, биологический путь фиксации азота воздуха является даровым, если все расходы по культуре клевера (или люцерны) оплачиваются животноводством.

Если бы вместо 3—4% площадей под клевером и люцерной мы имели хотя 10%, то площадь клеверов в 13,5 млн. га давала бы ежегодный приход азота в 2 млн. т, что отвечает нескольким десяткам азотных комбинатов и что может оказать весьма существенное влияние на поднятие наших урожаев. Но мы располагаем еще большими возможностями: в зону возможного распространения клевера входит около 60 млн. га (подсчеты П. И. Лисицына), и при введении семипольного севооборота с двумя полями клевера мы получали бы 17,2 млн. га уносной площади, что может дать до 2,7 млн. т азота (не учитывая еще предстоящего расширения пашни на севере).

Так как все расходы по культуре клевера будут оплачены животноводством, то по дешевизне этот способ фиксации азота воздуха стоит вне конкуренции. Кроме интересов животноводства, расширение клевероселения хорошо гармонирует и с такой задачей, как продвижение пшеницы на север, так как в области подзолистых почв пшеница лучше удается на полях, прошедших через культуру клевера и хорошо унавоженных.

Итак, биологический путь может дать нам громадное количество дешевого азота при попутном осуществлении других задач. Однако здесь следует учесть важное условие: планирование в этой области должно вестись заблаговременно.

Именно при двухлетнем пользовании клевером между годом его посева и уборкой той зерновой культуры, под которую он должен улучшить почву, проходит промежуток в 4 года; конечно, действие обогащенного азотом навоза, получаемого от клевера, может сказаться раньше, но все же только на третий год после его посева, и только постепенно, проходя по всем полям севооборота, клевер будет оказывать общее влияние на подъем урожаев[1]. Следовательно, при бесспорном преимуществе—дешевизне—азот биологический имеет свои недостатки в сравнении с азотом техническим: отсутствие транспортабельности, большая медленность действия. Биологический азот не может быть также прямо использован для целей обороны. (Отметим, однако, что чем больше посевов клевера в стране, чем она богаче скотом и навозом, тем менее пострадают урожаи хлебов при затянувшейся войне от отнятия азота технического на другие цели.)

[1] Быстрее действует биологический азот при посеве в запашке бобовых (например, люпина) на зеленое удобрение. Подобно навозу, зеленое удобрение, запаханное в паровом поле, непосредственно действует на урожай озими, следующей за паром (см. ниже «Зеленое удобрение»). Этот путь, конечно, следует использовать, но *не заменен*, а в дополнение к программе развития клевероселения.

Понятно, что вместе с ростом производства минеральных удобрений и расширением посевов клевера, люцерны и других бобовых большое значение должно иметь для улучшения азотного баланса увеличение количества азота, вносимого с местными удобрениями—торфом, навозом и т. д.; рост накопления навоза, применение лучших способов хранения и более полное рациональное его использование могут дать сотни тысяч тонн азота. Заметим, что эта статья тесно связана с двумя другими, так как через корма и подстилку в навоз переходит в значительной части и азот, связанный бобовыми, и азот, усвоенный растениями из минеральных удобрений.

Указывая на настоятельную необходимость *использования всех этих путей улучшения нашего азотного баланса*, мы должны в то же время подчеркнуть особо важную роль азотной промышленности и производимых ею удобрений для сельского хозяйства. Обобщая сказанное выше о разнице между азотом клевера, люцерны и т. д., а также навоза и других местных удобрений, с одной стороны, и минеральными удобрениями—с другой, мы можем характеризовать ее следующим образом: *в первом случае мы имеем дело с источниками азота, хотя и дешевыми, но не транспортабельными*, они хороши только на месте, их нельзя мобилизовать и направить на тот участок «азотного фронта», который этими ресурсами не располагает (например, в Среднюю Азию), тогда как *концентрированные азотистые удобрения подвижны и могут быть направлены туда, где местные хозяйственные источники азота находятся в минимуме, что чаще всего встречается в районах интенсивного развития технических культур*. Все эти соображения должны быть приняты во внимание при оценке значения концентрированных азотистых удобрений для нашего земледелия на настоящем этапе его развития, когда азотистые удобрения идут преимущественно под ценные культуры, занимающие у нас громадную площадь (11 млн. га под техническими и 8 млн. га под плодовыми и овощными культурами). Но, помимо громадного спроса на азотистые удобрения со стороны этих культур, для удовлетворения которого азотная промышленность должна еще много поработать, в дальнейшем хлеба все-таки проявят спрос на азотистые удобрения, даже если клеверосеяние займет у нас не 3%, а 20% посевной площади, как это имеет место, например, во Франции; опыт Западной Европы показывает, что клеверосеяние позволило удвоить урожаи хлебов против средневекового уровня, т. е. довести их до высоты 15 ц, но современные высокие урожаи, достигающие 25—28 ц в среднем для целых стран (Бельгия, Голландия), стали получаться только тогда, когда, кроме клевера, еще и химическая промышленность стала играть заметную роль в удовлетворении потребности земледелия в азоте (см. графики на стр. 14).

* * *

В качестве азотистых удобрений применяются материалы, содержащие азот как в *окисленной форме*, так и в *восстановленной*. К первому типу относятся разные виды *селитры*, т. е. азотнокислые соли различных оснований, ко второму—*аммиачные соли* и *органические азотистые соединения* (преимущественно белки в различного рода отходах от переработки продуктов животноводства).

Источниками для получения минеральных (неорганических) азотистых удобрений могут быть:

1) естественные залежи азотнокислых солей (чилийская селитра);

2) получение аммиачных солей путем утилизации аммиака отходящих газов коксовых печей, очистительных установок газовых заводов и т. п.;

3) синтетические способы получения азотистых соединений из атмосферного азота; сюда относятся:

а) соединение азота с кислородом при пропускании воздуха через пламя вольтовой дуги (температура около 3 000°) с последующим окислением NO до NO_2 и получением HNO_3 (норвежский дуговой процесс);

б) соединение газообразного азота с карбидом кальция (цианамидный процесс);

в) соединение газообразного азота с водородом при высоком давлении (от 200 до 1 000 атм.), повышенной температуре (600—700°) и в присутствии катализаторов (получение синтетического аммиака).

Вначале единственными из перечисленных здесь источников были добыча чилийской селитры и утилизация аммиака коксовых печей. В течение довольно продолжительного времени—около 90 лет (с 1830 г. до мировой войны 1914—1918 гг.)—чилийская селитра занимала господствующее положение на мировом рынке азотистых удобрений. Производство аммиачных солей из аммиака коксовых печей по своим размерам было также довольно значительным, но все же большая часть мирового производства азота до войны приходилась на долю чилийской селитры.

Начало создания синтетической азотной промышленности относится главным образом к 1905—1907 гг., когда началось производство норвежской селитры и цианамида. Однако ни одному из этих способов связывания атмосферного азота не пришлось занять доминирующей роли в производстве азотистых удобрений. Первый из них (норвежский дуговой процесс) оказался слишком дорогим по количеству затрачиваемой энергии и в настоящее время промышленного значения не имеет.

Производство цианамида развивалось более успешно, и в настоящее время на его долю приходится около 11% от общего мирового производства азотистых удобрений.

Наибольшее же значение приобрел освоенный в широком промышленном масштабе за годы мировой войны и после нее третий из указанных выше способов связывания атмосферного азота—получение синтетического аммиака. Примерно с 1925 г. этот процесс занял ведущее место среди других способов производства азотистых соединений, и с тех пор удельный вес его в общей продукции азотной промышленности неуклонно возрастает.

Синтетический аммиак используется в настоящее время для получения не только аммиачных солей, но и для производства азотной кислоты и ее солей.

Поэтому рассмотрение азотистых удобрений мы начнем с краткого описания способов получения синтетического аммиака и азотной кислоты и далее остановимся на характеристике особенностей главнейшего ассортимента получаемых на них удобрений.

СИНТЕТИЧЕСКИЙ АММИАК

Теоретическими работами выдающихся немецких химиков—Нернста и Габера—принципиальная возможность синтеза аммиака из азота и водорода была доказана еще в довоенное время. Но переход к широкому практическому использованию этого пути произошел в Германии под давлением острой необходимости во время войны 1914—1918 гг.

Технический прогресс в данной области позволил этому способу не только удержаться после войны, но и сделаться господствующим методом связывания азота воздуха.

Габер сначала изучал общие закономерности равновесия между нестойкими соединениями и продуктами их диссоциации при разных условиях давления и температуры. К числу таких нестойких соединений относится и аммиак: при нагревании происходит постепенный распад аммиака на азот и водород, а при 1 000° распад этот является почти полным (остается меньше 0,001 части NH_3); однако тот факт, что распад все же не идет до самого конца, указывает на то, что где-то близко лежит возможность обратного хода реакции, т. е. образования аммиака за счет свободных азота и водорода при высокой температуре.

Затем Нернст, исходя из теоретических соображений, высказал предположение, что так как при образовании аммиака происходит уменьшение объема (из четырех объемов смеси газов получаются два объема аммиака согласно

уравнению: $N_2+3H_2=2NH_3$), то нужно ожидать, что повышенное давление будет благоприятствовать течению этой реакции.

Так как техника применения высоких давлений тогда не была разработана, то считали, что эти работы имеют только теоретический интерес и к промышленному синтезу аммиака не приложимы.

Но опасность положения, в каком попала Германия вскоре после начала войны, заставила ее приложить новые усилия и, создав соответственное техническое оборудование, воплотить в жизнь реакцию Габера, раньше считавшуюся не имеющей практического интереса.

Трудность разрешения азотного вопроса в Германии возникла вследствие вступления в войну Англии, благодаря чему Германия оказалась отрезанной от Чили, а также и от Норвегии; создавая блокаду, Англия надеялась принудить Германию к сдаче летом 1915 г. с помощью азотного (а не хлебного) голода, но использование открытия Габера в промышленном размере помешало осуществлению английских планов.

По окончании войны вся продукция азотных заводов пошла для целей удобрения, и Германия избавилась от необходимости платить ежегодно сотни миллионов марок золотом за чилийскую селитру, как это приходилось делать прежде. На этом примере ясно сказалась связь между химической промышленностью, обеспечением земледелия азотистыми удобрениями и обороноспособностью страны.

Так как способ Габера лежит в основе развития и нашей азотной промышленности, то остановимся вкратце на условиях, в каких осуществляется эта реакция, и как происходит переход от сырья (вода, воздух и уголь) к синтетическому аммиаку.

На пути перенесения лабораторных опытов в заводскую обстановку пришлось преодолеть ряд крупных затруднений; так, при температурах, близких к красному каленью, происходят изменения в свойствах материалов, из которых строятся аппараты; например, сталь при этих условиях в соприкосновении с водородом теряет углерод, и ее прочность понижается; железо, воспринимая водород, меняет свойства и, кроме того, при больших давлениях становится проницаемым для водорода; отсюда опасность взрывов или возникновения водородного пламени и необходимость особых приспособлений для контроля, а также особенно стойкой стали.

Кроме особых требований к прочности аппаратуры, приходится предъявлять исключительно высокие требования к чистоте газов, что стоит в связи с участием катализаторов.

Примесь некоторых веществ (которые сами по себе недеятельны) может усиливать действие катализаторов (таковы, например, окись хрома), и, наоборот, примесь других может «отравлять» катализатор, т. е. подавлять его действие; такими «ядами» являются, например, следующие металлоиды: сера, селен, теллур, фосфор, мышьяк, бор. Ничтожные следы этих ядов уже мешают ходу процесса, поэтому приходится тщательно очищать газы (азот и водород) от примесей сернистых соединений; нельзя даже при их сушке применять серную кислоту.

Кроме указанных препятствий, нужно было преодолеть еще и дороговизну добывания водорода и азота. Так как Германия не располагает водной энергией, чтобы получать водород путем электролиза воды, то пришлось разлагать воду действием высокой температуры, используя энергию угля. Здесь применена была старая, но обновленная дополнениями, реакция получения водяного газа: вдувание паров воды в раскаленный уголь.

При этом уголь отнимает кислород воды и получается смесь водорода с окисью углерода:

$$C+H_2O=CO+H_2.$$

Но далее было найдено, что окись углерода при высокой температуре и в присутствии известных катализаторов, приходя в соприкосновение с новыми количествами паров воды, реагирует дальше:

$$CO+H_2O=CO_2+H_2,$$

или в сумме обе реакции сводятся к такому уравнению:

$$C+2H_2O=CO_2+2H_2.$$

Так как углекислота легко поглощается водой (при больших давлениях), то этот метод ее удаления и является удешевленным путем получения водорода в больших количествах.

Для получения азота служит другой генератор, наполненный горящим коксом, при отрегулированном доступе воздуха, так, чтобы кислород был потреблен в процессе горения по возможности полно и чтобы вместо входящей смеси азота с кислородом из генератора выходила смесь азота с углекислотой; опять-таки, поглощая углекислоту водой под давлением в 25 атм., получают азот, который после очистки поступает в тот же газгольдер, как и водород; эта смесь, приведенная к отношению одного объема азота на три объема водорода, и служит для синтеза аммиака, для чего она подвергается постепенному сжатию до 200 атм. и тогда поступает в контактную печь. Там, под влиянием катализатора, ускоряющего наступление равновесия, известная часть азота и водорода дает аммиак:

$$N_2+3H_2=2NH_3.$$

Образующийся аммиак выводится из сферы реакции поглощением водой, а не прореагировавшая часть смеси снова направляется в контактную печь вместе с вновь притекающим азотом и водородом.

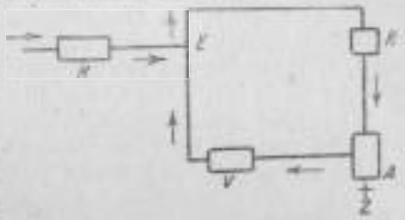


Рис. 15.

Ход производства аммиака в его конечной стадии может быть представлен такой схемой (рис. 15).

Смесь азота и водорода поступает в компрессор K, где она подвергается давлению в 200 атм. Это давление поддерживается далее во всей системе, в которой происходит круговое движение газов (это необходимо потому, что только известный процент газовой смеси вступает в реакцию, остальная же часть азота и водорода должна быть по поглощении аммиака возвращена к исходному пункту системы). Буквой E на рисунке обозначено место вхождения газов, идущих от компрессора; далее смесь поступает в камеру (печь) R, где происходит реакция синтеза; камера эта, наполненная контактной массой (катализатор), нагревается до температуры, благоприятной для синтеза (650° и выше), причем тепло выходящих из него газов используется для подогревания газов входящих; прошедшая через катализатор смесь газов охлаждается и проводится через поглотитель A, где введенная с помощью пульверизатора вода поглощает образовавшийся аммиак, и затем крепкий раствор аммиака выводится из системы в точке Z; так как только меньшая часть азота и водорода, проходя через катализатор, дает аммиак, то остальная часть газов, не оставляя системы (следовательно, оставаясь под большим давлением), перекачивается с помощью насоса (V) опять к начальному пункту круговорота E.

После войны способ Габера подвергся ряду усовершенствований.

Одно из введенных (первоначально во Франции) видоизменений состоит в использовании еще более дешевого источника водорода, чем водяной газ, а именно, отходящих газов коксовых печей; эти газы содержат около 50% водорода (по объему).

При сильном охлаждении под давлением обращаются в жидкость все углеводороды (метан, этилен и пр.), водород же остается в газообразном состоянии и легко отделяется от сжиженной смеси других продуктов. Этот французский метод используется у нас, наряду с немецким (габеровским) способом, там, где имеются подходящие условия (Горловка, Кемерово и др.).

Другое направление получила промышленность синтетического аммиака в Италии, которая не имеет каменного угля, но располагает водной энергией,

в связи с этим разложение воды ведется путем электролиза; так получается чистый водород, и отпадают сложные приспособления по очистке газов. Но этот путь связан с громадным расходом энергии; в то время как для связывания 1 кг азота на заводе, работающем по системе Казале (близ Рима), на синтез тратится всего лишь 1,5 квтч (работа компрессора и пр.), на получение соответственного количества водорода нужно затратить 15—16 квтч, в сумме—до 18 квтч, между тем при работе на угле трата топлива (в пересчете на киловаттчасы) составляет лишь 4 квтч. Поэтому такие установки встречают наиболее подходящие условия там, где водная энергия очень дешева. При этом электролиз можно вести периодически в часы простоя динамомашин, установленных для другой цели (освещения городов и пр.).

У нас синтез аммиака за счет электролитического водорода осуществляется на Чирчинском комбинате.

Укажем здесь еще на некоторые способы получения исходных газов (азота и водорода), необходимых для синтеза аммиака. К ним относится, например, *получение азота путем сжижения воздуха* (машина Линде) с последующей фракционированной перегонкой жидкого воздуха. Кислород кипит при—183°, а азот при—196°, что и дает возможность их разделения. Получаемый при этом в качестве побочного продукта кислород может быть использован промышленностью в других целях (кислородное дутье—в металлургии и др.).

Часть водорода для синтеза получается (на заводах, в основном использующих в первой стадии габеровский процесс) путем *конверсии генераторного газа*. В этом случае употребляют генераторный газ с большим содержанием CO (около 65% N_2, 32% CO и 3% CO_2).

Генераторный газ вместе с водяным газом и парами воды поступает на конверсию, причем часть водорода получается за счет окисления водой (в присутствии катализатора) окиси углерода генераторного газа:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2.$$

Одно время предлагался, но не нашел широкого применения так называемый железо-паровой способ получения водорода. Через генератор, наполненный железной рудой, пропускают при температуре 600—700° водяной газ. При этом окись углерода и водород (входящие в состав водяного газа) окисляются в воду, а железная руда восстанавливается до металлического железа:

$$Fe_2O_3 + H_2 + 2CO = 2Fe + H_2O + 2CO_2.$$

После этого впуск водяного газа прекращают и вводят пары воды, которые окисляют металлическое железо и дают газообразный водород:

$$2Fe + 3H_2O = Fe_2O_3 + 3H_2.$$

Что касается условий самого синтеза аммиака, то позднейшие отступления от первоначального способа Габера состояли главным образом в усовершенствовании аппаратуры, изменении давления, а также в переходе к получению жидкого (100%) аммиака вместо водного его раствора.

Так, Клод во Франции разработал метод работы с аппаратурой гораздо меньших объемов[1], что было достигнуто ценою повышения давления в 5 раз против метода Габера, т. е. до 1 000 атм.; это в свою очередь позволило получать не раствор аммиака в воде, а жидкий аммиак (100%). В то же время Клод применил высокое давление и для отделения углеводородов от водорода в коксовых газах.

В Италии, кроме упомянутого уже выше Казале, над усовершенствованием способа Габера работал Фаузер. Из ряда особенностей системы Фаузера мы упомянем только одной. Как известно, Клод и Казале получают жидкий аммиак (100%) благодаря тому, что применяют очень высокие давления (750—1 000 атм.), при которых достаточно охлаждения водой (а не поглощение водой, как у Габера), чтобы аммиак превратился в жидкость. Фаузер

[1] Клод стал работать над усовершенствованием способа Габера после того, как французы, на основании Версальского договора, в числе репараций получили право доступа на немецкие азотные заводы и ознакомились со всеми деталями процесса. Пораженные грандиозностью сооружения и размером аппаратуры для переработки громадных объемов газов (например, завод Лейна должен очищать ежедневно 8 млн. м³ генераторных газов), они не решились строить такие заводы. Разработанный затем Клодом метод позволил как раз применить аппаратуру значительно меньших размеров по сравнению с применявшейся в Германии.

нашел остроумный подход к получению жидкого (100%) аммиака и при более низком давлении (250 атм.); для этого достаточно охлаждать отходящие газы не водой, а какой-либо жидкостью, кипящей значительно ниже нуля. Но жидкий аммиак сам кипит при —34° и является на аммиачном заводе самой доступной жидкостью для получения низких температур. Отсюда возможность такого теплообмена: так как жидкий аммиак нужно все равно обращать в газ, чтобы направлять на окислительные установки или в отделения завода, готовящие сульфат аммония, то эту возгонку жидкого аммиака ведут без затраты топлива, пользуясь теплотой горячих газов, идущих из контактной печи; отдавая тепло возгоняемому аммиаку, эти газы сами охлаждаются, и содержащийся в них аммиак переходит в жидкое состояние; остаток непрореагировавшего азота и водорода направляется опять в контактную печь. Теперь это «колумбово яйцо» нашло применение в разных странах, в том числе и на родине синтетического аммиака—в Германии (у нас этот способ также использован)[1].

На рис. 16 изображена схема производства синтетического аммиака, при котором конечным продуктом является жидкий NH_3. Смесь газов (N_2 и H_2) поступает из газометра (*1*) в компрессор высокого давления (*2*), затем через очиститель (*3*) в камеру для синтеза (*4*), где происходит образование NH_3. Далее газы проходят в конденсатор (*5*), где охлаждаются; при этом аммиак подвергается сжижению и поступает в собиратель (*6*). Непрореагировавшие газы с помощью циркуляционного насоса (*7*) подаются снова в камеру для синтеза. Из собирателя (*6*) полученный аммиак подается в приемник (*8*).

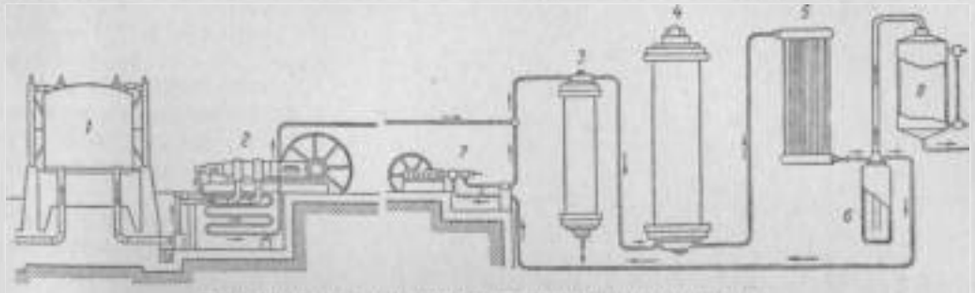


Рис. 16. Схема производства синтетического аммиака.

Синтетический аммиак используется в промышленности, как уже было сказано, и для получения аммиачных солей и для производства азотной кислоты и ее солей.

ПОЛУЧЕНИЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ ОКИСЛЕНИЕМ АММИАКА

Значительная часть получаемого синтетическим путем аммиака используется в настоящее время для производства азотной кислоты, необходимой во многих отраслях промышленности. В частности, азотная кислота служит и для получения удобрений, содержащих азот (весь или часть его) в нитратной форме, т. е. в виде солей азотной кислоты.

Как мы увидим дальше, таким солям приходится иногда отдавать предпочтение перед другими формами азотистых удобрений.

Остановимся кратко на описании процесса каталитического *окисления аммиака*, дающего теперь большую часть всего производства азотной кислоты и ее солей.

Возможность получения азотной кислоты путем каталитического окисления аммиака была известна давно, значительно раньше, чем стали получать синтетический аммиак.

В начале текущего столетия по способу, разработанному В. Оствальдом, было осуществлено в небольших размерах производство азотной кислоты из аммиака коксовых печей. Однако этот способ не мог конкурировать в то время с чилийской селитрой, и техническое применение его в широких размерах на-

[1] Из новейших течений в области синтеза аммиака надо указать на интересные работы в области изучения сверхвысоких давлений (порядка нескольких тысяч атмосфер), при которых отпадает необходимость в катализаторах; это имело бы огромное значение в смысле устранения заботы о той тщательной очистке газов, которая применяется для удаления «каталитических ядов».

чалось в Германии лишь во время мировой войны, когда ввоз селитры из Чили прекратился, а потребность в азотной кислоте для производства взрывчатых веществ сильно возросла. С развитием промышленности синтетического аммиака возможность производства азотной кислоты этим путем весьма расширилась, и в настоящее время окисление аммиака представляет главный источник получения азотной кислоты и ее солей.

Характер реакций, происходящих при взаимодействии аммиака и кислорода в условиях высокой температуры и в присутствии катализаторов, можно представить такими уравнениями:

1) $4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$;
2) $2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O$;
3) $NH_3 + 2O_2 = HNO_3 + H_2O$;
4) $4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$.

Регулирование состава газовой смеси и температурных условий осуществляется таким образом, чтобы по возможности избежать потерь азота в виде N_2 (реакция 4-я). Окисление аммиака происходит с выделением тепла и поэтому не только не требует энергии, но еще является источником тепла на заводе.

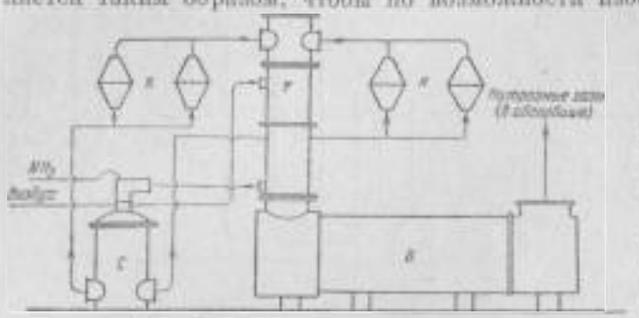


Рис. 47. Схема окисления аммиака.

Ход процесса можно видеть из следующей схемы (рисунок 47). Воздух проходит через теплообменник (*T*), где подогревается выходящими газами, затем он поступает в смесительную камеру (*C*), где происходит образование исходной газовой смеси (аммиака и воздуха). Далее эта смесь поступает в контактные аппараты (*K*), где пропускается через контактную массу (катализатор)[1]. Здесь происходит реакция окисления ($4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$), причем за счет выделяющегося тепла происходит сильный нагрев (от 600 до 700°) газов. Часть этого тепла выходящие газы отдают в теплообменнике (*T*) на подогрев вновь поступающей газовой смеси, а затем паровому котлу (*B*), после чего охлажденные газы поступают в окислительные и поглотительные башни (на рисунке эти башни не изображены). В первых происходит окисление NO до NO_2:

$$2NO + O_2 = 2NO_2.$$

Двуокись азота поглощается стекающей в поглотительной башне водой и дает нитрат и азотистую кислоты:

$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2.$$

Азотистая кислота нестойка; ее ангидрид N_2O_3 распадается на смесь NO и NO_2:

$$2HNO_2 = NO + NO_2 + H_2O.$$

Окислы азота снова проводятся через ту же систему окислительных и поглотительных башен, и так постепенно большая часть азотистой кислоты доокисляется до азотной.

Азотная кислота хорошо поглощается водой, и повторной циркуляцией удается довести ее концентрацию до 50% и выше. Для получения соответствующих солей раствор азотной кислоты нейтрализуется аммиаком, известью или другими основаниями. Отходящие газы, содержащие окислы азота, также служат для получения солей путем поглощения щелочами—чаще всего содой для производства $NaNO_3$ (см. ниже).

* * *

[1] Роль катализатора при окислении аммиака может играть, например, платиновая сетка или платинированный асбест, применяемые обычно в лабораторных опытах; в промышленности применяются также менее чувствительные к «катализаторным ядам» и более дешевые катализаторы, как, например, окись железа с добавлением окиси висмута, марганца и хрома.

Синтетический аммиак и получаемая окислением аммиака азотная кислота используются для производства довольно разнообразного ассортимента азотистых удобрений. В настоящее время на долю этих источников приходится около 65% всей (мировой) продукции азотистых соединений.

Как удобрения соли азотной кислоты и аммиачные соли по своим свойствам обладают специфическими особенностями. Поэтому для рассмотрения этих удобрений их удобно подразделить на три следующие группы:

1) удобрения, содержащие азот только в нитратной форме [соли азотной кислоты: $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$, KNO_3];

2) удобрения, содержащие азот только в аммиачной форме [соли аммония: $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl];

3) удобрения, содержащие азот и в аммиачной и в нитратной формах (NH_4NO_3 и смеси аммиачных солей с нитратами).

К соответствующим группам азотистых удобрений относятся такие соли, получаемые не только из синтетического аммиака, но и другими путями. Они будут рассмотрены нами при описании каждой из этих групп удобрений в отдельности.

НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Удобрениями, содержащими азот только в нитратной форме, являются нитрат натрия ($NaNO_3$—натронная селитра) и нитрат кальция [$Ca(NO_3)_2$—кальциевая селитра]. Сюда же можно отнести и такую соль, как нитрат калия (KNO_3—калийная селитра), хотя она представляет удобрение не только азотистое, но и калийное, и поэтому является представителем особой группы удобрений—сложных.

Если теперь все эти соли получаются в больших размерах путем переработки синтетического аммиака, то вначале долгое время единственным представителем этой группы была чилийская селитра, добываемая из естественных залежей в Южной Америке. Затем, с разработкой первого промышленного способа связывания атмосферного азота, появилась на сцену синтетическая норвежская селитра. Следовательно, и начало практики применения удобрений вообще и первые шаги в области синтетических методов связывания атмосферного азота характеризуются значительным удельным весом именно нитратных форм азотистых удобрений. Поэтому и рассмотрение азотистых удобрений мы и начнем с описания этой группы.

НИТРАТ НАТРИЯ (НАТРОННАЯ СЕЛИТРА $NaNO_3$)

Синтетический нитрат натрия получается преимущественно не как главный, а как побочный продукт при улавливании той части нитрозных газов, которые остаются непоглощенными водой в окислительных башнях при производстве азотной кислоты из аммиака. Для этого отходящие газы, содержащие NO и NO_2, пропускают через поглотительные башни, орошаемые раствором соды (Na_2CO_3). При взаимодействии щелочного раствора с нитрозными газами образуется смесь нитрата и нитрита натрия:

$$Na_2CO_3 + NO + NO_2 = 2NaNO_2 + CO_2;$$
$$Na_2CO_3 + 2NO_2 = NaNO_3 + NaNO_2 + CO_2.$$

Соотношение получаемого нитрата и нитрита зависит, кроме состава газов, также и от температуры реакции. Чтобы избавиться от примеси нитрита, действуют на смесь азотной кислотой; вытесняемая азотистая кислота распадается в кислой среде по схеме:

$$3HNO_2 = HNO_3 + 2NO + H_2O$$

(выделяющаяся при этом окись азота NO не теряется—она возвращается в окислительные установки для переведения в NO_2).

Подкисленный раствор затем нейтрализуют, упаривают и кристаллы $NaNO_3$ отделяют от маточного раствора центрифугированием.

Чистая соль $NaNO_3$ содержит 16,47% азота. Процент азота в получаемом продукте близок к этой величине, так как обычно содержание примесей в нем невелико. Так как по своим свойствам синтетическая натронная селитра как удобрение почти не отличается от естественной чилийской селитры, то, прежде чем говорить о ее действии, мы остановимся кратко и на чилийской селитре.

Чилийская селитра до разработки и промышленного освоения синтетических способов связывания азота воздуха была главным источником получения азотнокислых солей. В СССР в настоящее время чилийская селитра не импортируется; однако ознакомление с ней все же представляет для нас определенный интерес.

Как уже было сказано, чилийская селитра в свое время играла роль главнейшего азотистого удобрения; с ней было проведено очень большое число опытов, причем часто именно с этим удобрением, как со стандартом, сравнивалось действие и других азотистых удобрений. Кроме того, знакомство с условиями образования залежей чилийской селитры представляет известный интерес в связи с обнаружением и у нас в некоторых районах (Средняя Азия) естественных скоплений азотнокислых солей.

Залежи селитры в Чили (и в некоторых районах Боливии) в Южной Америке представляют собой наиболее мощные из всех известных месторождений подобного типа. Они расположены в пустынных и безлесных плоскогорьях на высоте около 1 000 м над уровнем моря, между Кордильерами и грядой прибрежных возвышенностей. Селитроносные пласты достигают толщины от 1 до 5 м и обычно бывают покрыты песком и глиной. Прослойки этих примесей встречаются вперемежку со слоями селитры (или вернее смеси солей, содержащих селитру).

Относительно происхождения залежей селитры нужно думать, что здесь играл роль процесс нитрификации, столь энергично идущий в тех климатических условиях. Материалом для нитрификации могли послужить, как думают одни, отложения гуано или, по предположению других, массы морских водорослей, выброшенные на берег океаном (или, скорее, оставшиеся в бассейне, отрезанном от моря при процессах горообразовательных или иных, и затем высохшие).

Но если селитра могла произойти таким образом, то не на местах существующих залежей. При разложении органического вещества должна была бы оставаться на месте фосфорная кислота, обычно в виде известковых солей, как малорастворимых. Залежи селитры не содержат этого вещества. Отсюда можно думать, что селитра перенесена сюда из других мест водою. Далее предполагали, что в процессе образования селитры принимала участие морская вода, так как в почве при разложении органического вещества чаще образуется не $NaNO_3$, а $Ca(NO_3)_2$; замещение же Ca при помощи Na легче всего объяснить участием морской воды, тем более что реакция эта имеет место в том случае, если смешать раствор $Ca(NO_3)_2$ и NaCl: при выпаривании смеси выкристаллизовывается $NaNO_3$, а $CaCl_2$ остается в растворе. В связи с составом морской воды стоит, по этой гипотезе, присутствие в натровой селитре, помимо примеси NaCl, иодновато- и бромноватокислых K и Na.

Позднее высказано было мнение, что селитра эта—*обычного почвенного происхождения*, что она постепенно выщелачивалась со склонов Кордильерской цепи; на плоскогорье подпочвенные воды должны были скопляться благодаря непроницаемости подстилающих глинистых сланцев и кристаллических пород и препятствию к дальнейшему движению в виде береговой цепи возвышенности; выступая на поверхность, они испарялись и выделяли отложения селитры и других солей, не поглощаемых почвой. Сходство же с составом морской воды не представляет чего-нибудь особенного, так как соли морской воды принесены и нею реками и тоже выщелочены из почвы[1]. Кроме того, в местах отложения селитры отсутствуют указания на близость моря в прошлом [камни не окатаны и т. д.].

Сырая масса, добываемая из залежей, состоит из $NaNO_3$ в смеси с хлористым натрием, сернокислым натрием, глиной, песком и другими примесями.

[1] Что касается отсутствия скопления селитры в морской воде, то оно объясняется постоянным ее потреблением растительными организмами. При условиях же образования залежей в Чили растительность, очевидно, не могла развиваться благодаря высокой концентрации раствора солей.

Первое время использовали только высокопроцентные залежи, например, такого состава (данные двух анализов, в процентах):

	I	II
$NaNO_3$	60,97	47,2
NaCl	16,85	7,4
Na_2SO_4	4,06	26,0
Иодноватокислый калий	0,73	0,2
Песок, глина	—	18,7

Позднее пришлось перейти к использованию и более бедного материала.

При добывании обычно твердую массу взрывают порохом, крупные комки примесей отбирают руками, а потом обрабатывают полученную массу горячей водой, применяя методическое выщелачивание. Раствор выпаривается, из него при охлаждении выкристаллизовывается селитра, представляющая уже продажный материал, содержащий около 95% $NaNO_3$. Такое действие однократной кристаллизации объясняется тем обстоятельством, что для селитры растворимость резко повышается вместе с температурой, а для хлористого натрия она изменяется очень мало[1]. Поэтому при охлаждении горячего раствора выпадает преимущественно селитра, а NaCl остается главным образом в маточной жидкости.

Высушенная на солнце перекристаллизованная масса, нагруженная в мешки, прежде вьюками (на мулах) доставлялась к гаваням; потом к большей части крупных гаваней были проложены рельсовые пути и широко использован автотранспорт. Химически чистая натриевая селитра должна бы содержать по формуле 16,47% азота, но обычно поступающая на европейский рынок селитра содержит до 15—16%, причем оплата производится сообразно содержанию азота.

Из-за обладания пустынями, в которых расположены залежи селитры, в 1879 г. возникла война между Чили и смежными государствами—Перу и Боливией. Эта «селитряная война» кончилась победой Чили, и это государство овладело монопольными правами на селитру, причем вывозная пошлина на последнюю (2,5 фунта стерлингов за тонну) сделалась главным источником государственных доходов.

Вывоз селитры из Чили, начавшийся еще с 1830 г., стал особенно быстро возрастать с восьмидесятых годов прошлого столетия и достиг в 1913 г. 2 740 000 т, причем главной потребительницей являлась Европа и лишь меньшая часть потреблялась в Америке (США). Единственным видным конкурентом селитры до войны был только аммиак коксовых печей, но так как спрос на азотистые удобрения возрастал, а производство аммиака было не самостоятельным (оно определялось потребностью металлургии в коксе), то положение чилийской промышленности было блестящим. Война создала временные затруднения в транспорте, но более существенная для Чили угроза после войны возникла благодаря появлению в Европе нового мощного конкурента в виде синтетического аммиака, что заставило чилийское правительство снижать цену на селитру, подчиняясь ценам на синтетические продукты. Вывоз селитры из Чили изменялся во времени следующим образом:

1830 г.	850 т	1895 г.	1 210 000 т
1850 »	23 000 »	1900 »	1 453 700 »
1870 »	132 450 »	1910 »	2 359 000 »
1885 »	430 000 »	1913 »	2 738 300 »

Для послевоенной продукции характерны следующие цифры:

	Экспорт	Планируемые запасы
1927 г.	2 378 000 т	4 028 000 т
1928 »	2 801 000 »	2 133 000 »
1929 »	2 898 000 »	2 662 000 »

[1] Сказанное относится к чистым солям; в смеси же солей количество растворенного NaCl даже повышается с повышением температуры:

Температура (в градусах Цельсия)	13°	25°	50°	83°
Процент NaCl	15,1	13,3	10,1	7,9
Процент $NaNO_3$	28,6	32,0	41,5	50,2

Этим очень облегчается очистка селитры от глинной массы NaCl.

Таким образом, еще до обострения кризиса в Европе, в Чили непроданные запасы достигли того же размера, как годичный экспорт к 1929 г. При сохранении прежнего уровня по абсолютным размерам общего вывоза относительное участие Чили в мировой азотной промышленности опустилось с 61% (в довоенное время) до 20—22% вследствие развития синтетической азотной промышленности; после наступления кризиса произошло более резкое снижение количества вывозимой селитры, по сравнению со снижением производства синтетических продуктов, так что доля ее участия в 1933 г. снизилась почти до 4%.

В период общего господства селитры на рынках Европы довоенная Россия почти совершенно воздерживалась от ее применения, что представители западной агрономии обычно объясняли невежеством русского крестьянина. На деле же основной причиной было несоответствие цен привозной селитры с ценами на главные продукты нашего земледелия, что видно из следующего сопоставления цен за центнер (в золотых рублях):

	I. Пшеница	II. Селитра	II в процентах от I
Германия	11	9	80
Россия	3,6—4,8	15—18	300—500

Таким образом, применение селитры при культуре хлебов было в довоенных условиях большей частью невыгодным по нашим экономическим условиям, отличным от Западной Европы.

Но и у нас замечалось различие между западом и востоком. Польша и прибалтийские губернии уже могли применять селитру, ибо для них соотношение цен было ближе к западноевропейскому, чем цены на меридиане Москвы, не говоря уже о Восточной России. Таким образом, то, что обычно объясняли большей культурностью населения западных частей прежней России, на деле было просто проявлением иных экономических условий вблизи западной границы. Не только селитра, но и другие удобрения (калийные соли, суперфосфат) могли распространяться только на западе и не могли проникать к востоку, ибо цены на хлеб по мере удаления от западной границы постепенно снижались (а на удобрение, наоборот, повышались вследствие расходов на транспорт). Можно выставить еще более общее положение: если по земному шару происходит передвижение хлебных грузов в каком-либо направлении, то селитра будет двигаться главным образом в этом же направлении, а отнюдь не в обратном, ибо выгоднее везти на места потребления 1 ц селитры, чем 3—4 ц хлеба, которые она может дать. Поэтому селитра из Чили и перевозилась преимущественно в Европу.

Как удобрения синтетический нитрат натрия и чилийская селитра *по составу и свойствам* мало отличаются. В чилийской селитре, кроме главной составной части $NaNO_3$, содержится около 5% примесей ($NaCl$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, $KClO_4$, $NaJO_3$ и др.)[1].

Синтетическая селитра обычно содержит меньше примесей ($NaNO_2$, Na_2CO_3 и др.). Процентное содержание азота в селитре обыкновенно колеблется в пределах 15—16%.

Нитрат натрия обладает заметной гигроскопичностью, при повышенной влажности подвергается перекристаллизации с образованием крупных кристаллов, при хранении мелко измельченная соль может слеживаться. В сухом состоянии удобрение сохраняет удовлетворительную рассеваемость, и при хорошем хранении с этой стороны затруднений обычно не возникает.

$NaNO_3$—соль, хорошо растворимая в воде. При внесении в почву она быстро растворяется в почвенной влаге. В результате взаимодействия с почвенным поглощающим комплексом происходит обмен катионов:

$$\left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}Ca\\ Ca\end{matrix}+2NaNO_3=\left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}Na\\ Na\\ Ca\end{matrix}+Ca(NO_3)_2.$$

Ион NO_3' почвой не поглощается[2] и поэтому сохраняет высокую подвижность в почве. Отсюда следует, что в условиях влажного климата и легко дренируемых почв не исключена возможность вымывания нитратов. То же может иметь место при орошении, в особенности если в целях борьбы с засолением проводятся промывки почвы. Это надо учитывать при выборе сроков внесения удобрения. Так, например, при удобрении озимых культур селитрой с осени во влажном климате возможно вымывание. Большая подвижность ионов NO_3' в почве заставляет считать нитратные азотистые удобрения весьма подходящими для употребления их в подкормках во время вегетации растений (в частности, для весенней подкормки озимых).

[1] Большинство из этих солей не оказывает существенного влияния на качество удобрения; недопустимо лишь повышенное содержание хлоратов ($KClO_3$) и перхлоратов ($KClO_4$), так как они ядовиты для растений.

[2] Ни физико-химически, ни химически, ибо с катионами почвенного раствора ион NO_3' не образует нерастворимых соединений.

Единственный вид связывания NO_3 в почвах—это усвоение почвенными организмами.

Нитрат натрия—соль *физиологически щелочная*. Поглощение растениями азота идет быстрее и более полно, чем поглощение натрия. Поэтому при внесении натронной селитры некоторая часть натрия будет оставаться в почве. Вследствие этого применение селитры на почвах, обладающих кислотностью, способно оказать хотя и слабое, но все же иногда заметное нейтрализующее действие[1].

Понятно, что при систематическом, повторном (из года в год) внесении в высоких дозах, в особенности на почвах малобуферных, это действие может быть более заметным. Приведем в качестве примера данные об изменении почвенной кислотности под влиянием систематического внесения (в течение пяти лет) $NaNO_3$ на подзолистой почве, полученные в опытах Долгопрудного опытного поля (Московская область).

	Без внесения азота	$NaNO_3$	Разница
Гидролитическая кислотность (в миллилитрах 0,1-*н* NaOH на 100 г почвы)	26,2	23,2	—3,0
Обменная кислотность (в миллилитрах 0,1-*н* NaOH на 100 г почвы)	6,5	3,4	—3,1
Подвижный Al (в миллиграммах на 100 г)	3,7	1,8	—1,9

Влияние систематического внесения $NaNO_3$ на состав поглощенных катионов почвы можно рассматривать с двух точек зрения. На почвах кислых некоторое снижение за этот счет обменной кислотности может играть положительную роль. Но в то же время известно, что вхождение натрия в состав поглощенных катионов способно оказать влияние на физические свойства почвы *в сторону не совсем благоприятную*. Так, *при утрированном одностороннем удобрении почвы только селитрой происходит вытеснение кальция из поглощающего комплекса натрием* и тогда структура почвы может ухудшиться. Получается наклонность к сплыванию и образованию корки. Но этого опасаются больше на основании аналогии с действием на почву хлористого натрия, которое действительно бывает резким, что наблюдается, например, в Голландии при прорыве плотин и затоплении пашни морской водой.

Однако обычно селитра вносится не в тех количествах, как в этом случае NaCl, а главное, в других удобрениях чаще всего одновременно вносится кальций (в суперфосфате, в томасовом шлаке), так что *это опасение не реально*.

Для того чтобы этот фактор дал себя знать, нужно очень большое количество натрия[2]. Так, чтобы при емкости поглощения в 10 м.-экв. на 100 г почвы

[1] Понятно, что это не исключает возможности временного активирования обменной кислотности на сильно кислых почвах за счет частичного вытеснения водорода (или алюминия) из поглощенного состояния, как при внесении любой растворимой соли [(почва) H + $NaNO_3$ = (почва) Na + HNO_3]. Но после использования растениями азота в конечном счете обменная кислотность почвы должна несколько снизиться, особенно при многократном повторении удобрения селитрой.

[2] В Ротамстеде после 60 лет ежегодного внесения $NaNO_3$ было констатировано, несмотря на влажный климат Англии, наступление солонцового типа почвообразования, подщелачение почвенного раствора и соответственная смена растительности (опыт проводился на дугу). Конечно, на почвах Средней Азии тот же эффект от ежегодного внесения все новых и новых порций селитры наступит гораздо скорее, чем в Ротамстеде, но теперь нет никакой нужды

насытить хотя бы $^1/_4$ емкости натрием, потребовалось бы 2,5 м.-экв. Na на каждые 100 г почвы, что отвечает 50—75 кг эквивалентов на пахотный слой почвы в 1 га. Для того чтобы внести столько натрия в виде селитры, надо было бы внести около 5 т удобрения на гектар. Понятно, поэтому, что опасение сколько-нибудь заметного изменения физических свойств почвы под влиянием удобрения селитрой практического значения почти не имеет, тем более что обычно она применяется в сочетании с другими удобрениями, содержащими кальций.

Мы считаем все же нужным отметить и эту сторону удобрения селитрой, потому что она дала повод к тому, чтобы говорить, будто минеральные удобрения вообще портят структуру почвы, вместо того, чтобы сказать, что применение минеральных удобрений требует знаний; при исключительно неумелом их применении можно испортить структуру почвы так же, как при умелом—исправить ее. Но совершенно верно, что натрий в селитре часто является излишним; поэтому, когда перешли к синтетической селитре, стали вместо натриевой селитры готовить кальциевую, о которой будет речь ниже.

Однако для некоторых растений, в особенности для корнеплодов (сахарная свекла), установлено положительное действие натрия, что может служить объяснением часто наблюдавшегося преимущества селитры перед другими азотистыми удобрениями в опытах с корнеплодами.

Но следует иметь в виду, что натрий в удобрении может быть дан не только в виде нитрата натрия, но также и в виде примеси хлористого натрия и калийных солям. Поэтому при сравнении действия натронной селитры с другими азотистыми удобрениями в комбинации с калийными солями, содержащими много натрия, часто не замечается такого преимущества, как в тех случаях, когда натрий дается только в селитре.

При внесении селитры нужно заботиться, во-первых, о равномерном ее распределении по поверхности, для чего она должна быть перед рассевом измельчена, иначе одни места будут переудобрены и получится вред от избыточной концентрации, другие же не будут удобрены и получится неполная оплата удобрения приростом урожая; во-вторых, нужно выбирать время внесения так, чтобы не было риска вымывания селитры из почвы, которая нитратов не поглощает. Поэтому не следует, например, при удобрении озимых хлебов вносить селитру целиком с осени; так, можно, например, внести $^1/_3$, а, по крайней мере, $^2/_3$ оставить до весны, когда она может быть внесена поверхностно[1]. На Западе охотно вносят селитру в несколько приемов и при удобрении яровых; в частности, сахарную свеклу удобряют селитрой во время роста, в дополнение к основному удобрению, внесенному при вспашке.

Внесение азотистых удобрений под сахарную свеклу во время роста (подкормка) широко применяется и у нас. В особенности большое значение этот прием приобретает при внесении больших доз удобрений для получения высоких стахановских урожаев. Именно стахановцы-свекловоды впервые применили у нас с большим успехом подкормку в широком масштабе. Отметим, что для получения хорошего эффекта от подкормки при удобрении сахарной свеклы установлено существенное значение достаточно глубокой заделки внесенных удобрений (12—18 см). Для азотистых удобрений это связано с тем, что в условиях континентального климата летом преобладает не опускание, а подъем влаги, а потому поверхностное внесение, например, селитры может остаться без действия.

[1] Часто не рекомендуют вносить селитру при орошении, а советуют заменить ее аммиачными солями. Однако это относится к случаям обильного орошения, когда сливаются арестительные воды с подпочвенными или когда на сторону стекают избыточные (сбросные) воды

(и даже возможности) применять часто $NaNO_3$. Такие же удобрения, как $Ca(NO_3)_2$ и $CaCN_2$, образования соды не вызывают, а аммиачные соли оставляют кислые остатки, поэтому чередованием удобрений можно предотвратить всякое одностороннее изменение состава поглощающего комплекса и почвенного раствора.

[1] Или даже всю дозу азота дать весной; здесь не должно быть шаблона, надо учитывать конкретные условия (накопление нитратов в пару и др.).

это бывает, например, при культуре риса, под который поэтому предпочитают вносить или аммиачные соли или органические азотистые удобрения. Но при таком орошении, когда нет ни глубокого опускания вод и промывания почвы, ни стока на сторону, опасения относительно вымывания отпадают.

Остановимся кратко на некоторых данных из практики применения чилийской селитры, бывшей первое время наиболее распространенным азотистым удобрением. На Западе, где почти все культуры удобряются азотом, естественно, что хлеба, как занимающие наибольшую площадь, являются и наибольшими потребителями селитры (особенно пшеница). У нас на данной стадии развития нашей химической промышленности, по крайней мере, в течение ближайших лет, придется, исходя из народнохозяйственных задач, направлять азотистые удобрения прежде всего под технические культуры, чтобы следующие за ними в севообороте хлеба использовали только последействие внесенных удобрений; только потом, по мере роста продукции минеральных удобрений, станет возможным массовое применение под хлеба азотистых удобрений (пока же для хлебов должен быть использован азот навоза, клевера, зеленого удобрения, азот целинных земель на юго-востоке и азот торфа на севере)[1].

С хозяйственной стороны весьма важным является вопрос об оплате селитры получаемым от нее приростом урожая. Удобно для данной цели выражать размер прироста в виде частного, получаемого при делении всего прироста на количество употребленной селитры. Тогда мы узнаем, что дает размер прироста урожая на каждый центнер внесенной селитры.

Конечно, ответ на такой вопрос может быть лишь условным, так как оплата меняется в зависимости от дозы удобрения, но все же и условный ответ, даваемый западно-европейским опытом применительно к обычным дозам селитры, имеет значение. Так, по данным Вагнера каждый центнер селитры в среднем дает в приросте урожая такие количества зерна (в центнерах): ржи—3, ячменя—4, овса—5,5.

Эти нормы Вагнера реализуются, конечно, тогда только, когда действительно азот находится в минимуме, т. е. когда нет засухи и когда калия и фосфора внесено заведомо достаточно и т. д.; их нужно считать скорее максимальными, не всегда получаемыми на практике.

Вообще же этот коэфициент оплаты зависит, при наличности азотного минимума, от состояния агротехники и общих условий роста, но мы считаем нужным подчеркнуть, что и в наших климатических условиях вагнеровские коэфициенты могут реализоваться, если имеется подходящий агротехнический фон.

Практика опытной работы с удобрениями (в особенности в опытах с селитрой) в дореволюционной России страдала крупными дефектами. Под влиянием соображений чисто коммерческих (высокая цена селитры и низкие цены на зерно) в опытах того времени господствовали «гомеопатические» низкие дозы селитры, порядка 1 ц селитры на гектар. Понятно, что в этих условиях трудно было выявить действительное значение азотистых удобрений на наших полях. Приведем здесь пример подсчета, показывающего, что для достижения заметных результатов нужны не те малые дозы селитры, которые у нас раньше применялись, но не производили должного действия, а значительно большие, так как селитра—не стимулятор, а питательное вещество, и потому от малых доз нельзя и ожидать значительных эффектов.

Допустим, что мы хотим вместо 10 ц зерна иметь 20 ц, причем фосфором и калием почва обеспечена, влаги достаточно, физические свойства почвы благоприятны, а сорные травы устранены. Считая содержание азота в зерне около 2%, найдем, что потребность в азоте на образование добавочного количества зерна составляет 20 кг, но так как большее количество зерна не может получиться без соответственного количества соломы, то нужно учесть и азот соломы.

[1] Говоря это, мы имеем в данном случае в виду массовую химизацию, т. е. применение удобрений на больших площадях. Понятно, что для целей получения высоких урожаев целесообразно вносить азотистые удобрения и под зерновые культуры. В первую очередь это относится к удобрению зерновых в районах орошения этих культур.

Для озимых хлебов на 10 ц зерна приходится до 25 ц соломы. Считая в последней 0,5% азота, получаем 12,5 кг N, а в сумме—32,5 кг N, что отвечает 2,1 ц селитры. Но следует еще посчитать известное количество азота на усиление развития корневой системы; кроме того, нужно учесть, что растение чаще всего не использует внесенную селитру целиком. По Вагнеру, коэфициент использования азота селитры на построение надземной части урожая составляет 60—70% от внесенного количества азота. Следовательно, чтобы получить лишних 10 ц зерна, нужно внести не 2,1, а около 3,2 ц селитры на 1 га. Эта цифра и отвечает западно-европейской практике. У нас же прежде, под влиянием довоенной экономики, если и вносили селитру, то в слишком малых дозах (1 ц/га); эти малые дозы применялись не только в хозяйствах (например, свекловичных), что было правильно при прежних экономических условиях, но ими ограничивались и в опытном деле; это приводило к неверным заключениям о значении минеральных удобрений для нас вообще, ибо без азота калий и фосфор действовали только на фоне клевера, почему и сложилось мнение, будто, «не пройдя через травопольную систему, нельзя вводить минеральных удобрений». Позднейшие же данные, а особенно опыты географической сети НИУ (1927—1931 гг.), в проведении которых участвовало большинство опытных станций НКЗ (до 300 станций), показали, что *при внесении селитры в дозах 3—4 ц* действие ее на наших почвах проявляется совершенно в тех же размерах, *как и во всем свете*, если только соблюдаются элементарные правила агротехники. Приведем пример данных Новозыбковской опытной станции (песчаная почва) (в центнерах):

	Без азота	Селитра		
		1 ц	2 ц	3 ц
Урожай ржи в среднем за три года	11,2	14,0	18,4	20,4
Общая прибавка зерна	—	3,8	7,2	9,2
То же, на 1 ц селитры	—	3,8	3,6	3,1

Таким образом, в этом опыте мы встречаемся с прибавками урожая такого же порядка, как и в практике Западной Европы; при 3 ц селитры получено 9,2 ц прироста зерна, т. е. осуществился вагнеровский коэфициент для ржи (3 ц зерна на 1 ц селитры).

В данных б. Витской станции мы находим случай осуществления вагнеровского коэфициента для овса, например:

Фон:	0	Фосфорит	Известкование
Без азота	15,9 ц	16,8 ц	21,2 ц
2 ц $NaNO_3$	25,6 »	27,9 »	29,6 »
Коэфициент	4,8 »	5,5 »	4,2 »

Приведем еще из этой же серии опытов данные по влиянию возрастающих доз селитры на овес на фоне предварительного внесения фосфорита и затем извести:

Дозы селитры (в центнерах)	0	2	4	8
Урожай зерна » »	21,2	28,2	32,5	41,1

Если мы вспомним, что в довоенных опытах вносился лишь 1 ц селитры, то нам станет понятно, что *интервал высокого действия удобрений прежними опытами совершенно не улавливался*. Что при более низком состоянии агротехники коэфициенты оплаты могут быть самыми разнообразными, смотря по фону, на котором ставится опыт, это также не составляет нашей особенности, потому что и за границей при массовых опытах на крестьянских полях тоже получаются иные коэфициенты.

Так, в Дании в среднем на 7 430 опытов, проведенных в разных местах в период 1901—1918 гг., на 1 ц селитры[1] получились приросты зерна (в центнерах): ржи—3,1, овса—2,2, ячменя—2,1, сухого вещества свеклы—4,0.

Таким образом, не было *никаких особенностей ни в наших почвах, ни в климате полосы достаточного увлажнения, которые мешали бы нам получать от удобрения такие эффекты, как на Западе*, если применять нормальные количества удобрений и создавать удовлетворительный агротехнический фон.

В опытах НИУ по сравнению форм азотистых удобрений (на фоне суперфосфата и калийной соли) селитра значительно превосходила по действию другие азотистые удобрения при культуре льна и ячменя на подзолистых почвах; на овсе различия были невелики, а для картофеля разницы в пользу селитры вовсе не было. Сахарная же свекла, в отличие от картофеля, показывает перевес на стороне селитры.

Однако все это относится к опытам с однократным внесением удобрения; при ежегодном же внесении на той же площади преимущества селитры перед другими удобрениями возрастают (кроме почв, особенно богатых основаниями, или случаев регулярного применения известкования).

НИТРАТ КАЛЬЦИЯ [КАЛЬЦИЕВАЯ—ПРЕЖДЕ «НОРВЕЖСКАЯ» СЕЛИТРА $Ca(NO_3)_2$]

Этот вид селитры является широко распространенным в природе, во всех культурных почвах и большей части почв, находящихся под дикой растительностью; образующаяся при процессе нитрификации азотная кислота связывается с кальцием, а поэтому и поступление азота в растения происходит главным образом из $Ca(NO_3)_2$. Это есть в то же время лучшая форма для внесения азота с удобрением в почвы с недостаточным содержанием кальция, так как в этом случае, в отличие от натронной селитры и аммиачных солей, даже при обильном и частом внесении не только не может наблюдаться ухудшающее влияние на структуру почвы, но, наоборот, на почвах оподзоленных должно наступать постепенное улучшение физических свойств вследствие вхождения кальция в поглощающий комплекс взамен водорода.

Растения поглощают из $Ca(NO_3)_2$ больше азота, чем кальция, по схеме:

$$Ca(NO_3)_2 + 2H_2CO_3 = 2HNO_3 + Ca(HCO_3)_2.$$

Тогда поглощающий комплекс, если в состав его входит водород, связывает кальций бикарбоната, вытесняя углекислоту:

$$\left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}H\\ H\end{matrix} + Ca(HCO_3)_2 = \left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)Ca + 2H_2O + 2CO_2.$$

Однако в природе нет залежей кальциевой селитры (она трудно кристаллизуется и гигроскопична), и только в этом столетии на рынках Европы появился синтетический азотнокислый кальций под названием «норвежская селитра», так как его производство возникло в Норвегии.

Правда, теперь азотнокислый кальций готовится уже не по «норвежскому» способу, но последний представляет исторический интерес как первый этап развития современной азотной промышленности, основанной на использовании газообразного азота атмосферы. Открытие пути к этому использованию не было случайным,—оно явилось следствием планомерных исканий выдающихся представителей химической мысли конца XIX и начала XX века.

В 1898 г. видный представитель общей химии в Англии Крукс напечатал статью, в которой указывал на громадный рост вывоза селитры из Чили и на невозможность в будущем базировать производство пшеницы в Европе на этом источнике азота, грозящем исчезнуть[2],

[1] При дозах 1—3 ц селитры на гектар.

[2] Крукс тогда предсказывал истощение чилийских залежей в 1925 г., но вследствие перехода к переработке низкопроцентных залежей, количество которых раньше было невозможностью учтено, явилась возможность продолжить эксплоатацию чилийских залежей еще на значительный период.

и между тем на земном шаре замечается рост потребления пшеницы за счет ржи и других менее требовательных к удобрению растений. Незадолго до этого при работах по изучению состава атмосферы, приведших к открытию аргона, было показано в лабораторных опытах, что можно удалить из воздуха весь азот, заставляя его соединиться с кислородом под влиянием электрической искры (причем потребуется ввести добавочное количество кислорода). Крукс предложил применить этот способ в технике для получения азотной кислоты с использованием дешевой водной энергии.

Вскоре (1902 г.) образовалась в Америке акционерная компания для использования части энергии Ниагары с этой целью, но встретились трудности в том, чтобы создать достаточно большую поверхность соприкосновения вольтовой дуги с воздухом; потребовались большие затраты на аппаратуру (платиновые электроды, расположенные на поверхности вращающегося цилиндра), обнаружилось скорое изнашивание последней; поэтому предприятие это в 1904 г. закрылось. В это время последовало открытие норвежского физика Бирнеланда, обнаружившего способность вольтовой дуги отклоняться в сторону, становиться действительно «дугой» при помещении ее между полюсами электромагнита. При переменном токе достаточной частоты дуга вибрирует, причем пламя принимает вид сплошного светящегося диска (до 1,8 м диаметром). Таким образом, оказалось возможным сделать вольтову дугу неизменной при неподвижных электродах; так достигнуты были устойчивость, прочность и удешевление установки, причем платиновые электроды заменены были медными, но полыми внутри, чтобы можно было пропусканием тока воды защитить их от сплавления. Температура в печи Бирнеланда достигает 3 000° Ц, но приходится вдувать избыток воздуха, так что отходящие газы, имеющие температуру 600—800°, содержат около 5% окиси азота (NO); окись азота дальше переводится в азотную кислоту, из которой путем нейтрализации можно получить тот или иной вид селитры. Так как Норвегия богата водопадами и электрическая энергия там дешевле, чем в других странах Европы, то открытие Бирнеланда было использовано для создания новой отрасли промышленности, фабрикации норвежской селитры; таким образом создалось *первое устойчивое предприятие по использованию азота воздуха* для синтеза азотистых удобрений.

Путь к азотной кислоте и ее солям идет при этом через следующие этапы: образовавшаяся при высокой температуре окись азота NO (бесцветный газ) способна уже при обыкновенной температуре в присутствии избытка воздуха окисляться дальше с образованием бурых паров двуокиси азота NO_2. Процесс этот происходит в окислительных башнях—просторных помещениях, со стенами из кислотоупорного материала, после чего газы проводятся в поглотительные башни.

В поглотительных башнях, наполненных кусками кварцита, навстречу газу пускается ток воды. Здесь происходит образование азотной и азотистой кислот (аналогично тому, как и при получении азотной кислоты окислением аммиака, см. стр. 206). Азотная кислота поглощается водой, а азотистая распадается, образуя NO и NO_2, поступающие вновь в окислительные и поглотительные башни[1].

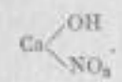
Азотная кислота нейтрализуется известняком как наиболее дешевым материалом, затем раствор $Ca(NO_3)_2$ выпаривают настолько, чтобы затвердевающая масса содержала не менее 13% азота. Ввиду гигроскопичности норвежской селитры ее укупоривают в особые мешки, внутри выложенные слоем прочной непроницаемой для воды бумаги.

Высокая гигроскопичность норвежской селитры является существенным недостатком ее как удобрения, так как создает затруднения при хранении и внесении.

Производство норвежской селитры связано с огромными затратами энергии (около 60 квтч на 1 кг связанного азота на первую стадию окисления азота воздуха в пламени вольтовой дуги). Поэтому после того, как промышленностью был освоен более дешевый в энергетическом отношении путь связывания атмосферного азота, а именно—производство синтетического аммиака, требующее в 15 раз меньше затраты энергии, норвежский дуговой процесс практически потерял свое значение. Теперь *нитрат кальция добывают другим путем, а именно—используя для этого азотную кислоту, получаемую окислением аммиака.*

[1] Кроме того, возможно и «сухое поглощение» нитрозных газов негашеной известью (способ Шлезинга).

Для улучшения физических свойств нитрата кальция применяют повышенные дозы извести, что ведет частично к образованию основной соли $Ca(OH)NO_3$:



Однако в этом случае и так невысокий процент азота в удобрении снижается еще более. В некоторых случаях выпускают кальциевую селитру в смеси с небольшим количеством азотнокислого аммония (в целях повышения содержания азота).

Спрос на кальциевую селитру в Германии объясняется тем, что она является универсальным удобрением, пригодным для всех почв; при ней нет риска вносить в почве кислотные остатки, как при применении сульфата аммония, а так как последний теперь применяется в больших количествах, то назрела потребность чередовать его с удобрением физиологически щелочным; с этой точки зрения и у нас производство $Ca(NO_3)_2$ представляло бы интерес, прежде всего для почв нечерноземной полосы, часто бедных поглощенным кальцием.

В опытах НИУ (при удобрении льна, сахарной свеклы) норвежская селитра часто занимала среди азотистых удобрений одно из первых мест, как и чилийская селитра; для картофеля же, как и в случае $NaNO_3$, преимущества $Ca(NO_3)_2$ над аммиачными солями не замечалось.

Кроме высокой гигроскопичности азотнокислого кальция, недостатком этого удобрения, как и натронной селитры, является сравнительно невысокое процентное содержание действующего начала. Поэтому чисто нитратные формы азотистых удобрений, к которым относятся нитрат натрия и нитрат кальция, представляются менее других подходящими для транспорта на далекие расстояния (от места производства до места потребления). Что касается положительного действия $Ca(NO_3)_2$ как удобрения, одновременно обладающего и физиологической щелочностью и содержащего кальций, то надо иметь в виду, что регулирование реакции почвы и состава поглощенных катионов (там, где это имеет существенное значение, т. е. на почвах кислых и малобуферных) можно осуществлять и другими путями, как, например, известкованием, применением соответствующих форм фосфорных удобрений и т. п. Однако известкование как прием, требующий значительных затрат, не может охватить сразу всей площади подзолистых кислых почв. Поэтому применение таких удобрений, как $Ca(NO_3)_2$, могло бы сыграть свою положительную роль, позволяя без особых предосторожностей проводить широкую химизацию менее буферных кислых почв, не только не опасаясь смещения реакции (и состава поглощенных катионов) в неблагоприятную сторону, но даже достигая улучшения свойств почв в этом отношении.

На почвах не достаточно буферных, а также при регулировании реакции кислых почв известкованием это преимущество отпадает, и мы можем гораздо более свободно подходить к выбору форм азотистых удобрений, отдавая предпочтение таким из них, которые требуют меньших затрат на производство или же представляют больше удобств для транспорта на дальнее расстояние, т. е. удобрениям, содержащим более высокий процент действующего начала.

Отметим, однако, здесь еще одну возможность, представляющую известный интерес с точки зрения перспективы организации производства кальциевой селитры в целях удобрения. А именно—азотную кислоту, получаемую окислением аммиака, можно использовать для разложения фосфоритной муки (см. ниже, стр. 305). В этом случае производство нитрата кальция было бы не самостоятельной целью, а представляло бы собой побочный продукт кислотной переработки фосфатов, что должно вызывать снижение расходов по получению данного вида удобрения, а следовательно, и возможность известного расширения его производства.

НИТРАТ КАЛИЯ (КАЛИЙНАЯ СЕЛИТРА KNO_3)

Калийная селитра до сих пор не играла видной роли в практике удобрения, главным образом потому, что дешевле было применять смесь $NaNO_3$ с калийными солями, чем вести дорогое производство чистой соли из той же чилийской селитры и калийных солей; кроме того, KNO_3, которая, казалось бы, интересна тем, что может сразу обеспечить растения калием и азотом, на самом деле для этой цели без добавки других удобрений служить не может, так как содержит азота в три слишком раза меньше, чем калия (меньше 14% N и больше 46% K_2O), в удобрениях же часто требуются или равные количества азота и калия или азота нужно давать больше, чем калия; если же давать KNO_3 по азоту, то будет напрасно тратиться калий, а если давать по калию, то будет дано недостаточно азота. Поэтому калийная селитра, которая теперь может готовиться и синтетическим путем[1], имеет значение чаще всего при приготовлении сложных смесей (о чем будет речь ниже), или при одновременном внесении других источников азота, или на фоне известной обеспеченности почвы азотом иными путями, как культура азотособирателей (не говоря о фосфатном фоне, который всегда должен сопутствовать применению азотистых удобрений).

Большой интерес представляют местонахождения природных скоплений селитры в Средней Азии; хотя до сих пор и не найдено отложений крупного промышленного значения, но не исключена возможность, что среди многих соляных отложений Средней Азии будут найдены и более богатые селитрой, чем до сих пор известные.

Отложения эти двоякого рода.

1) Накопление селитры тех или иных форм в сухих, бесточных котловинах. Процесс селитрообразования констатирован в ряде случаев от снеговых вершин Памира до известковых скал на берегу Каспия (Красноводск); местами встречаются нитратные солончаки с содержанием селитры до 15% (в этих случаях речь идет о нитратах вообще, независимо от того, связана ли азотная кислота с калием или натрием).

2) Месторождения калийной селитры, связанные с древними крепостями, скотопригонными дворами и другими пунктами накопления органических азотистых веществ в различные исторические периоды («курганная» селитра).

Нитрификационный процесс в условиях сухого климата, при котором не происходило вымывания, привел к накоплению селитры в местах прежних поселений, впоследствии заброшенных. Обычно на поверхности залегает тонкая корочка с повышенным содержанием селитры, иногда до 20—30%, глубже идет рыхлая масса, содержащая до 4—6% KNO_3, дальше лессовидный суглинок, бедный селитрой. Когда влага осадков поднимается по капиллярам вверх и высыхает на поверхности, часто заметны выцветы кристаллов, поверхность почвы покрывается как бы инеем. При кустарной добыче сметают эти выцветы метлами, затем растворяют в воде селитру и, отделив раствор от землистых частей, выпаривания его доводят до кристаллизации KNO_3.

Что касается действия KNO_3 на растения, то *по действию азота* нет оснований ожидать заметных различий от действия $NaNO_3$ (также и оценка калия в этой форме очень высокая, если только соотношение между калием и азотом согласовано с потребностями культуры и свойствами почвы).

АММИАЧНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Если для производства азотнокислых солей путем переработки синтетического аммиака необходимо сначала подвергнуть аммиак окислению и затем

[1] Для этой цели раньше пользовались действием азотной кислоты на углекислый калий, но этот способ слишком дорог, поэтому теперь перешли к использованию реакций обменного разложения, а именно:

$$NaNO_3 + KCl = KNO_3 + NaCl$$

или

$$NH_4NO_3 + KCl = KNO_3 + NH_4Cl.$$

В стадии изучения находится процесс:

$$KCl + HNO_3 = KNO_3 + HCl.$$

Кроме того, предлагалось обменное разложение KCl с нитратами Ca и Mg, а также K_2SO_4 с $Ca(NO_3)_2$.

уже получить соль, удобную для транспортировки, хранения и рассева, то гораздо более простым в технологическом отношении является производство аммиачных солей—сернокислого и хлористого аммония.

В настоящее время главным источником для получения аммиачных солей служит именно синтетический аммиак. Но наряду с ним известная часть аммиачных солей производится из аммиака, улавливаемого из отходящих газов коксовых печей при переработке каменного угля. Следует иметь в виду, что по своим свойствам как удобрения аммиачная соль обладает рядом особенностей, по сравнению с солями азотнокислыми. Знание этих свойств очень важно агроному для того, чтобы уметь должным образом применять удобрения и получать от них хорошее действие на урожай растений.

СУЛЬФАТ АММОНИЯ [СЕРНОКИСЛЫЙ АММОНИЙ $(NH_4)_2SO_4$]

Остановимся кратко на способах производства этого удобрения.

Самый простой из них—это нейтрализация серной кислоты аммиаком:

$$H_2SO_4 + 2NH_3 = (NH_4)_2SO_4.$$

Осадок $(NH_4)_2SO_4$, выпадающий из насыщенного раствора, отделяется центрифугированием и после подсушки представляет готовый продукт.

Более совершенным является так называемый сухой способ получения сульфата аммония. По этому способу, предложенному Фаузером, для удаления воды, содержащейся в серной кислоте, используется тепло, выделяющееся при реакции серной кислоты с газообразным аммиаком. Серная кислота подвергается распылению в специальной камере, в которую одновременно вводится газообразный аммиак.

В результате реакции «каждая капелька серной кислоты почти мгновенно реагирует с аммиаком и превращается в твердый кристалл сульфата аммония; испаряемая за счет теплоты реакции вода уносится из аппарата, а сухие и нейтральные кристаллы падают на дно» (Вольфкович).

Чтобы избежать расходов на серную кислоту (часто дефицитную), сульфат аммония можно готовить и другим способом, используя вместо свободной серной кислоты ее соли, в частности, такое дешевое сырье, как гипс. Этот путь широко используется на некоторых заводах в Германии. Гипс целыми поездами подвозится и азотным заводам; после размельчения он взбалтывается в аммиачной воде и туда же проводится углекислота, которая в избытке получается на том же заводе при очистке от нее водорода и азота; образующийся при этом углекислый аммоний реагирует с гипсом, давая при обменном разложении сернокислый аммоний:

$$1)\quad 2NH_3 + CO_2 + H_2O = (NH_4)_2CO_3;$$

$$2)\quad (NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 = (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3.$$

Углекислый кальций выпадает в осадок, а раствор сульфата аммония отфильтровывается от осадка, сгущается и закристаллизовавшаяся соль центрифугированием освобождается от маточной жидкости.

Этот путь удешевления получения сульфата аммония может быть использован и у нас, там где не на очень больших расстояниях от азотных заводов окажутся залежи гипса.

Но мы имеем больший выбор путей, чем Германия, в деле удешевления производства сульфата аммония; так, если вместо гипса взять сернокислый натрий, массовым источником которого является Кара-Богаз-Гол и некоторые озера Кулундинской степи, то путем обменного разложения будет получаться не только сернокислый аммоний, но и сода, которая представляет большую ценность для ряда отраслей химической промышленности (в том числе и для получения термофосфатов, о которых говорится ниже).

Условия использования на производстве соответственной обменной реакции в упрощенном виде изображаются такой схемой:

$$(NH_4)_2CO_3 + Na_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4 + Na_2CO_3.$$

Эти процессы теперь изучаются и имеют благоприятные перспективы.

Кроме синтетического аммиака, для производства сульфата аммония *используются отходящие газы коксовых печей и очистительные установки газовых заводов.* До возникновения промышленности синтетического аммиака этот путь был основным источником получения сульфата аммония.

Каменный уголь содержит 0,5—1% азота, но при сухой перегонке угля только часть его переходит в аммиак; он содержится и в конденсационной воде и в отходящих газах, из которых аммиак выделяется при промывке водой. Преимущественно это углекислый аммоний, частью же хлористый, сернистый, сернокислый и роданистый аммоний. Аммиак отгоняется из аммиачной воды, к которой прибавляется известь; улавливают его обыкновенно серной кислотой, и потому сульфат аммония является главным продуктом утилизации аммиака коксовых печей.

Если бы аммиачную воду прямо нейтрализовали серной кислотой и выпаривали, то не только потребовалось бы много топлива на удаление всей массы воды, но при этом остались бы и все примеси, в числе которых имеются очень ядовитые. Таков роданистый аммоний, 10 кг которого достаточно, чтобы совершенно отравить растительность на площади 1 га.

При сухой перегонке угля получают, кроме аммиака, ряд ценных жидких и газообразных продуктов, при использовании которых легко улавливать аммиак. В довоенное время коксовые печи Донецкого бассейна преимущественно выпускали на воздух все эти ценные материалы, в то время как Германия перед войной получала столько же азота в аммиаке от коксовых печей, сколько его заключалось в селитре, привозимой из Чили (в количестве 500 тыс. т). Теперь же у нас, кроме использования отходящих газов коксовых печей в Донбассе, то же производится на очень крупных установках в Магнитогорске, Кузнецке и Кемерове, к которым должны затем присоединиться такие же установки в Черемхове (близ Иркутска) и в Караганде (Казахстан)[1].

[1] Помимо каменного угля, есть еще материал, способный при нагревании в известных условиях отщеплять большую часть своего азота в виде аммиака, именно торф; для его использования в последнее время разработаны новые методы, основанные в отличие от простого сжигания торфа, на получении из торфа горючих газов и аммиака (рис. 18).

Наиболее разрабатывается и завоевывает себе место способ Фрэнка и Каро (которые, в сущности, применили к торфу принцип ранее известной генераторной печи, предназначенной для каменного угля). Сущность этого способа состоит в том, что торф нагреванием при недостаточном (для полного окисления) доступании воздуха в присутствии водяного пара обращается в горючие газы, с преобладанием среди них окиси углерода, водорода и углеводородов; *при этом значительная часть (70—75%) азота торфа переходит в аммиак*, может быть уловлена серной кислотой и по выпаривании получена в виде сернокислого аммония. Этот способ удобен тем, что при нем не предъявляется высоких требований к качеству торфа: он может содержать много золы, может быть довольно сырым (40—50% воды). Чем больше азота в торфе, тем более подходит он для переработки по этому способу, так как получение сернокислого аммония является экономически важной задачей (другой задачей является получение генераторных газов, используемых для нагревания паровиков; еще чаще ими приводятся в движение газовые двигатели, дающие электрическую энергию).

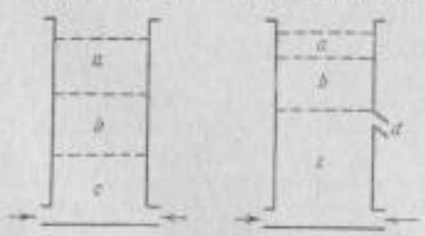


Рис. 18.
a—зона сушки и подогревания, *b*—зона перегонки, *c*—зона горения.

По Франку, 100 кг торфа с 1,65% N могут дать до 4 кг сернокислого аммиака; 100 кг с 2,8% N давали до 11 кг, что отвечает 75% всего азота торфа. Таким образом, азот торфа при таком «газовании» можно использовать гораздо полнее, чем азот угля при газовом производстве.

Опыт показал, что для наибольшего выхода аммиака приходится впускать столько водяного пара, что при этом понижается теплотворная способность газов; поэтому обыкновенно предпочитают мириться с понижением выхода аммиака, чтобы не потерять много на теплотворной способности.

Однако использование аммиака коксовальных установок, размер которых определяется нуждами металлургии, не может удовлетворить потребности Союза в связанном азоте, поэтому необходимо было, как и на Западе, перейти к использованию азота воздуха; при этом мы могли, не проходя всего пути, которым шла Западная Европа, выбрать наиболее совершенный метод, а таковым является теперь производство синтетического аммиака, при котором уголь является только источником энергии, и затрата этой энергии на связывание единицы азота при этом способе ниже, чем при всех других.

Свойства сульфата аммония как удобрения. Сернокислый аммоний в чистом виде содержит 25,8% NH_3, или 21,2% азота. Технический продукт (удобрение) содержит обычно весьма небольшое количество (около 3%) соединений Ca, Mg, SiO_2 и др. (а также иногда свободную серную кислоту, содержание которой не допускается выше 0,5%). Сульфат аммония, получаемый из коксовальных газов, часто содержит, как уже было сказано, следы роданистого аммония. Содержание азота в техническом продукте обычно бывает близко к 20%.

Сульфат аммония в сухом состоянии обладает хорошими физическими свойствами: мало слеживается при хранении, хорошо рассевается.

Гигроскопичность сульфата аммония не велика, что имеет положительное значение, так как это способствует сохранению хорошей рассеваемости удобрения.

Сернокислый аммоний—соль хорошо растворимая в воде и при внесении в почву быстро растворяется в почвенной влаге. Но вслед за тем в почве происходит обменная реакция, и большая часть аммония вступает в поглощенное состояние.

$$\begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}Ca\\ Ca\end{matrix} + (NH_4)_2SO_4 = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}NH_4\\ NH_4\\ Ca\end{matrix} + CaSO_4.$$

Реакция обменного поглощения аммония имеет существенное значение, так как обусловливает малую подвижность иона аммония в почве. Это обстоятельство играет положительную роль в тех случаях, когда есть опасность вымываний удобрения (например, при внесении с осени под глубокую пахоту в районах с большим количеством осадков, при орошении и т. д.).

При внесении же на небольшую глубину перед посевом или в подкормках во время вегетации малая подвижность поглощенного аммония в почве может несколько затруднять использование растениями внесенного азота, особенно в первое время, когда еще не развилась достаточно мощная корневая система.

С течением времени, благодаря деятельности нитрифицирующих бактерий, аммиачный азот в почве постепенно превращается в нитратный. Нитраты же в почве нерастворимых соединений не образуют и коллоидами почвы не поглощаются. Поэтому по мере течения процесса нитрификации образующиеся нитраты переходят в почвенный раствор и передвигаются вместе с ним.

Интенсивность процесса нитрификации зависит от ряда условий: температуры, влажности, аэрации почвы и от реакции среды (см. выше стр. 176). В зависимости от этих условий переход аммиачного азота в нитратный совершается с различной быстротой. Однако в большинстве случаев при внесении сульфата аммония, как и других аммиачных солей, растения на деле питаются и аммиаком и нитратами, причем в первое время (после внесения) преобладает аммиачное питание, а в последующем используются и образующиеся в процессе нитрификации нитраты.

В результате нитрификации из сульфата аммония образуется азотная и освобождается серная кислота, что видно из такой схемы:

$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 = 2HNO_3 + H_2SO_4 + 2H_2O.$$

Конечно, в почве эти кислоты не остаются в свободном виде, а, реагируя с содержащимися в почвенном растворе бикарбонатами и с катионами поглощающего комплекса почвы, образуют соли:

$$2HNO_3 + Ca(HCO_3)_2 = Ca(NO_3)_2 + 2H_2CO_3;$$

$$H_2SO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaSO_4 + 2H_2CO_3;$$

$$\begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}Ca + 2HNO_3 = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}^{H}_{H} + Ca(NO_3)_2;$$

$$\begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}Ca + H_2SO_4 = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}^{H}_{H} + CaSO_4.$$

Если при этом происходит нейтрализация сильных кислот (HNO_3 и H_2SO_4), то все же некоторое увеличение кислотности за счет разрушения бикарбонатов и вытеснения поглощенных оснований водородом имеет место[1].

Таким образом, даже и без участия растений, при внесении сульфата аммония возможно проявление подкисляющего действия его на почву, которое будет тем более заметным, чем менее буферна почва.

Но кроме того, влияние сульфата аммония на реакцию почвы связано и с деятельностью самих растений. А именно: растение гораздо скорее поглощает NH_3, чем H_2SO_4, и так как затем азот ассимилируется при синтезе белков в гораздо большем количестве, чем сера, то сульфат аммония, как уже отмечалось выше, отличается ясно выраженными свойствами физиологически кислой соли, т. е. он оставляет в почве часть серной кислоты. Поэтому ежегодное внесение сульфата аммония означало бы систематическую обработку почвы серной кислотой, хотя и в небольших дозах (при внесении 3 ц сульфата это составит 2,25 ц H_2SO_4 на 3 000 т почвы, считая 20-сантиметровый слой). Почвы с хорошей буферной способностью могут в течение значительного ряда лет выносить удобрение сульфатом аммония; что же касается почв ненасыщенных, с малым количеством поглощенных оснований, то на таких почвах могут вскоре же обнаруживаться нежелательные результаты от сдвига реакции в кислую сторону (а может быть, и от недостатка кальция как необходимого антагониста при обогащении почвы одновалентным катионом аммония).

Поэтому чаще всего результат удобрения сульфатом аммония определяется в первую очередь свойствами почвы.

Прежние попытки установить для различных растений коэфициент действия аммиака (в виде сульфата), по сравнению с селитрой, для той или иной культуры представляют интерес как некоторый средний хозяйственный результат для обычных условий, но они не служат для характеристики растения. Так, если, например, в некоторых опытах для пшеницы получался коэфициент, равный 90*, а для ржи—80, то это получалось вовсе не потому, что пшеница лучше переносит физиологическую кислотность, чем рожь; на самом деле она ее переносит хуже, но пшеница возделывается на более богатых и связных почвах, их буферность гораздо больше, чем буферность более легких ржаных почв. Таким образом, этот результат не годится для выведения какого бы то ни было физиологического коэфициента, но им можно пользоваться для практических целей в пределах тех почв, на которых ставились подобные опыты. В качестве крайнего примера получения разных коэфициентов для того же само-

[1] Отсутствие подкисления и даже изменение реакции в другую сторону возможно лишь на почвах карбонатных, вследствие образования более растворимых бикарбонатов:

$$2CaCO_3 + H_2SO_4 = Ca(HCO_3)_2 + CaSO_4.$$

* При этом сравниваются не равные количества селитры и сульфата, но равные количества азота в них, и действие единицы азота в сульфате выражается в процентах от действия азота селитры.

го растения возьмем случай из опыта того же Вагнера, когда на торфяной почве он получил для сульфата коэфициент, равный только 28%, но на той же почве и под то же растение он получал коэфициент в 90%, если одновременно с сульфатом был внесен мел, нейтрализовавший кислотность и физиологическую и почвенную.

Однако при прочих равных условиях, растение может налагать известный отпечаток на результаты опыта; так, например, на той же почве можно наблюдать, что картофель лучше переносит удобрение сульфатом, чем свекла, которая предпочитает нитрат; овес—лучше, чем ячмень, потому что картофель и овес легче переносят подкисление почвы от сульфата, чем свекла и ячмень. При этом нужно иметь в виду, что это подкисление чувствуется растением раньше, чем мы это можем констатировать исследованием средней пробы почвы; корневые волоски создают около себя местные очаги подкисления, которые могут очень мало отозваться на средней пробе, но которые могут оказывать уже действие на растение.

В среднем для Германии Вагнером был установлен для сульфата аммония коэфициент действия, равный 90% от действия азота селитры, но на практике важно знать не обезличенное среднее, а размер действия на данной почве и под данное растение.

На деле же бывают случаи, когда сульфат окажется даже выше нитрата (селитры), например, на почвах с избытком оснований с наклонностью к щелочной реакции, которую смягчает удобрение сульфатом; если почвы содержат трудно растворимые фосфаты и остаточная кислотность сульфата будет повышать их усвояемость, нейтрализуясь при этом основаниями фосфата, то к прямому действию азота присоединится косвенное действие фосфора и в сумме может получиться больший эффект, чем от нитрата; на почвах же, бедных основаниями, получим обратный результат.

Сообразно этому, у нас в районе оподзоленных почв можно ожидать, что сульфат аммония в некоторых случаях будет уступать нитратам, при переходе к чернозему их действие будет выравниваться, а еще дальше к югу сульфат может оказаться по действию выше нитрата.

Помимо различного влияния на реакцию почвы, есть разница, по сравнению с селитрой, в том, что аммиак хорошо поглощается почвой, поэтому он не подвергается вымыванию (пока не произошло превращения аммиачного азота в нитратный вследствие нитрификации). Поэтому с осени под озимые аммиачные соли часто удобнее вносить, чем нитраты; при обильном орошении также предпочитают аммиак; например, при культуре риса, который затопляется водой, применение селитры было бы связано с колоссальными потерями, аммиак же хорошо поглощается почвой, и кроме того, самый рис, независимо от явлений поглощения, приспособлен к аммиачному питанию. В связи с этим в Японии, где рис является главным культурным растением, аммиачные соли предпочитаются селитре.

Таким образом, вопрос о сравнительной оценке азота в сульфате аммония и в селитре решается в разных условиях различно.

Но даже и на почвах подзолистой зоны во многих случаях удобрение сульфатом аммония дает результаты, нисколько не уступающие действию селитры. Приведем здесь несколько примеров, подтверждающих сказанное.

В одном из опытов Института картофельного хозяйства на легко оподзоленной супеси применение возрастающих доз сульфата аммония под картофель дало такие результаты:

Показатели \ Удобрение	Без азота	20 кг N	45 кг N	60 кг N
Урожай картофеля (в центнерах с гектара)	128	217	252	295
Прибавка от $(NH_4)_2SO_4$ (в центнерах с гектара)	—	89	124	167
Прибавка на каждые 15 кг азота	—	45	41	42

Если учесть, что, по данным Вагнера, коэфициент оплаты 1 ц селитры картофелем равен 35, то в этом опыте мы имеем пример даже более высокого действия азота в сульфате аммония (15 кг азота соответствуют 1 ц селитры).

Выше (стр. 214) мы приводили данные опытов б. Витской станции с селитрой в качестве примера осуществления на наших почвах вагнеровского коэфициента для овса. В этом же опыте сульфат аммония почти не уступал по своему действию селитре, что можно видеть из следующего сопоставления:

Урожай овса (в центнерах с гектара)

Удобрения	Фон		
	0	Фосфорит	Известь
Без азота	15,9	16,8	21,2
30 кг N в виде $NaNO_3$	25,6	27,9	29,6
30 кг N в виде $(NH_4)_2SO_4$	24,5	25,9	27,7
120 кг N в виде $NaNO_3$	31,4	37,6	34,1
120 кг N в виде $(NH_4)_2SO_4$	34,3	36,6	36,6

И овес и картофель относятся к растениям, хорошо переносящим повышенную кислотность почвенного раствора, поэтому слабое подкисление от однократного внесения даже высоких доз сульфата аммония на почвах, и не обладающих сильной буферностью, не снижало положительного действия удобрения.

В условиях черноземных почв внесение сульфата аммония и под такие культуры, как, например, сахарная свекла, дает вполне удовлетворительные результаты, особенно при внесении в основном удобрения с осени. Вот несколько примеров из опытов с сахарной свеклой (на деградированных и выщелоченных черноземах):

Прибавки урожая корней сахарной свеклы (в центнерах с гектара) от 45 кг азота на 1 га при внесении различных азотистых удобрений

Опытные учреждения	Азотистые удобрения в виде:		
	$NaNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	$(NH_4)_2SO_4$
Киевская опытная станция	55	38	45
Курская » »	60	44	45
Носовская » »	98	90	60
Чарторайское опытное поле	55	38	35
Моршанское » » (мощный чернозем)	26	24	24

Как видно, в ряде опытов сульфат аммония дает прибавку урожая свеклы не ниже, чем кальциевая селитра. Некоторое (довольно устойчивое) преимущество натронной селитры находит свое объяснение в том, что в этом удобрении на свеклу оказывает положительное действие и натрий; это можно заключить из сравнения прибавок по натронной и кальциевой селитре.

Однако в вопросе о коэфициенте действия сульфата аммония, по сравнению с селитрой, необходимо отметить еще следующего рода условность: все эти величины (85—90 или даже 100%) относятся к однократному внесению удобрений; но что будет, если ежегодно удобрять почву сульфатом аммония, какой будет коэфициент через пять, десять, двадцать лет? Ответ на этот вопрос будет весьма различен в зависимости от почвы и вида растений.

На почвах, богатых поглощенными основаниями, а тем более содержащих $CaCO_3$, возможно без всякого риска длительно применять сернокислый аммоний; наиболее яркий пример такой выносливости мы находим в известных ротамстедских опытах с бессменными культурами, где пшеница с 1852 г. ежегодно получает сернокислый аммоний, и даже при большой его дозе (141 кг азота) до сих пор эти делянки не уступают делянкам, обильно удобряемым навозом, как видно из следующих средних чисел (урожаи в гектолитрах на гектар):

Десятилетия:	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е	6-е	7-е	8-е
Урожай по навозу	30,7	33,7	28,8	34,2	35,2	31,5	23,4	19,8
Урожай по сульфату аммония (+KP)	32,4	36,4	28,0	34,5	34,6	33,4	23,5	21,0

Но на легких почвах, не содержащих $CaCO_3$ и бедных поглощенными основаниями, со временем наступает сдвиг реакции в сторону кислотности и вытеснение поглощенного кальция, который вымывается дождем в виде $CaSO_4$; это лишает почву способности поддерживания, помимо нейтральной реакции, еще и уравновешенности почвенного раствора, в котором может получаться перевес влияния ежегодно вносимого иона аммония над ионом кальция, количество которого все время уменьшается. Пример такого отрицательного влияния ежегодного внесения сульфата аммония на легкой почве дают опыты в Вобурне (Англия), результаты которых изображены графически на рис. 19 (при построении кривых урожай по навозу принят за 100, остальные величины выражены в процентах).

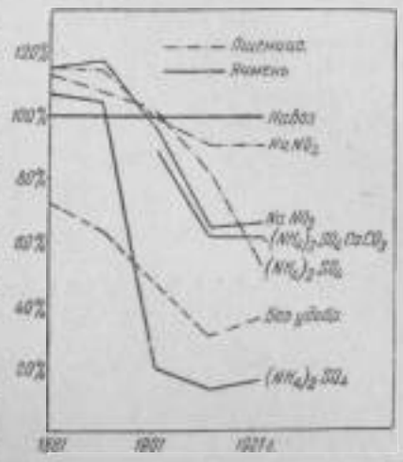


Рис. 19.

Сравнивая движение урожаев по периодам, мы видим, что урожаи по селитре и для озимой пшеницы и для ячменя приближаются к какому-то постоянному для каждого растения уровню; этот уровень, очевидно, определяется дозой азота в селитре, которая была ниже, чем в навозе (равнялась 47 кг на 1 га[1] против 174 кг в навозе).

В отличие от этого, урожаи ячменя по сульфату аммония, несмотря на такую же дозу азота, как в селитре, по истечении первого десятилетия обнаруживают определенную наклонность к падению; по истечении 15 лет действие азота в виде аммиачной соли становится равным нулю, а позднее—отрицательным.

Пшеница значительно дольше, чем ячмень, выдерживает одностороннее удобрение сульфатом, а затем и для нее обнаруживается резкое падение кривой урожайности. В этих условиях коэфициент действия $(NH_4)_2SO_4$, по сравнению с $NaNO_3$, претерпевает во времени резкие изменения от положительного значения в первые годы до нулевого и отрицательного в последующие. Но путем введения $CaCO_3$ одновременно с $(NH_4)_2SO_4$ удается предотвратить эти явления и очень сблизить кривые урожайности по аммиаку и нитратам.

Таким образом, действие сульфата аммония зависит и от особенностей растения и от свойств почвы. Культуры, легко переносящие повышенную кислотность, будут меньше реагировать на подкисляющее действие сульфата аммония; поэтому они способны в течение более продолжительного срока выдерживать систематическое применение этого удобрения даже на малобуферных почвах, не снижая урожая от подкисления.

Наоборот, растения, чувствительные к кислотности, скорее начнут страдать при систематическом внесении сульфата аммония (особенно в больших дозах), если почвы малобуферны и не принимается соответствующих мер для

[1] То, что для озимой пшеницы при той же ограниченной дозе азота (47 кг) уровень урожаев установился другой, чем для ячменя, достаточно объясняется уже тем обстоятельством, что в английском влажном климате остатки неиспользованной ячменем селитры вымываются в течение всей осени и зимы, оставая же пшеница, удаляющая нитраты в период осеннего развития, тем самым уменьшает и зимнее вымывание их.

регулировании реакции почвы (известкование и пр.). Но надо иметь в виду, что в севообороте обычно присутствуют культуры и менее и более чувствительные к подкислению. В частности, культура клевера лучше удается на почвах менее кислых. Поэтому при систематическом применении сульфата аммония на почвах, уже обладающих кислотностью и малобуферных, существенное значение приобретает известкование, устраняющее кислотность и повышающее буферность почвы. В тех же опытах в Вобурне урожаи ячменя по сульфату аммония на известкованном фоне за все время опыта (в течение 40 лет) были почти одинаковы с урожаями по селитре, где подкисляющего действия не было (см. рис. на стр. 225).

Приведенный случай в Вобурне не является исключительным. Подкисление почвы ежегодным внесением сульфата аммония в течение ряда лет без внесения извести наблюдается, как правило, на почвах, не обладающих большим запасом кальция; так, на опытной станции Нью-Джерсей (Северная Америка) ежегодное внесение разных азотистых удобрений в течение 20 лет привело к следующим результатам (средние урожаи в центнерах с гектара за последнее пятилетие):

Культуры \ Формы удобрений	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$	$CaCN_2$	$(NH_4)_2SO_4$ + $CaCO_3$
Кукуруза	21,8	7,6	25,7	28,0
Овес	11,9	3,9	12,1	11,3
Пшеница	14,4	1,0	18,8	17,2

Первоначально в этом опыте был еще ячмень, но так как его урожаи по сернокислому аммонию опустились почти до нуля (не давая зерна), то делянки с ячменем были исключены из опыта. На опытной станции в штате Огайо констатировано было выпадение клевера и полное замещение его сорняками, если его предшественники систематически удобрялись сульфатом аммония.

Иначе ведут себя почвы, богатые углекислым кальцием; они способны выносить длительное удобрение сульфатом аммония и без известкования, как это наблюдалось в Ротамстеде.

Факты неблагоприятного действия повторного внесения сульфата аммония (без известкования) установлены и у нас на подзолистых почвах. Так, в опытах, проведенных на легкой оподзоленной супеси Люберецкого опытного поля Научного института по удобрениям (НИУ) при ежегодном внесении сульфата аммония в дозе 45—60 кг азота на гектар, уже в течение 6-летнего срока обнаружился переход от положительного действия в первые годы к отрицательному в последующие. В опыте чередовались такие культуры: ранняя капуста, овес и картофель. Наиболее резко изменился эффект от сульфата аммония по капусте. Урожаи капусты в 1-й и 4-й годы опыта были такими (в центнерах с гектара):

	1-й год	4-й год
Без внесения азота	100,3	195,8
$(NH_4)_2SO_4$	162,4	84,8
Прибавка	+62,1	−111,0

Даже менее чувствительный к подкислению почвы картофель через 5 лет ежегодного внесения на этой малобуферной почве дал некоторое снижение урожая.

Овес давал большую и устойчивую прибавку урожая за первые 4 года опыта, но уже через 5—6 лет ежегодного внесения сульфата на этой почве и овес реагировал отрицательно:

	2-й год	3—4-й годы	5—6-й годы
Прибавка урожая зерна овса от $(NH_4)_2SO_4$ в центнерах на 1 га	+5,7	+8,3	−6,3

Аналогичные результаты были получены в опыте, проведенном на среднеподзолистом суглинке Долгопрудного опытного поля (Московской области) в севообороте: картофель, свекла, овес, клевер.

Действие сульфата аммония при ежегодном внесении в дозе 45 кг N на 1 га на 5-й год опыта было таким:

	Овес (зерно)	Картофель (клубни)	Свекла (корни)	Клевер (сено)
Без внесения азота	16,3	182,2	96,0*	13,0
$(NH_4)_2SO_4$	19,6	183,5	53,8	11,6

Уже через 5 лет ежегодного внесения сульфата аммония на урожаях свеклы и клевера было заметным отрицательное действие от подкисления. Изменение кислотности почвы под влиянием сульфата аммония за этот срок было таким:

	Без внесения азота	В течение 5 лет $(NH_4)_2SO_4$
Обменная кислотность (в миллилитрах 0,1-н NaOH на 100 г почвы)	8,4	12,6
Гидролитическая кислотность (то же)	29,0	32,1
Поглощенный Ca (в миллиэквивалентах на 100 г почвы)	5,08	4,38

Таким образом, обменная кислотность почвы увеличилась в полтора раза, и на 14% уменьшилось содержание поглощенного кальция[1].

В связи с этим в 1936 г. на части делянок для нейтрализации кислотности была внесена известь. Известкование, как и следовало ожидать, устранило отрицательное действие ежегодного внесения сульфата аммония. Действие его на урожай наиболее чувствительной к подкислению почвы культуры—свеклы—изменилось под влиянием известкования так (урожай в центнерах с гектара):

	Без извести	По извести
Без внесения азота	140,8	179,5
$(NH_4)_2SO_4$	113,6	203,5
Прибавка от $(NH_4)_2SO_4$	−27,2	+24,0

Следовательно, и здесь, как и в опытах в Вобурне, известкование устранило неблагоприятную сторону действия сульфата аммония, связанную с подкислением почвы.

Изменения в состоянии почвенной кислотности при систематическом применении сульфата аммония были констатированы и на почвах, обладающих большей буферностью. Так, у нас для черноземной полосы имеются данные Мироновской станции по влиянию 14-летнего удобрения сульфатом аммония на реакцию почвы:

	pH (в KCl)	Обменная кислотность	Гидролитическая кислотность
Без удобрения	6,0	0,15	69,6
$(NH_4)_2SO_4$	4,9	0,24	164,0

Но на этой почве, даже для периода в 14 лет, отрицательного влияния на урожай не было обнаружено.

Поэтому, если на подзолистых почвах можно ожидать неблагоприятного действия от повторного внесения $(NH_4)_2SO_4$ (без известкования или других мер предотвращения подкисления почвы), то на почвах черноземной зоны, очевидно, вполне возможно длительное применение этого удобрения без ущерба для уро-

* По натровой селитре урожай был равен 189 ц корней на гектар; участок, отведенный под эти опыты, был очень слабой окультуренности, распаханный из-под редкого леса за 5 лет до закладки опыта.

[1] Увеличение обменной кислотности примерно отвечает количеству внесенной в виде сульфата аммония серной кислоты: за 5 лет было внесено всего 225 кг азота на 1 га, что отвечает 15 кг эквивалентов серной кислоты, или около 0,5 м.-экв. на 100 г почвы (считая вес пахотного слоя в 3 000 т). Увеличение обменной кислотности составило, как видно из приведенных выше цифр, около 0,4 м.-экв. на 100 г почвы.

жаев. Что же касается почв карбонатных, каштаны, например, каштановые почвы и сероземы Средней Азии, то вероятность проявления отрицательных свойств сульфата аммония здесь отпадает.

В массовых опытах географической сети Научного института по удобрениям (НИУ) однократное удобрение сульфатом аммония дало хорошие результаты при культуре картофеля, конопли, капусты, овса и озимой ржи, уступая селитре лишь на кислых почвах при кислом кали-фосфатном фоне. Вполне удовлетворительным был сернокислый аммоний при культуре хлопчатника на сероземах Средней Азии.

При внесении же под лен и ячмень на почвах подзолистой зоны и под сахарную свеклу на деградированных черноземах действие сульфата аммония в первые же годы внесения несколько уступало действию других форм азотистых удобрений (в частности, селитры).

ХЛОРИСТЫЙ АММОНИЙ (NH_4Cl)

Хлористый аммоний (NH_4Cl) получается как побочный продукт при производстве соды по способу Сольвея, согласно уравнению:

$$NH_3 + CO_2 + NaCl + H_2O = NaHCO_3 + NH_4Cl.$$

Так как заводы синтетического аммиака, если они работают на угле, всегда располагают большими количествами отбросной углекислоты, то отсюда становится очевидным удобство комбинирования производства соды с аммонийными заводами; последние при этом избавляются от расходов на серную кислоту для связывания аммиака, отчего может получиться удешевление единицы азота в NH_4Cl, по сравнению с $(NH_4)_2SO_4$.

Обычно NH_4Cl, выпускаемый заводами, содержит 24—25% N (вместо 26% в химически чистой соли).

Хлористый аммоний обладает хорошими физическими свойствами: он мало гигроскопичен, не слеживается при хранении. В отношении взаимодействия с почвой NH_4Cl ведет себя аналогично сульфату аммония. Это—соль, хорошо растворимая в воде; в почве быстро происходит обменная реакция, сопровождающаяся поглощением NH_4 и переходом в раствор вытесняемых ионом аммония катионов, образующих с ионом хлора растворимые соли ($CaCl_2$, $MgCl_2$):

$$\begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}Ca + 2NH_4Cl = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}NH_4\\ NH_4\end{matrix} + CaCl_2.$$

Далее здесь имеет место также нитрификация, причем есть указания на то, что нитрификация при внесении хлористого аммония идет несколько медленнее, чем при внесении сульфата. Повидимому, это связано со специфическим влиянием ионов хлора на деятельность микроорганизмов. Так, например, в опытах, проведенных на Полесской опытной станции, наблюдался такой ход накопления нитратов при внесении в почву сульфата аммония и хлористого аммония:

Внесены в почву	Содержание нитратного азота через			
	1 недели	2 недели	4 недели	8 недель
NH_4Cl	1,09	1,63	2,22	4,00
$(NH_4)_2SO_4$	2,10	5,27	10,30	9,45

Все же по удобрительному значению обе соли (хлористый аммоний и сернокислый аммоний) имеют много общего: то же физиологическая кислотность характерна для хлористого аммония, как и для сернокислого, поэтому общие правила применения имеют силу и здесь, т. е. почва должна быть богата основа-

ниями или одновременно нужно заботиться об известковании. Если эти условия соблюдаются, то для хлебов и даже для сахарной свеклы действие хлорида близко к действию сульфата, но не то получается для картофеля; для него хлористый аммоний противопоказуется, так как, давая повышение урожая сырой массы, хлористый аммоний снижает содержание в клубнях сухого вещества вообще и крахмала в особенности; так, например, в одном опыте (Шнейдевинда в Германии) крахмалистость менялась в зависимости от источника азота (при дозе азота в 30 кг на 1 га), следующим образом:

	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl
Крахмал (в процентах)	17,9	17,7	16,3
Прирост урожая сухого вещества (в центнерах на гектар)	10,0	9,2	7,9

Аналогичные результаты были получены в опытах Люберецкого опытного поля (Московская область). Здесь действие хлористого аммония на картофель было прослежено в условиях систематического его внесения в течение 6 лет.

Годы внесения удобрений	Процент крахмала в клубнях картофеля		
	без внесения азота	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl
1-й год внесения удобрений	18,6	18,1	17,5
3-й и 4-й годы ежегодного внесения удобрений	16,9	16,7	15,8
6-й год ежегодного внесения удобрений	14,3	14,9	13,8

Кроме картофеля, неблагоприятное действие ионов хлора на качество урожая наблюдается для таких культур, как виноград и табак.

В тех случаях, когда соли аммония вообще мало пригодны (на почвах, не насыщенных основаниями), действие хлористого аммония может быть хуже действия сернокислого аммония, особенно на растения, чувствительные к кислой реакции, вследствие того, что HCl быстрее поступает в клетки, чем H_2SO_4; при одинаковой кислотности внешнего раствора растение раньше почувствует вред от соляной кислоты, чем от серной. Для смягчения вреда от физиологической кислотности в Германии частично поступает в продажу смесь NH_4Cl с 30% $CaCO_3$, содержащая 17% азота.

В согласии с вышесказанным, в опытах НИУ хлористый аммоний значительно уступал другим формам при культуре льна на подзолистых почвах. К картофелю это относится не только в случае опытов на подзолистых почвах, но и на черноземах; кроме того, NH_4Cl всегда снижает процент крахмала (на 0,7—1,5% против сульфата аммония); на овощных растений неблагоприятные результаты были получены для лука и частично для капусты.

Наоборот, в случае сахарной свеклы на черноземных почвах действие хлористого аммония было подобно действию сульфата (при сплошном внесении с осени); так же и в случае конопли (но на подзолистых почвах он был хуже сульфата и для конопли). При культуре хлопчатника для средних доз азота нет разницы между хлоридом и сульфатом, но при высоких дозах замечается определенное различие в пользу сульфата.

АММИАЧНО-НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Из того, что было сказано выше о сернокислом и хлористом аммонии, ясно, что наличность в них 75% балласта в виде серной кислоты (в сульфате аммония) или 68% соляной кислоты (в хлористом аммонии) не вызывается никакими агрономическими соображениями. Это есть лишь своего рода «принудительный ассортимент», вызываемый необходимостью для промышленности связать аммиак кислотой, по возможности, дешевой. Однако этого «принудительного ассор-

тиментаю можно избегнуть, если вместо все-таки не очень дешевой, но совершенно ненужной кислоты взять хотя бы и более дорогую, но нужную, например, фосфорную или азотную, т. е. готовить фосфаты аммония или азотнокислый аммоний. Известная часть синтетического аммиака для получения сложных азотно-фосфатных удобрений используется по линии первого из этих путей, а именно—идет на приготовление фосфатов аммония (см. ниже стр. 375). Однако еще большее распространение имеет в настоящее время второй из них, т. е. связывание аммиака азотной кислотой. В этом случае получается азотнокислый аммоний NH_4NO_3, т. е. удобрение, содержащее азот как в аммиачной, так и в нитратной формах. При этом способе азотные заводы освобождаются от подвоза сырья для производства серной кислоты, так как азотная кислота получается тут же окислением части аммиака. Существенным является и то обстоятельство, что благодаря связыванию аммиака азотной кислотой, вследствие освобождения от ненужного балласта, получается удобрение, содержащее более высокий процент азота, что облегчает транспорт его до мест потребления. Кроме нитрата аммония, к этой же группе удобрений относится смеси NH_4NO_3 с сульфатом аммония.

НИТРАТ АММОНИЯ (АММИАЧНАЯ СЕЛИТРА NH_4NO_3)*

Нитрат аммония, как сказано выше, получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком:

$$HNO_3 + NH_3 = NH_4NO_3.$$

Исходным продуктом служит синтетический аммиак, часть которого предварительно окисляется до азотной кислоты.

Образующийся раствор NH_4NO_3 упаривается, и после кристаллизации соль отделяется центрифугированием.

NH_4NO_3 обладает большой гигроскопичностью, при хранении часто подвергается слеживанию, образуя в результате перекристаллизации сплошную массу, требующую дробления перед внесением. Высокая гигроскопичность и слеживаемость нитрата аммония осложняет работу с этим удобрением, создавая затруднения при внесении, особенно механизированном. Отсюда возникает вопрос о примесях, которые улучшали бы физические свойства данного удобрения. Этого можно достигнуть несколькими путями, хотя безупречного решения пока не найдено; так, при введении 40% углекислого кальция получается смесь мало гигроскопичная и удобная для машинного высева[1]. В наших условиях эта смесь будет удобна для применения в зоне оподзоленных почв, где нужно вносить известь (однако для подзолов еще более целесообразно смешивать NH_4NO_3 с фосфоритной мукой); но для транспорта в Среднюю Азию, где почва имеет достаточно извести, было бы нецелесообразно вводить 40% балласта. Для Средней Азии имело бы больше значения, если бы туда доставлялась смесь NH_4NO_3 с преципитатом[2], но для этого нужно повысить производство преципитата, которое пока еще недостаточно развито у нас.

В Германии одна из фирм выпускает гранулированную амселитру (т. е. в мелких зернах) с присыпкой небольшим количеством тонкой глины, так что получается продукт с 30% N; у нас частично применяется покрытие зернистой амселитры легкой парафиновой смазкой (0,05% парафина от веса соли), но нужно думать, что припудривание гранул каким-либо минеральным веществом было бы более целесообразно.

---

* Сокращенное название «амселитра».

[1] Однако при подмачивании такая смесь будет терять аммиак; в этом отношении безопаснее примесь $CaSO_4$.

[2] Целесообразность смешивания NH_4NO_3 с преципитатом подтверждена опытом Франции; это направление признано там наилучшим из всех форм использования синтетического аммиака (о преципитате см. стр. 334).

Химически чистая соль NH_4NO_3 содержит 35% азота; процент азота в техническом продукте, вследствие содержания влаги и примесей, обычно бывает несколько ниже (33—34%). Следовательно, по сравнению с такими удобрениями, как $NaNO_3$ и $Ca(NO_3)_2$, нитрат аммония выгодно отличается примерно вдвое более высоким процентом азота. В сравнении с сульфатом аммония NH_4NO_3 также выигрывает в этом отношении (33—34% действующего начала против 20% в сульфате). Это обстоятельство является одним из главных преимуществ азотнокислого аммония. NH_4NO_3 отличается от натриевой и кальциевой селитры тем, что не только не обладает физиологической щелочностью, типичной для названных удобрений, но обладает даже известной степенью физиологической кислотности. Однако физиологическая кислотность NH_4NO_3—гораздо меньшая, чем сульфата аммония или хлористого аммония. Если вначале из азотнокислого аммония растение и будет брать преимущественно основание, то затем оно все-таки будет потреблять и кислоту, так что в итоге от этого удобрения не может получиться того накопления кислых остатков, как от сульфата.

Временное подкисление при внесении NH_4NO_3 возможно и без участия растения, за счет нитрификации:

$$2NH_4NO_3 + 4O_2 = 4HNO_3 + 2H_2O.$$

И здесь подкисляющее действие NH_4NO_3 должно быть меньше, чем от сульфата, так как при одном и том же количестве внесенного азота под влиянием нитрификации может образоваться в два раза меньше кислоты (там, наряду с образованием HNO_3, освобождается H_2SO_4, а здесь только HNO_3).

Приведем здесь пример, показывающий, что по влиянию на кислотность почвы NH_4NO_3 занимает промежуточное положение между такими удобрениями, как $NaNO_3$ и $(NH_4)_2SO_4$. В одном из опытов, проведенных на средне подзолистой супесчаной почве Люберецкого опытного участка НИУИФ после 5 лет ежегодного внесения удобрений, наблюдались такие изменения в состоянии кислотности почвы:

Показатели \ Удобрения	Без азота	$NaNO_3$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$
Подвижный Al (в миллиграммах на 100 г почвы)	2,6	1,6	2,9	3,5
Обменная кислотность (в миллилитрах 0,1-н NaOH на 100 г почвы)	4,2	1,7	3,7	5,7
Гидролитическая кислотность (в миллилитрах 0,1-н NaOH на 100 г почвы)	18,7	16,5	19,0	20,0
pH	5,2	5,6	5,0	4,9

Здесь явно выступает, с одной стороны, уменьшение кислотности почвы под влиянием систематического внесения $NaNO_3$ и увеличение кислотности от сульфата аммония, тогда как применение нитрата аммония не вызвало почти никаких изменений в этом отношении.

При внесении в почву NH_4NO_3 быстро растворяется в почвенной влаге и вступает в реакцию с поглощающим комплексом:

$$\left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}Ca\\ Ca\end{matrix} + 2NH_4NO_3 = \left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}NH_4\\ NH_4\\ Ca\end{matrix} + Ca(NO_3)_2.$$

Аммиачный азот нитрата аммония поглощается почвой, а NO_3 остается в почвенном растворе. Следовательно, часть (половина) азота этого удобрения обладает большой подвижностью в почвенном растворе сразу после внесения, тогда как при внесении сульфата аммония проходит некоторое время, пока в процессе нитрификации образуются легкоподвижные нитраты. Это обстоятельство заставляет считать нитрат аммония весьма подходящей

формой азотистого удобрения для внесения в подкормках, по сравнению, например, с $(NH_4)_2SO_4$. Особенно удобно использовать NH_4NO_3 в тех случаях, когда проводится не сухая, а жидкая подкормка раствором удобрения, так как при таком способе отпадают затруднения, связанные с гигроскопичностью и слеживаемостью удобрения. Растворимость же NH_4NO_3 в воде очень высока, что облегчает приготовление раствора для жидких подкормок. Однако и при внесении в сухом виде в качестве подкормок (в частности, при весенней подкормке озимых) нитрат аммония часто дает лучшие результаты, по сравнению с сульфатом.

Если применяются высокие дозы удобрения, то преимущества NH_4NO_3 заключаются еще и в том, что *при одной и той же доле азота* повышение общей концентрации солей в почве будет меньше, чем при внесении таких удобрений, как $NaNO_3$ или $(NH_4)_2SO_4$, так как нитрат аммония не содержит никакого балласта.

Отмеченная особенность нитрата аммония как удобрения безбалластного может иметь значение также при удобрении почв в условиях недостаточного увлажнения, когда повышение концентрации является следствием малого содержания в почве влаги.

В опытах НИУ нитрат аммония нередко занимал первое место среди азотистых удобрений (под хлопчатник, свеклу, при сплошном внесении; из овощных культур—под капусту), в других случаях он занимал среднее положение (лен, картофель).

СУЛЬФАТ-НИТРАТ АММОНИЯ [СМЕСЬ NH_4NO_3 И $(NH_4)_2SO_4$—«ЛЕЙНА-СЕЛИТРА» И «МОНТАН-СЕЛИТРА»]

В настоящее время улучшение физических свойств нитрата аммония достигается применением смеси NH_4NO_3 с сульфатом аммония, получающей широкое распространение. Такая смесь солей нитрата и сульфата аммония отличается меньшей гигроскопичностью и может лучше храниться в размельченном состоянии, но, конечно, обладает гораздо большей физиологической кислотностью, чем NH_4NO_3.

В Германии такую смесь готовит завод Лейна, откуда и происходит название «лейна-селитра». Способ получения смеси состоит в следующем: расплавленный NH_4NO_3 смешивают с $(NH_4)_2SO_4$, в результате чего частично образуется двойная соль $(NH_4)_2SO_4 \cdot 2NH_4NO_3$.

Общее содержание азота в смеси обычно бывает около 26%, т. е. представляет нечто среднее между процентом азота в сульфате и нитрате аммония. Эти 26% составляются примерно из 18—19% азота аммиачного и 7% нитратного. Так как производство этого удобрения идет у нас, то нам не для чего говорить об удобрении «марка Лейна»; а если хотят заменить термин «сульфат-нитрат» каким-либо упрощенным обозначением, то лучше говорить «(название завода) номер такой-то».

Тем более неправильно это удобрение называть селитрой, как сделал Германский азотный синдикат в рекламных целях, желая противопоставить иностранной (чилийской) селитре свой продукт под привлекательным для покупателей названием; но если в этом продукте из 26% азота 18—19% приходится на аммиачный и только 7% на селитряный азот, то на деле это скорее «лейненский аммиак», чем «лейненская селитра», притом со значительным содержанием серной кислоты. Это рекламное название только вводит в заблуждение немецкого крестьянина, привыкшего к чилийской селитре и боящегося сделать свою почву кислой употреблением аммиачных солей. Этим-то и пользуются торговые фирмы, чтобы сбывать аммиачные соли под названием селитры.

Сказанное относится и к так называемой *монтан-селитре*, которая получается не смешением готовых солей, а взаимодействием аммиака с серной и азотной кислотами; при этом выделяемое тепло вызывает почти полное удаление воды, и соли получаются в виде сплава, непрерывно вытекающего из аппарата.

Если бы этот продукт назывался просто «монтана», а не монтан-селитра, то в таком названии не было бы ничего противоречащего действительности.

Переход к производству удобрений типа лейна- или монтан-селитры—решение компромиссное; оно представляет частичный возврат к тому же сульфату аммония; поэтому лучше применять иные пути улучшения физических свойств нитрата аммония, о которых говорилось выше. Но все же, по сравнению с сульфатом аммония, некоторые преимущества подобных смесей должны быть отмечены: это—повышенное содержание азота и несколько меньшая физиологическая кислотность, так как на одно и то же количество азота в них приходится примерно вдвое меньше серной кислоты. Следовательно, по своим свойствам как удобрения сульфат-нитрат должен занимать промежуточное положение между NH_4NO_3 и сульфатом аммония.

СИНТЕТИЧЕСКАЯ МОЧЕВИНА [$CO(NH_2)_2$]

Кроме связывания аммиака с серной, соляной или азотной кислотами, можно связывать его для получения соли с *угольной кислотой*.

Так как угольная кислота имеется в избытке как почти отбросный продукт на всех азотных заводах, работающих по способу Габера, то *углекислый аммоний* является самой дешевой солью, какую только может дать азотный завод; но так как летучесть этой соли легко вызывает потери азота, то представляется весьма существенной возможность перехода от углекислого аммония к карбамиду, т. е. *к синтетической мочевине*.

Если теоретически возможность синтеза мочевины была известна давно (синтез Велера), то для осуществления его в промышленном масштабе важно было добиться получения высоких выходов мочевины. В настоящее время и эта задача успешно разрешается, и надо полагать, что в будущем мочевине будет принадлежать большая роль в ассортименте азотистых удобрений.

Для получения мочевины применяют нагревание углекислого аммония в замкнутом пространстве, приводящее к выделению воды:

$$(NH_4)_2CO_3 - 2H_2O = CO(NH_2)_2.$$

Кристаллический карбамид (мочевина) является превосходным концентратом: он содержит втрое больше азота, чем селитра (46%), и поэтому удобен для транспорта.

В почве мочевина под влиянием бактериальной деятельности (уробактерий, выделяющих фермент уреазу) быстро аммонифицируется:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3.$$

В результате аммонификации мочевины в почве может создаваться временное местное (в месте внесения удобрения) подщелочение реакции, так как углекислый аммоний гидролитически щелочная соль:

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O = NH_4HCO_3 + NH_4OH.$$

По мере аммонификации образующийся аммоний поглощается почвой:

$$\left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}Ca\\ Ca\end{matrix} + (NH_4)_2CO_3 = \left(\begin{matrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right)\begin{matrix}NH_4\\ NH_4\\ Ca\end{matrix} + CaCO_3.$$

В дальнейшем аммоний подвергается нитрификации; так как при этом аммоний превращается в азотную кислоту, то временное подщелочение реакции сменяется некоторым подкислением (оно может быть заметным, если почва малобуферна). Однако после усвоения азота растениями *от мочевины никаких остатков—ни кислых, ни щелочных—в почве не останется*. В этом отношении мочевина, как безбалластное удобрение, аналогична азотнокислому аммонию.

Сказанное можно иллюстрировать данными определения кислотности почвы на делянках с ежегодным внесением азотистых удобрений (Долгопрудное опытное поле):

	NH_4NO_3	$CO(NH_2)_2$
Подвижный Al (в миллиграммах)	7,03	7,03
Обменная кислотность (в миллилитрах 0,1-н NaOH на 100 г почвы)	9,5	9,4
Гидролитическая кислотность	36,9	34,2
pH	4,6	4,7

Высокий процент азота в мочевине заставляет признать ее весьма удобной для транспорта. Но то, что является плюсом для транспорта (высокопроцентность), вызывает иногда трудность равномерного распределения (а оно важнее в данном случае, чем в случае нитратного азота); поэтому мочевину иногда перед наполнением сеялки смешивают, например, с фосфатами (а если она вносится одна, то хотя бы с песком, если нужно по устройству сеялки придать обычный объем вносимому удобрению для возможно равномерного его распределения).

Высокий процент азота в мочевине делает ее весьма подходящей для приготовления смесей с другими удобрениями на тукосмесительных установках; но при этом представляется существенным подыскание таких смесей, которые сохранили бы хорошие физические свойства, не были гигроскопичны, не слеживались и т. д.

В опытах НИУ по сравнению форм азотистых удобрений мочевина часто давала высокие прибавки, но иногда (особенно при повышенных дозах) замечались отступления (вероятно, в связи с недостаточно равномерным распределением этого наиболее концентрированного из азотистых удобрений).

В заключение перечня возможностей связывать аммиак с иными кислотами, кроме серной, укажем, что при некоторых условиях возможно и еще одно решение вопроса—не связывать аммиак ни с какой кислотой, а применять его в виде раствора прямо для целей удобрения[1]; это особенно удобно при культуре овощных, где можно применять слабые растворы аммиака при поливке. Кроме того, возможно введение в почву и более концентрированных растворов с помощью особого аппарата (растениепитатель).

ЦИАНАМИД (КАЛЬЦИЕВОЕ ПРОИЗВОДНОЕ—$CaCN_2$)

Помимо соединения азота с *кислородом*, которое было *первым этапом развития* синтетической азотной промышленности (Норвегия), и соединения *с водородом*, теперь являющимся преобладающим (синтетический аммиак), имеется еще и третий путь связывания азота воздуха, это—соединение азота с *углеродом* с образованием цианистых соединений и их производных, причем исходным материалом служит не самый углерод, а соединения его с металлами, так называемые карбиды.

Как и в двух предыдущих случаях, изобретению, имеющему большое практическое значение, предшествовала длительная теоретическая разработка вопроса; хотя и раньше было известно, что при пропускании азота через смесь раскаленного угля и щелочей образуются цианистые соединения, но только после того, как была найдена и усовершенствована динамомашина, и после того, как французский химик Муассан изучил соединения углерода с различными металлами, стало возможно техническое добывание карбидов, и опыты связывания азота карбидами могли быть поставлены в более крупных размерах. Изучение этого вопроса—азотирования карбидов—было особенно продвинуто работами немецких химиков Франка и Каро, и с 1905 г. возникла промышленность цианистых соединений, основанная на использовании карбида кальция; хотя наиболее просто идет реакция присоединения азота к карбиду бария, с образованием цианистого бария [$BaC_2+N_2=Ba(CN)_2$], однако по ряду соображений применение бария для с.-х. целей не годится (соединения бария ядовиты); поэтому обратили больше внимания на карбид кальция, хотя здесь реакция и не имеет той простоты, как в предыдущем случае.

[1] При этом имеется в виду транспорт жидкого (100%) аммиака в особых цистернах и разбавление его водой на местах. Для понижения давления аммиака предлагается растворять в нем $Ca(NO_3)_2$, NH_4NO_3, $CO(NH_2)_2$; такие аммиакаты более удобны для транспорта и обращения с ними на местах, чем жидкий аммиак в чистом виде.

Карбид кальция в нагретом состоянии способен присоединять азот, но при этом получается не просто цианистый кальций, но тело несколько более сложной структуры, причем часть углерода отщепляется в свободной форме, отчего цианамид, так полученный, всегда содержит примесь угля:

$$CaC_2+N_2=CaCN_2+C.$$

В соединении $CaCN_2$ кальций является связанным непрочно, а связь углерода с азотом прочная; так как на место кальция легко становится водород, то это соединение кальция нужно представить как производное свободного цианамида, строение которого таково:

$$\underset{\text{группа циана}}{N\equiv C}-\underset{\text{амидная группа}}{NH_2},$$

суммарно же пишут H_2CN_2. Цианамид имеет связь с мочевиной, из которой может быть получен отнятием воды:

$$CO(NH_2)_2-H_2O=CN_2H_2,$$

и, наоборот, воспринимая воду, цианамид переходит в мочевину; знание этого факта позволяет понять превращения цианамида в почве; именно, он так же, как и мочевина, способен переходить в углекислый аммиак.

Производство цианамида[1] состоит из двух главных процессов: получения карбида, с одной стороны, и азотирования его—с другой. Карбид получают, нагревая смесь извести с углем:

$$CaO+3C=CaC_2+CO.$$

Реакция идет при нагревании до 1 800° в электрической печи; когда пробьют глиняную пробку, расплавленный карбид вытекает из печи, сверкая, как струя расплавленного металла; он застывает в твердую массу, которую дробят на мельницах. Затем размельченным карбидом наполняют цилиндры, в которые пропускают азот. Чтобы началась реакция присоединения азота, достаточно нагреть карбид в каком-нибудь одном месте до 700—800°, дальше процесс идет уже сам собой, с выделением тепла:

$$CaC_2+N_2=CaCN_2+C.$$

Для получения азота на цианамидных заводах обыкновенно пользуются жидким воздухом (машина Линде), отделяя азот от кислорода, пользуясь различием в точках кипения того и другого.

Таким образом, это производство требует значительной затраты энергии только в первом процессе—получении карбида—и не требует повышения давления ни в этой стадии, ни в следующей; азотирование идет легко при обыкновенном давлении. В результате это производство гораздо проще, чем производство синтетического аммиака, и не требует дорогой аппаратуры. Хотя расход энергии при нем больше, чем при синтетическом аммиаке, но последний еще нужно связывать кислотой, между тем как цианамид не требует больше уже никакой химической обработки; на рынках Западной Европы цианамид продается по более дешевой цене (за единицу азота), чем все другие виды азотистых удобрений.

При нагревании с парами воды цианамид легко дает аммиак, распадаясь по уравнению:

$$CaCN_2+3H_2O=CaCO_3+2NH_3,$$

а от аммиака возможен переход и к азотной кислоте; таким образом, этот процесс связывания азота воздуха может быть использован в разных направлениях (что и делалось в Германии во время прошлой войны). Но еще раньше Франк высказал мысль, что для с.-х. целей может и не потребоваться никаких дополнительных операций, так как распад с образованием аммиака должен постепенно происходить в почве без всякого нагревания, а переход от аммиака к азотной кислоте в почве обеспечен деятельностью нитрификаторов. Все это

[1] Для краткости мы будем употреблять дальше термин цианамид вместо более сложного: кальциевое производное цианамида. Когда же будет итти речь не о $CaCN_2$, а о CN_2H_2, то, чтобы подчеркнуть отсутствие кальция, мы будем называть это соединение свободным цианамидом.

вполне подтвердилось, и даже оказалось, что образование аммиака в почве происходит гораздо быстрее, чем это раньше можно было думать, однако самый цианамид является ядовитым веществом, а потому требует осторожности в обращении с ним; при выборе способа внесения с ним нельзя поступать, например, так, как это делается с селитрой.

Содержание азота в техническом цианамиде не отвечает формуле $CaCN_2$ (т. е. 35% N), во-первых, потому, что, как сказано выше, добавляется один атом углерода, отщепленный от карбида (что уже снижает содержание азота до 30%), а кроме того, технический карбид всегда содержит примеси: CaO, непрореагировавшие остатки угля, частью сернистые соединения, так как уголь обычно содержит серу. Поэтому поступающий в продажу цианамид окрашен углем в черный цвет и содержит обычно 20—22% азота.

В последнее время в Германии появился «белый цианамид» иного происхождения; так, если аммиаком действовать на мел при известных условиях давления и температуры, то получается реакция, обратная приведенной раньше, а именно:

$$CaCO_3 + 2NH_3 = CaCN_2 + 3H_2O.$$

Такой продукт не содержит примеси угля и потому является более высокопроцентным. Этот способ предложен для того, чтобы перейти от свободного аммиака к форме, пригодной для транспорта и применения на удобрения без затраты серной (или другой) кислоты.

Так как измельченный цианамид представляет собою тонкий порошок, который сильно пылит не только при рассеве руками, но и при загрузке сеялок и пр. и вдыхание которого вредно для здоровья работающих, то стали применять следующие меры для устранения этого свойства:

1) вводят в цианамид небольшое количество (3%) тяжелых нефтяных масел или

2) выпускают гранулированный цианамид в виде мелких зернышек, которые не так легко уносятся током воздуха, как тонкая пыль; но во всех этих случаях нужно высевать цианамид сеялками, а не руками, и принимать меры предосторожности при наполнении сеялок (перчатки, очки и пр.).

При внесении цианамида в почву кальций связывается поглощающим комплексом почвы и свободный цианамид быстро переходит в мочевину:

$$1)\quad \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}H\\ H\\ Ca\end{matrix} + CaCN_2 = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}Ca\\ \\ Ca\end{matrix} + H_2CN_2;$$

$$2)\quad H_2CN_2 + H_2O = CO(NH_2)_2.$$

Этот процесс идет при слабокислой реакции, независимо от микроорганизмов, под влиянием ряда катализаторов, которые содержатся в почве (цеолитная часть поглощающего комплекса, гидрат окиси железа, полевошпатовые минералы и пр.); от быстроты его течения зависит успех применения цианамида, так как сам по себе он очень ядовит и не должен приходить в соприкосновение с семенами. Дальнейший же распад мочевины до углекислоты и аммиака по схеме:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3$$

происходит также легко под влиянием бактерий, но последующий переход аммиачного азота в нитратный совершается лишь постепенно[1].

На почвах же, где отсутствуют (или слишком мало представлены) вышеназванные катализаторы и где бактериальная деятельность мало развита, цианамид может долго оставаться не вполне разложенным и приносить вред всходам; таковы бедные пески и торфяные почвы; на них следует избегать применения цианамида.

На почвах, богатых поглощающим комплексом (и вообще катализаторами процесса образования мочевины), уже за 12 часов тесного смешения цианамида

[1] Имеются наблюдения, указывающие на то, что нитрификация при внесении в почву цианамида идет медленнее, чем при внесении сульфата аммония.

с почвой вред от него сильно смягчается; через 36 часов он становится небольшим, через 60 часов его нельзя больше констатировать. Через 5 дней количество аммиака, образовавшегося за счет цианамида, выравнивается с количеством аммиака на делянке, получившей непосредственно аммиачную соль. Таким образом, умелое внесение цианамида на деятельных почвах равносильно внесению аммиачной соли без ее отрицательной стороны (внесения серной или соляной кислоты), но с добавкой положительного спутника—кальция.

Кроме свойств почвы, препятствием к быстрому переходу в мочевину может быть неравномерное распределение цианамида (местные избытки его) или внесение слишком больших доз; дело в том, что нормально кальций, отщепляющийся от цианамида, связывается поглощающим комплексом почвы и реакция раствора не меняется заметно, оставаясь слабокислой; при избытке же цианамида (все равно, местном или общем) получается подщелочение почвенного раствора, а при щелочной реакции вместо распада цианамида через мочевину до аммиака и углекислоты наступает другой процесс (именно полимеризация с образованием дициандиамида [$2H_2CN_2 = H_4C_2N_4$]); при этом убыль самого цианамида замедляется, что можно видеть на примере следующего опыта (Ратзер).

	Дозы цианамида в миллиграммах азота на 1 кг почвы			
	100	200	400	800
Исчезновение качественной реакции на цианамид через	6 дней	9 дней	15 дней	26 дней
Обнаружено дициандиамида в миллиграммах N на 1 кг почвы	1,12	5,18	48,67	161,70
В процентах от внесенного азота	1,12	2,59	4,64	20,21

Вновь образующийся продукт (дициандиамид) является более стойким, и хотя он не так ядовит, как неизменный цианамид, но все же подавляет нитрификацию, действуя неблагоприятно на растения, и образование его, во всяком случае, нежелательно (с устойчивостью дициандиамида приходится считаться еще и в тех случаях, когда он образуется при неблагоприятных условиях хранения; подробнее об этом см. ниже).

Из всего вышеизложенного вытекает правило: вносить цианамид не перед самым посевом, а, например, *за неделю до него, хорошо распределяя и перемешивая с почвой*.

Для почв деятельных, с большой емкостью поглощения, с большим бактериальным населением, как чернозем, этот срок может быть и излишним, но на других почвах его лучше выдерживать (а на легких почвах удлинить). Удобно вносить цианамид при осенней вспашке. Помимо почвы, играет роль еще природа растения: так, крестоцветные гораздо чувствительнее злаков к цианамиду.

На этом основании в Германии даже применяют цианамид для борьбы с сорной растительностью (в тонком порошке, а не в зернах, и без примеси минерального масла). Это делается например, тогда, когда между всходами овса, уже достаточно окрепшими, появляется сурепка. Тогда поверхностное внесение цианамида (в количестве 1,2—1,5 п на 1 га) убивает сурепку (также некоторые сорняки из сложноцветных), а овес не страдает, так как у листьев овса поверхностные клетки защищены гораздо более толстой кутикулой, чем у сурепки (возможно что здесь играет роль, помимо механической, и химическая причина; лучшее снабжение углеводами всходов овса, чем сурепки). Кроме того, в Германии были сделаны удачные опыты лечения хлебов, пораженных ржавчиной, посыпкой 60—80 кг на 1 га пылящего цианамида; при этом посыпка должна производиться рано утром, когда растения покрыты росой; при правильном выборе срока достигается подавление развития ржавчины на несколько недель. Далее, посыпка цианамидом хорошо уничтожает слизней (доза 1—1,5 п), проволочных червей (2—3 п), а при заблаговременном внесении больших доз (4—5 п) при очень хорошем распределении можно одновременно с удобрением под озимое достигать и подавления развития горных трав (исключаются, конечно, почвы, ранее названные, как вообще не подходящие для применения цианамида, и из культурных растений не должны высеваться после этого особенно чувствительные к цианамиду, вроде озимого рапса; озимая рожь и пшеница менее чувствительны). Из общего сбыта цианамида в Германии около 400 тыс. т на борьбу с сорняками идет 25 тыс. т.

Так как под злаки часто подсевается клевер, то приходится интересоваться тем, насколько это растение можно высевать в те же сроки, как покровное растение (например, овес).

Из многих относящихся сюда опытов приведем следующий, произведенный в сосудах, следовательно, при тщательном смешении удобрения с почвой (суглинок):

Всхожесть семян клевера	Посев после внесения удобрения через			
	0	7 дней	14 дней	21 день
При дозе 0,05 г на 100 г почвы	26%	91%	92%	92%
При дозе 0,025 » » » »	93%	—	—	95%

Этот опыт относится к чрезвычайно высоким дозам азота, в 10—20 раз превышающим то количество, которое применяется на практике (это делалось, чтобы учесть риск повышения концентрации от неравномерного распределения удобрения, в полевых условиях), и тем не менее через неделю не было вреда от самой большой дозы (20-кратной), а при дозе 10-кратной на данной почве (видимо, очень активной) не был вреден даже высев в день внесения.

Но если взять почвы менее богатые минеральными катализаторами, вызывающими быстрое исчезновение цианамида (переход в мочевину), то результат может быть иным, в особенности если культурное растение отличается чувствительностью к цианамиду; так, в той же серии при опытах с горчицей на почвах, мало пригодных для удобрения цианамидом, получился такой результат (при дозе 0,025 г на 100 г почвы):

Посев через		0	7	14	21 день
Всхожесть в процентах	на песчаной почве	35	88	95	95
	на торфяной почве	0	0	46	46

С цианамидом произведено очень большое количество опытов в целях определить его действие и найти коэфициент для сравнения с селитрой; так, в Германии Вагнер на основании всей совокупности опытов (полевых и вегетационных) пришел к заключению, что если прирост урожая от селитры принять за 100, то прирост от равного количества азота в цианамиде будет в среднем равен 90, если же действие азота в $(NH_4)_2SO_4$ принять за 100, то для цианамида получим 95. Однако эти данные относятся не ко всем почвам и к умеренным дозам удобрений, при высоких же дозах цианамид будет давать иные коэфициенты; так, например, в одном из опытов (в сосудах) наблюдалась такая последовательность:

Дано азота на сосуд (в граммах)	0,2	0,4	1,5
Коэфициент для цианамида (относительно селитры) (в процентах)	97	86	69

Соответственно этому, у нас при опытах в Средней Азии при умеренных дозах азота (60 кг/га) цианамид давал одинаковые результаты с другими азотистыми удобрениями (на почвах, богатых кальцием, как сероземы, действие селитры и аммиачных солей также сближается), при повышении же дозы до 90 кг наблюдалось несколько меньшее действие цианамида, чем других удобрений; если же итти дальше в повышении доз (до 120—150 кг), то различие будет еще большим.

Но если не говорить об очень высоких дозах азота и исключить неподходящие почвы, то *можно рассчитывать получить от цианамида 80—100% того эффекта, который даст равное количество азота в селитре*. В Западной Европе, несмотря на то, что действие цианамида уступает селитре и даже аммиаку, цианамид находит сбыт, так как является самым дешевым из азотистых удобрений[1].

Наряду с некоторыми отрицательными свойствами цианамид имеет и положительные, по крайней мере, на подзолистых почвах; так как в почве цианамид дает в конце концов $Ca(NO_3)_2$, то после потребления растениями азота остается избыток кальция; поэтому, в отличие от сульфата аммония, почва не обедняется, а обогащается поглощенным кальцием.

[1] В 1927 г. азотный синдикат в Германии (I. G.) установил следующие цены на 1 кг азота: цианамид—0,80, сульфат аммония—0,87, кальциевая селитра—1,13 марки (цена на чилийскую селитру была в это время 1,40 марки). В Германии на цианамид приходится 15% от продукции синтетической азотной промышленности, в Италии—30%.

На одной из североамериканских опытных станций (Нью-Джерсей) наблюдались за 20 лет следующие изменения в составе поглощенных катионов, в процентах от емкости поглощения (для суглинка):

Показатели	Без удобрения	Суперфосфат и KCl	Селитра	$(NH_4)_2SO_4$	Цианамид
Поглощенный кальций	45,5	46,0	51,1	8,7	59,9
Ненасыщенность	41,5	46,9	39,9	79,4	38,3
pH	5,0	5,0	5,5	3,9	5,6

Благоприятное действие цианамида на почву, по сравнению с сульфатом аммония, ясно видно из цифр двух последних столбцов: применение цианамида избавляет от крупных расходов на известкование, неизбежных на подзолистых почвах при систематическом применении сульфата аммония.

Что касается урожаев, то в этом опыте они для цианамида в период между 15-м и 20-м годами ведения опыта были не только гораздо выше, чем по $(NH_4)_2SO_4$, но даже несколько выше, чем по $NaNO_3$ (урожаи эти приведены выше, см. стр. 226).

Поэтому когда устанавливают коэфициент сравнительного действия цианамида в сопоставлении с сульфатом аммония и селитрой, то нужно помнить, что коэфициент этот через 10—20 лет может оказаться совсем другим, чем в первые два года.

К сказанному относительно действия цианамида на почву и растения необходимо добавить еще об особенностях, проявляемых им при хранении; именно при хранении в сыром помещении цианамид способен притягивать воду и углекислоту из воздуха:

$$CaCN_2 + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + H_2CN_2,$$
$$H_2CN_2 + H_2O = CO(NH_2)_2.$$

Так как при этом увеличивается вес цианамида, то получается убыль процентного содержания азота (мнимые потери азота), а от одновременного увеличения объема могут рваться мешки, в которых хранится цианамид.

Если в сыром помещении хранится небольшие количества и поверхность соприкосновения с воздухом велика, то могут быть не только мнимые, но и действительные потери азота вследствие перехода мочевины при дальнейшем поглощении воды в углекислый аммиак. Тем более связано с потерями азота подмачивание мешков с цианамидом. Но если хранить цианамид в сухом помещении в прочных мешках, то потерь азота бояться не приходится, во избежание же случайности лучше применять весь полученный цианамид в течение одного сезона, не оставляя его до будущего года.

Кроме снижения процентного содержания и потерь азота, при неправильном хранении цианамида происходит еще и обесценение оставшегося азота вследствие образования дициандиамида, который разлагается в почве медленнее. Так, в одном из опытов с разными образцами цианамида, содержавшими неодинаковое количество азота в виде дициандиамида, наблюдались такие различия в накоплении аммиачного и нитратного азота в почве (опыт в вегетационных сосудах с внесением 100 мг азота на 1 кг почвы).

Образцы цианамида	Обнаружено NO_3 в миллиграммах N на 1 кг почвы			Обнаружено NH_3 в миллиграммах N на 1 кг почвы		
	через 7 дней	через 26 дней	через 60 дней	через 7 дней	через 26 дней	через 60 дней
I. Цианамид с содержанием 1,5% от всего азота в виде дициандиамида	27,6	121,8	115,2	93,3	29,2	41,6
II. Цианамид с содержанием 17,5% от всего азота в виде дициандиамида	21,8	98,0	93,5	77,8	36,1	37,3
III. Цианамид с содержанием 74,5% от всего азота в виде дициандиамида[1]	28,8	72,3	63,3	52,0	26,7	22,5
Контроль (почва без удобрения)	19,0	37,0	34,1	15,6	22,0	25,3

[1] Этот образец хранился в течение нескольких лет в открытом сосуде.

Замедленный ход мобилизации азота цианамида при наличии в нем значительного содержания дициандиамида можно видеть и по результатам опытов с растениями, в которых учитывалось действие удобрения в течение двух лет. При внесении в качестве источника азота тех же образцов цианамида были получены такие данные:

Удобрения	Общий урожай первого растения (овес)	Общий урожай второго растения (ячмень)
	В граммах	
РК	5,76	16,90
РК + цианамид с 17,5% всего азота в виде $(H_2CN_2)_2$	19,91	15,22
РК + цианамид с 78,5% всего азота в виде $(H_2CN_2)_2$	13,38	20,30

Как видно, цианамид, наиболее измененный, содержавший большую часть азота в виде дициандиамида, в первый год оказался малоэффективным; однако во второму году опыта, очевидно, мобилизация прошла достаточно полно, и так как в первый год было использовано растениями азота меньше, то последействие оказалось более сильным.

В полевых опытах НИУ цианамид дал хорошие результаты при удобрении хлопчатника в Средней Азии и в Закавказье; также очень хорошие результаты были получены в опытах с овсом на фоне суперфосфата на подзолах и на деградированных черноземах, с картофелем—на подзолах и серых лесных землях, но хуже—при внесении цианамида под лен и особенно под капусту и томаты[1].

Если допустить выведение общего среднего из процентных прибавок для разных растений и на разных почвах (по опытам НИУ), то сравнительная оценка цианамида и других азотистых удобрений (при дозах 45—60 кг N) выразится следующими цифрами прироста (в процентах; за 100% принят урожай по фону РК):

Приросты

$NaNO_3$	39,8	NH_4NO_3	38,0
$Ca(NO_3)_2$	40,2	$(NH_4)_2SO_4$	38,3
$CaCN_2$	30,5	NH_4Cl	37,0

МИРОВАЯ АЗОТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ПУТИ ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ АЗОТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СССР

Синтетическая азотная промышленность, зародившаяся в начале XX века, шла вперед в усовершенствовании техники связывания азота чрезвычайно быстрыми шагами, поэтому заводы синтетической селитры, составлявшие в свое время гордость Норвегии, затем должны были погасить пламя вольтовой дуги в печах Биркеланда и заменить эти печи колоннами для синтеза аммиака по принципу Габера. Цианамидный способ, возникший еще до войны, представлял значительный прогресс (по сравнению с норвежской селитрой), так как при нем было достигнуто снижение затраты энергии сначала в 4, а затем в 6 раз, по сравнению с норвежской селитрой; дальше цианамидный способ встретил могущественного конкурента—способ Габера, при котором вначале затрачивалось тоже в 5—6 раз меньше энергии, чем при норвежском способе, но после усовершенствований, введенных французскими и итальянскими исследователями, теперь уже говорит о расходе энергии на 1 кг связанного азота всего лишь в 4 квтч (и даже ниже), т. е. раз в 15 меньше, чем при норвежском способе. Поэтому синтетический аммиак является победителем в этой борьбе всюду, где имеется достаточно угля; цианамид удерживается только в условиях, особенно для него благоприятных, в селитру, столь ценную для сельского хозяйства, выгоднее теперь получать окислением аммиака, чем прямым окислением азота кислородом (поскольку чилийская селитра не является везде доступной).

[1] Однако ввиду рассылки цианамида для опытов мелкими партиями могли быть случаи потери азота в случае отсыревания в подмачивании в пути; поэтому желательно продолжение опытов при отправке больших количеств или при принятии особых мер предосторожности против отсыревания в пути в случае отправки малых количеств.

Эта борьба направлений в азотной промышленности отразилась следующим образом на мировой продукции по отдельным отраслям (в тысячах тонн азота):

Азотистые удобрения

Виды удобрений	1907 г.	1913 г.	1925 г.	1929 г.	1933 г.	1935 г.	1937 г.
Норвежская селитра	0,2	15,0	33,9	16,8	—	—	—
Цианамид	0,3	38,2	167,4	254,1	172,0	232,0	285,0
Синтетический NH_3	—	7,0	422,5	1121,8	1127,0	1293,0	1656,0
NH_3 коксовых печей	187,1	284,1	360,2	440,0	267,0	321,0	407,0
Чилийская селитра	286,1	429,7	391,2	513,0	71,0	179,0	206,0
Все виды азотистых удобрений	481,0	784,0	1397,0	2362,4	1665,0	2070,0	2594,0

В то время как в 1907 г. Чили доставляло 61% всего азота, к 1937 г. относительное значение чилийского экспорта упало до 8% (несмотря на сравнительно малое изменение абсолютной величины), и цены на азот на мировом рынке диктуются теперь уже не чилийским правительством, как было до войны 1914—1918 гг., а синтетической азотной промышленностью (рис. 20).

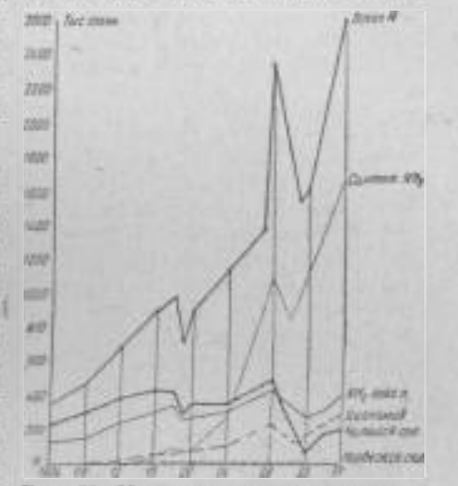


Рис. 20. Мировое производство азота.

При создании азотной промышленности у нас естественным образом для районов, богатых углем, в основу кладется способ Габера, как требующий меньше энергии, чем все другие способы (объединяя под этим именем и все последующие варианты, предложенные Клодом, Казале, Фаузером и американской Nitrogen Companie); однако этот мотив остается верным, пока водород для синтеза аммиака получается из водяного газа (с помощью угля) или из отходящих газов коксовых печей; там же, где водород приходится добывать путем электролиза воды, общий расход энергии возрастает раза в четыре, и тогда производство синтетического аммиака требует больших затрат энергии, чем производство цианамида.

В целях сравнения приведем данные о количестве энергии, расходуемой на связывание 1 кг азота при разных методах (в пересчете на киловаттчасы):

Норвежский способ (дуговой процесс) около	55—60
Синтез аммиака по Казале (при электролитическом водороде)	17—18
Цианамид	10—11
Синтез аммиака по Габеру, Клоду и др.	3—4

Норвежский способ в первой форме отпал (путь к норвежской селитре идет теперь через окисление аммиака), все остальные три способа применяются в производстве, и, как мы видим, цианамид по расходу энергии занимает промежуточное место между типом Казале и типом Габера. Выбор между этими тремя способами зависит от того, чем располагает промышленность—углем или водной энергией. При наличии дешевого угля все преимущества на стороне Габера,

при отсутствии угля и при дешевой водной энергии приходится итти по пути Казале и прибегать к электролизу.

Но если при дешевом токе уголь не совсем отсутствует, то можно связать в полтора раза больше азота (или сэкономить энергию, нужную для других целей), заменив способ Казале цианамидным; для этого нужно иметь возможность расходовать на связывание 1 кг азота 1,7 кг кокса и 10 квтч электрической энергии[1].

При цианамиде еще отпадает надобность в кислоте для связывания аммиака (а по германским данным, целая треть себестоимости сульфата аммония слагается из расходов на производство серной кислоты, ненужной для целей удобрения)[2].

Так как значительная часть синтетического аммиака поступает в переработку на азотную кислоту, то соотношение между основными путями синтеза еще ничего не говорит о соотношении между формами азотистых удобрений.

По данным за 1937—38 г., в общем мировом производстве азотистых удобрений соотношение это было таким[3]:

Сульфат аммония (из синтетического NH_3 и из аммиака коксовых печей)	40%
Цианамид	10%
Кальциевая селитра	7%
Чилийская (природная) селитра	8%
Прочие формы азотистых удобрений (синтетический нитрат натрия, нитрат аммония, мочевина и др.)	35%

Существующий ассортимент азотистых удобрений в СССР представлен главным образом такими формами, как аммиачная селитра, сульфат-нитрат аммония и сульфат аммония. Количество других азотистых удобрений (как, например, синтетический нитрат натрия и др.) пока относительно очень невелико, но расширение ассортимента в этом направлении весьма желательно. Так $NaNO_3$ является одной из лучших форм для рядкового удобрения свеклы; большой интерес представляет в условиях СССР производство мочевины как наиболее концентрированного высокопроцентного азотистого удобрения.

В ассортименте азотистых удобрений, намечаемом к производству химической промышленностью СССР к концу третьего пятилетия, наибольший удельный вес занимает аммиачная селитра; сравнительно высокий процент азота в этом удобрении, пониженная, по сравнению с сульфатом аммония, физиологическая кислотность, несомненно, говорят в пользу аммиачной селитры. Но в связи с этим особенно следует подчеркнуть актуальность разработки соответствующих способов улучшения физических свойств этого удобрения.

Относительная доля сульфата аммония в ассортименте азотистых удобрений намечается у нас значительно ниже, чем это имеет место в настоящее время в мировом производстве. Кроме того, будет производиться в значительном количестве сульфат-нитрат аммония (лейна -и монтан-селитра). Нитрат натрия, нитрат кальция и аммофос[4] будут занимать сравнительно небольшой удельный вес в общем производстве азотистых удобрений. Агрономам полезно иметь хотя бы приблизительное представление о том, какие формы удобрений будут доминировать в ближайшее время и какие займут сравнительно небольшое место в общем их ассортименте.

---

[1] По некоторым авторам, эквивалент затраты энергии даже в сумме равен 10 квтч.

[2] Кроме того, производство цианамида не требует той дорогой аппаратуры, недостатки которой являлся главным препятствием к развитию азотной промышленности, если итти только по пути синтеза аммиака.

[3] См. А. М. Дубовицкий и Л. И. Королев, «Журнал химической промышленности», № 7, 1939 г., стр. 13.

[4] Об аммофосе см. в главе «Сложные удобрения».

БОГАТЫЕ АЗОТОМ ОТБРОСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Сюда относятся побочные продукты и отбросы, содержащие азот преимущественно в форме белковой, причем белки эти могут быть или легко разлагающимися, как белки крови, или же, наоборот, очень медленно разлагающимися, как белковые вещества шерстяных отбросов; вследствие большой разнородности этой группы необходимо отдельное рассмотрение главных типов указанных отбросов.

Кровяная мука вырабатывается при утилизации крови, получающейся в больших количествах на бойнях в больших городах (так, в 1913 г. на московских бойнях получалось около 7,5 тыс. т крови, в Париже—10 тыс. т).

При сушке крови в тех местах, где имеются альбуминные заводы, альбумин выделяется из кровяной сыворотки как таковой, сгусток[1] же идет на приготовление кровяной муки. Если же получение альбумина не имеется в виду, то кровь целиком нагревается водяным паром, причем белки, свертываясь, оседают; жидкости (бедной азотом) дают стечь, остающаяся масса сушится, перемалывается и идет в продажу под названием кровяной муки. Смотря по чистоте продукта, в кровяной муке получается около 12% азота и около 0,5—1% фосфорной кислоты. Выход сухой крови обычно близок к $^1/_4$—$^1/_3$ от веса сырой.

При небольших количествах крови ее можно сушить на воздухе, прибавляя по весу 2—3% CaO с целью создать щелочную среду и тем предохранить массу от гниения; вместо извести можно применить золу (но в большей дозе), причем то же количество золы может быть после высушивания еще раз смочено кровью и высушено, чтобы повысить содержание азота в смеси. Можно также смешивать кровь с сухой землей (1 : 6 или 1 : 8) и сушить под навесом или в печи (в последнем случае можно взять меньше земли), конечно, при такой температуре, чтобы не было пригорания.

Иногда для целей удобрения употребляется не только кровь, но и мясо, например, полученное от животных больных или по другим причинам негодное в пищу; обыкновенно такое мясо после кипячения (обезвреживания) сушится и размалывается. В некоторых местностях (Южная Америка, Австралия), где скот дешев, в больших размерах было возможно приготовление мясной муки, частью непосредственно, частью в качестве побочного продукта при приготовлении либиховского (сухого) бульона. Мясная мука, вновь в Европу, нормально используется как концентрированный корм, но в случае порчи идет на удобрение (иногда смесь таких мясных отбросов, костей, сухожилий обозначается именем гуано особой марки).

Вещества, образующие *рога, копыта*, также употребляются как азотистые удобрения. Этой цели служат обычно остатки от производства различных изделий из рога. Чистый рог богат азотом—он содержит до 17—18% азота, но роговые отбросы сильно загрязняются землею, пылью, костями, вследствие чего содержание азота понижается до 12%. Рог трудно поддается изменению и разложению, поэтому для целей удобрения его иногда обрабатывают паром под давлением, причем получается стекловидная, легко размалывающаяся масса со значительной разлагаемостью; или же рог подогревают (поджаривают), причем он вспучивается, рыхлится и в таком состоянии легко размалывается. Если нагревать рог не выше той температуры, при которой идут указанные процессы, но не наступает еще обугливания, то потеря азота бывает незначительна, даже бывает заметно некоторое повышение процента содержания азота вследствие разрушения части органического вещества. Роговые отбросы можно, однако, с успехом употреблять непосредственно, если они получаются в измельченном состоянии, например, в виде роговой стружки, остающейся при изготовлении из рога гребней, пуговиц и др.

Обрезки кожи, будучи измельчены, под именем *кожаной муки* также применяются на удобрение; но эти материалы трудно разлагаются, в особенности дубленая кожа; кроме того, в них содержится не так много азота (7—8%).

---

[1] Свернувшаяся часть, содержащая другой белок крови—фибрин—и кровяные шарики.

Точно так же медленно разлагаются шерстяные отбросы в необработанном состоянии. При нагревании со щелочами или при действии пара при 5 или 6 атм. давления из этих материалов получается масса, достаточно растворимая и гораздо легче разлагающаяся в почве.

Так как кровь, мясо, рога, кожа содержат азот в виде тех или иных модификаций белка, то содержание азота в них не может быть больше, чем в белке (обычно 16%, реже 17—18%), а может быть только ниже, смотря по количеству загрязняющих продукт примесей; однако это—белок разной стойкости, гораздо меньшей в случае крови и мяса, чем в случае рога, а особенно шерсти и кожи. Рога, копыта, шерсть, перья благодаря тому, что они трудно перегниваают, в целях удобрения подвергаются иногда также химической переработке.

Получаемые в хозяйстве органические отбросы, как рога, шерсть, копыта и др., чаще всего *компостируют*, причем при переработке роговых и шерстяных отбросов рекомендуется смешение их со щелочными веществами (известь, зола). Иногда применяют способ, подобный тому, какой был предложен у нас Энгельгардтом для разложения костей и который состоит в том, что на каждые 10 частей органического вещества берут 2 части CaO и $1^1/_2$ части поташа; смесь в кадке обливается достаточным количеством воды и перемешивается; образующийся при этом KOH размягчает и отчасти растворяет азотистые вещества. После разложения материалов полученная студенистая масса смешивается с торфом или перегноем для избежания потерь аммиака.

Для утилизации туш павших животных в целях удобрения при одновременной их дезинфекции было предложено поступать таким образом: туши кладутся в деревянные облицованные свинцом ящики и обливаются крепкой серной кислотой в достаточном количестве. Через сутки приблизительно туша растворяется (только рога и копыта противостоят действию серной кислоты), и тогда вводят новую тушу. Кислота может переработать массу, равную $^1/_4$ своего веса; дальнейшее действие ее будет не энергично вследствие разжижения; после обработки туш кислота содержит около 1.5% азота. Отработанную кислоту предлагается употреблять для приготовления суперфосфата. В тех же целях предлагалась обработка туш щелочами, причем действуют на туши (на холоду) известью или подвергают сухой перегонке с $Ca(OH)_2$ и небольшими количествами Na_2CO_3 для получения аммиака (Франция).

Во всех упомянутых материалах органического происхождения азот находится в форме, не непосредственно усвояемой, почему они и должны предварительно подвергаться разложению. Чем скорее идет этот процесс разложения, тем получаемый эффект удобрения выше. При удобрении почвы разными вышеупомянутыми азотистыми материалами получились следующие цифры, характеризующие легкость перехода азота разных органических соединений в усвояемую форму:

Удобрение	I. Количество HNO_3 (на 1 кг почвы)	II. Количество аммиака (в другой почве[1])
	В миллиграммах	
Без удобрения	5	3—5
Через 4 месяца после удобрения кожаной мукой	5	5,6
То же сушеной кровью	75	29,2
» » пудретом (из фекальных масс)	19	15,0
» » поджаренным рогом	84	27,0

С легкостью перехода азота органического вещества в форму NH_3 и HNO_3 стоит в полной параллельности их действие на растения, изученное как путем полевых опытов, так и в искусственной обстановке.

[1] Почва без нитрификаторов.

Вагнер на основании большого числа полевых опытов дает такие величины для использования азота различных удобрений (в смысле поступления его в растение, в процентах от усвоенного азота селитры):

Виды удобрения	По усвоению азота		По же по урожайности	
	Первый год	В среднем за 3 года	Вагнер	Зегинах
Селитра ($NaNO_3$)	100	100	100	100
$(NH_4)_2SO_4$	85	88	90	90
Кровяная мука	67	69	83	67
Клещевинный жмых	62	67	83	—
Зеленое удобрение	62	68	83	69
Роговая мука	63	63	83	—
Шерстяная мука	27	33	83	—
Кожаная мука	13	20	15	—

Таким образом, шерстяная мука по коэфициенту усвояемости азота приближается уже к навозу, для которого Вагнер принимает 25% усвояемости азота в первый год; кожаная мука стоит еще ниже.

Но эти коэфициенты неодинаковы при разных условиях и при разных почвах. Например, кровяная мука может при некоторых условиях—при большом количестве осадков и рыхлой почве—иметь коэфициент использования даже больше 100, по сравнению с селитрой. Такие случаи действительно наблюдались в Японии. В таких условиях селитра быстро выщелачивается, кровяная же мука разлагается постепенно и постепенно освобождает азот в усвояемой форме, который поэтому не накопляется в значительных количествах и почти не выщелачивается, быстро потребляясь растениями.

Жмыхи содержат от 5 до 7% азота и как удобрительное средство подходят несколько к животным отбросам; обычно они идут в корм, но если они попорчены или происходят от семян, содержащих вредные вещества (клещевина), то применяются как удобрение.

В частности, *клещевинный жмых* по своей более дешевой цене (вследствие непригодности для кормления) и способности легко разлагаться представляет более интереса в этом отношении. В одном из опытов были получены следующие приросты от азота жмыхов, по сравнению с другими материалами (прирост от селитры приравнен к 100):

Клещевинный жмых	74—85	Кровяная мука	77,1
Льняной жмых	79,6	Кожаная мука (паренная)	6,3
Хлопковый жмых	75,5	» » (необработанная)	0

В наших вегетационных опытах клещевинный жмых давал очень хорошие результаты. Так, в 1907 г. опыты с овсом дали следующие результаты (урожай сухой массы в граммах на сосуд):

	Без азота	Селитра	Клещевинный жмых	Махорочная пыль
Подвал с фермского пытова	3,3	17,3	14,4	15,4
Суглинок с XII поля	15,7	22,0	23,1	18,5

У нас в Средней Азии часто идет на удобрение *хлопковый жмых*, который является ценнейшим кормом для молочного скота. Это объясняется отчасти недостатком азота, до сих пор имевшим место в хлопковом хозяйстве, а кроме того, в сухом климате, при орошении на почвах, часто богатых солями, могут быть выдвинуты доводы за внесение части азота не в солях, а в органическом веществе; при этом избегается излишнее повышение концентрации почвенного раствора, и внесенный азот менее подвижен в почве, чем азот минеральных удобрений. Однако имеются и другие пути внесения азота в органической форме (люцерновый фон, зеленое удобрение, навоз), а хлопковый жмых в основном должен итти по прямому своему назначению, т. е. на корм скоту.

Пользуясь вышеприведенными коэфициентами использования азота различных удобрительных веществ, для обычных условий все-таки являющихся средними, можно количество этих веществ для удобрения рассчитывать приблизительно, исходя из норм для селитры (и навоза).

К упомянутым выше органическим азотистым удобрениям примыкают еще продукты, носящие название *рыбного гуано* и представляющие отбросы рыбного промысла, обезжиренные, высушенные и превращенные в муку. Кроме азотистых веществ (белков), они содержат и фосфор, так как имеют большую или меньшую примесь костей. Наиболее заметных размеров производство рыбного гуано достигает в Норвегии (Лофоденские острова, фиорды близ Тронд̀ьема и пр.), где ловится много сельдей, и та часть улова, которую не могут посолить, идет на приготовление рыбного гуано.

Завод обычно представляет легкое деревянное трехэтажное здание, стоящее у самого берега фиорда, к которому суда с рыбой подходят вплотную; рыба элеватором подается в верхний этаж, где в запаяных цилиндрах она превращается действием пара и мешалок в однородную массу, вытекающую затем через люк во второй этаж; здесь эта масса завертывается в «салфетки» и отжимается на гидравлическом прессе; вода вместе с жиром стекает в отстойные резервуары первого этажа (жир представляет не менее важный продукт такой переработки, чем гуано). Полученный «жмых» дробится и поступает на сушилку, расположенную в первом этаже, после чего измельченная и просеянная мука насыпается в мешки определенными порциями с помощью автоматически работающих весов.

В других случаях на приготовление рыбного гуано используются отбросы китобойного промысла и различных консервных заводов (например, головы сардинок). Иногда, как местами в Англии, ловят массами мелкую рыбу, не идущую в пищу, сушат и толкут ее в целях применения на удобрение. Но если дело идет о применении в своем хозяйстве, тогда прибрежные жители иногда даже не сушат рыбу, а применяют к ней нечто вроде силосования для приготовления рыбного тука—это делается в Японии. И не только рыба, но и различные морские животные перерабатываются в гуано; так, в той же Японии идут в такую переработку морские звезды и голотурии; местами готовится краббовое гуано (Ньюфаундленд); сюда же относится приготовление «гранатового» гуано[1] из мелких раков на берегах Северного моря,—все это имеет целью вернуть почве тот азот, который из нее вымывается в виде нитратов реками, уносится в море, там потребляется водорослями и затем концентрируется в теле животных, питающихся этими водорослями.

Первичный материал, давший название гуано, имел совершенно другое происхождение и другой состав, содержал не белковые вещества, а продукты азотистого обмена веществ, выделенные из организма птиц.

Именно прежнее *перуанское гуано* представляло собою скопление извержений морских птиц, отчасти подобное тем, какие образуются в наше время, если извержения птиц защищены от действия дождя, например, под крышей. Но гуано образовалось в теплых странах (на берегах и островах Южной Америки), где дожди бывают очень редко и крыша поэтому была не нужна. Морские птицы, на экскрементах которых образовалось гуано, питаются преимущественно рыбой и, отличаясь прожорливостью, откладывают массу экскрементов. Считают приблизительно, что население в 600 000 морских птиц могло за 5 000 лет отложить наблюдавшуюся в Перу толщу гуано.

Пища этих птиц богата азотом и фосфором; еще в большей мере это относится и к их экскрементам, так как после окисления органического вещества перевариваемой части в организме при процессе дыхания на воздух выделяются только CO_2 и H_2O (но не N и P, целиком переходящие в выделения); поэтому экскременты всегда относительно богаче азотом и золой, чем пища, и это возрастание процента азота тем резче, чем пища более переварима. К экскрементам птиц отчасти примешиваются перья, кости и другие посторонние вещества.

Впервые гуано стало употребляться в Европе только в XIX веке, но на местах нахождения применялось туземцами издавна. Первые партии его отличались бо́льшим содержанием азота, чем последующие, так как эксплоатацию начали с более ценных залежей (Перу), а по мере

[1] В гранатовом гуано содержится обычно около 11% N и 5% P_2O_5. Морские звезды, по одним анализам, дают материал с 6% N, по другим—лишь около 2%; голотурии содержат от 2 до 5% N.

истощения перешли к видам гуано, менее богатым азотом. Перуанское гуано очень редко подвергалось действию дождей, другие же виды гуано подвергались значительному действию дождей, причем органическое вещество разлагалось, азот улетучивался в виде NH_3 и вымывался, а фосфорная кислота, связанная с Ca, оставалась на месте, так что гуано, смачиваемое дождями, становится все более и более относительно богатым фосфорнокислой известью (в конце концов таким путем возможен переход от гуано к образованию залежей фосфоритов).

Азот в экскрементах птиц находится главным образом в форме мочевой кислоты, вообще в растворимых соединениях (в отличие от рыбного гуано). Мочевая кислота в гуано более или менее разложилась с образованием аммиака и щавелевой кислоты, поэтому содержание в гуано мочевой кислоты и щавелевой кислоты с аммиаком находится в обратной зависимости. Вообще содержание азота в различных сортах гуано колеблется в значительных пределах—от 4 до 20%. Примерный состав гуано, не подвергавшегося выщелачиванию дождями (старого перуанского), таков:

Азота	15,3%	
$Ca_3(PO_4)_2$	25,0%	(или около 12% P_2O_5)
Органического вещества . .	50—60%	

Современное же гуано из залежей, подвергшихся влиянию дождей, содержит:

Азота	7—8 %	(или еще меньше)
$Ca_3(PO_4)_2$	20—40%	(или 10—20% P_2O_5) и более

Благодаря тому, что гуано содержит азот в форме, легко и постепенно переходящей в аммиак и азотнокислые соли, это удобрение не повышает концентрации раствора и в этом смысле имеет некоторые преимущества перед селитрой (не говоря о содержании P_2O_5).

Отдаленное сходство с гуано имеет *помет домашних птиц*. Еще в древности придавали большое значение голубиному помету и употребляли его на удобрение. Помет этот содержит в сухом веществе до 5—6% азота и до 7—14% фосфорнокислой извести. Экскременты разных домашних птиц неодинаковы по составу: гуси и утки, например, дают продукты наиболее водянистые, содержащие до 75% воды и от 0,5 до 0,75% азота, что уже близко по свойству к навозу, а не к концентрированным удобрениям.

Насколько состав этого рода удобрений зависит от происхождения и хранения (примеси песка, земли, содержания воды), показывают примеры следующих анализов (в процентах):

Состав помета	Голуби			Куры		Утки	Гуси
	1	2	3	1	2		
Вода	22,4	45,7	58,0	61,0	60,9	46,6	77,0
Песок	20,8	28,7	7,0	7,0	6,7	10,7	5,6
N	5,0	1,4	2,0	0,7	0,6	0,7	0,5
P_2O_5	1,8	1,1	1,2	2,0	2,0	1,5	0,4
Органические вещества	49,0	20,1	26,0	29,3	29,8	40,5	16,5

Кроме того, состав помета зависит, конечно, от рода пищи, получаемой птицами.

Если эти материалы получаются в небольшом количестве, то их обыкновенно применивают к компосту. При употреблении в отдельности нужно заботиться о хорошем измельчении материала, для обеспечения возможности равномерного распределения, иначе растения на местах переудобренных могут выгорать. На гектар кладут от 6 до 16 и более центнеров (смотря по составу), имея в виду значительную усвояемость N и P_2O_5 в этих удобрениях.

Для лучшего сохранения азота от потерь хорошо пересыпать помет птиц в птичнике сухим торфяным порошком. Зимой, по мере накопления помета, его лучше замораживать и хранить в таком виде до теплых дней, когда его можно подсушить.

Для сокращения потерь азота при высушивании и при хранении помета полезно также добавлять к нему суперфосфат (в количестве 10—15% от веса

помета). В опытах С. П. Гусева наблюдались такие результаты при смешивании помета с торфом, перегнойной землей и суперфосфатом:

Потери азота в процентах при высушивании на воздухе в течение 7 дней

Контроль (помет без добавок)	11,75
Помет + верховой торф (12,5%)	6,8
Помет + низинный торф (17,5%)	6,3
Помет + огородная почва (25%)	4,1
Помет + суперфосфат (25%)	5,6

Потери азота в процентах при хранении помета в сыром виде в течение 7 месяцев

Контроль (помет без добавок)	54,5
Помет+суперфосфат (12%)	6,2

Таким образом, смешивание помета с торфом в количестве 20—25% от веса сырого помета или с суперфосфатом дает возможность значительно полнее сохранить азот.

Сокращение потерь азота при высушивании и хранении помета может быть достигнуто также путем хлорирования его (насыщения газообразным хлором в количестве 1—1,5% от веса помета). Этот путь может быть, повидимому, с успехом использован при получении больших количеств помета на птицефабриках; хлорированный помет можно подвергать высушиванию в специально для этого устроенных сушилках (С. П. Гусев).

Для внесения в почву часто рекомендуют приготавливать «болтушку» с водой, оставляя ее на некоторое время для брожения. Однако такой способ нецелесообразен, так как при брожении возможны значительные потери азота. *Лучшим способом применения помета следует считать его заделку в сухом измельченном виде под пары.*

Нередко используют помет и для подкормок пропашных культур, овощных и для весенней подкормки озимых. В ряде опытов наблюдалось хорошее действие таких подкормок. Так, в опытах с весенней подкормкой озимой пшеницы, проведенных в 1936 г. в колхозах Винницкой области, были получены такие прибавки (помет вносился в количестве 5—6 ц на 1 га):

Урожай и прибавка в центнерах на гектар	I	II	III	IV
Урожай зерна без подкормки	16,0	16,4	12,0	12,6
Урожай зерна при подкормке птичьим пометом	26,0	28,0	16,0	15,3
Прибавка	10,0	11,6	4,0	2,7

Вносить помет в подкормках под озимые надо в хорошо измельченном состоянии рано весной с тем, чтобы заделать его в почву при весеннем бороновании озими.

При подкормках пропашных культур можно вносить помет и в сухом виде и в растворе, но в последнем случае не следует оставлять раствор на несколько дней для брожения, а готовить его непосредственно перед внесением.

В общем следует отметить, что птичий помет представляет очень ценное, быстро действующее удобрение и при должном внимании к его сохранению и использованию может быть весьма существенным источником питательных веществ. По подсчетам С. П. Гусева, ежегодный сбор помета в СССР может составить около 1,5 млн т. Стахановцы сельского хозяйства в борьбе за высокие урожаи, наряду с другими источниками местных удобрений, сумели правильно оценить удобрительное значение птичьего помета и широко используют его и для подкормок и для основного удобрения. Этот опыт необходимо учесть и повсеместно наладить возможно более полное сохранение и использование птичьего помета на удобрение.

ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТИСТЫХ УДОБРЕНИЙ И ИХ ДЕЙСТВИЕ НА РАЗНЫЕ РАСТЕНИЯ

Ни для одной группы удобрений не наблюдается таких различий в отношении к ним отдельных растений, как для азотистых удобрений. Так, приходится исключить все растения семейства бобовых из числа растений, удобряемых азотистыми удобрениями. Нельзя сказать, чтобы азотистые удобрения на эти растения совершенно не действовали, но действие это, если оно и имеет место, мало по размерам и делает чаще всего употребление их под бобовые невыгодным[1]. Мало того, иногда они могут даже действовать неблагоприятно; например, при культуре зерновых бобовых, когда избыток азота, затягивая развитие растения и усиливая образование вегетативных органов, понижает урожай зерна, или при культуре люцерны удобрение азотом часто усиливает развитие пырея, а не люцерны.

Контраст бобовым представляют все остальные культурные растения; урожай их настолько правильно повышается в зависимости от количества усвояемого азота, что является даже возможность приблизительного подсчета, сколько нужно внести азота, чтобы достигнуть такого-то повышения урожая.

Выше (стр. 213) мы приводили пример такого подсчета для зерновых культур, показывающий, что для получения одного центнера прироста урожая зерна пшеницы надо около 5 кг азота (что соответствует 32 кг натронной селитры или 25 кг сульфата аммония). Однако надо иметь в виду, что подобные коэффициенты относятся к некоторым средним дозам азота (45—60 кг N на 1 га).

При внесении *малых доз* азотистых удобрений, в особенности на почвах бедных, часто наблюдается *повышение эффективности удобрения при увеличении дозы*. Так, например, Вагнер приводит такие результаты опытов с удобрением озимой ржи сульфатом аммония (весной) в разных дозах

Доза удобрения (в центнерах на гектар)	1,6	2,0	2,4
Прирост урожая зерна ржи (в центнерах на гектар)	4,34	6,87	9,33

При расчете среднего прироста на 1 ц удобрения имеем:

Доза удобрения (в центнерах на гектар)	1,6	2,0	2,4
Прирост урожая зерна ржи на 1 ц удобрения	2,71	3,44	3,89

Следовательно, в этих опытах первый центнер удобрения оплачивался хуже, чем последующие. Очевидно, этим можно объяснить и слабое действие азота в наших прежних дореволюционных опытах с селитрой, когда давался 1 ц селитры на гектар и получалась пониженная оплата этого центнера зерном.

Причины неполного эффекта малых доз азота на бедных почвах Вагнер объясняет так:

1) голодающие (в отношении азота) растения имеют ненормальный состав: в них понижено содержание азота; при внесении ограниченного количества азота часть его потратится на исправление ненормального состава, и только другая часть пойдет на повышение урожая, отсюда—неполнота оплаты при малых дозах;

2) у голодающих растений соотношение в развитии органов не отвечает нормальному, а именно: процент корневой массы у них выше обычного (или процент надземных органов ниже); первые дозы азота идут на исправление этого соотношения (усиление развития вегетативных органов—стеблей и листьев), и только последующие дозы скажутся преимущественно на образовании зерна; так, у овса без удобрения на надземные органы приходилось 42% от общего веса всей массы растения и 58% на корни, при первой дозе азота это отношение было 65% и 35%, а при последующей дозе азота—81 и 19%. Словом,

[1] Сказанное, конечно, относится к нормальным условиям, когда бобовые растения снабжаются азотом с помощью клубеньковых бактерий; если почему либо отсутствует заражение или клубеньковые бактерии плохо развиваются, то и бобовые реагируют на внесение азота.

у растения есть как бы свои необходимые общие затраты, и только после их покрытия наступает возможность продуктивного использования следующих доз азота.

Отсюда Вагнер делает такой вывод: на бедных почвах, дающих урожай 10—12 ц зерна, но по физическим свойствам неплохих, нужно давать удобрение дозами не меньше 2,5—3 ц на 1 га (по расчету на селитру); если же удобрений мало, то лучше на меньшей площади дать по этой норме, чем всю площадь удобрять малыми дозами. Наоборот, если почва «направленая» и дает по калийно-фосфатному фону урожай 20—25 ц зерна, то можно внести и меньшую дозу (20—30 кг N) с шансом должного прироста зерна на каждый центнер удобрения.

Первый случай, когда не следует применять малых доз, имел место у нас при дореволюционных опытах, в которых на тощие крестьянские почвы рассевали 1 ц селитры на гектар и не получали достаточно высокого эффекта.

Когда же в 1920 г. НИУ провел массовые опыты с дозами удобрений, обычными для практики на Западе, т. е. 45 кг азота на гектар, то обнаружилось, что у нас удобрения действуют не хуже, чем в других странах. Это обстоятельство имеет существенное практическое значение, так как указывает на то, что при недостатке удобрений распределение их нельзя делать по принципу охвата наибольшей площади, а надо применять их хотя и не на всей площади, но в таких дозах, чтобы получить наивысшую оплату единицы удобрения. Здесь, конечно, мы будем иметь дело с большим разнообразием условий (орошаемое и неорошаемое земледелие, род культуры и т. д.), но все же важно иметь в виду общее положение о том, что *слишком малые дозы часто могут не давать должного эффекта*.

С другой стороны, нужно не упускать из виду, что и увеличение дозы удобрения сверх какого-то уровня *(в зависимости от конкретных условий этот уровень будет разным)*, в свою очередь, может привести к снижению оплаты удобрения приростом урожая. Если мы будем увеличивать дозы сверх того количества азота, которое может быть использовано на данном фоне, то мы будем напрасно увеличивать делитель при неизменном делимом, т. е. снижать коэфициент оплаты, так же как и при слишком малых дозах коэфициент оплаты может не достигать оптимума. Такая зависимость наблюдалась Вагнером при сопоставлении результатов как коллективных опытов, проводившихся Германским обществом сельского хозяйства, так и опытов, проведенных в различных условиях. В среднем наблюдалась такая зависимость между дозами азота и высотой урожая озимой ржи (на фоне KP).

Показатели	Даны сульфаты аммиака в центнерах на 1 га						
	1	2	3	4	5	6	7
Прирост зерна в центнерах с гектара . . .	2,5	7	13	16	19	20	20
Средняя оплата зерном 1 ц удобрения . .	2,5	3,5	4,3	4,0	3,8	3,3	2,9
Оплата последнего центнера	2,5	4,5	6,0	3,0	3,0	1,0	0

Как видим, имеется известная оптимальная доза (для данного уровня культуры), при которой получается наибольшая средняя оплата зерном для каждого центнера удобрения (в зависимости от фона, на котором ставится опыт, положение оптимума, конечно, меняется).

Аналогичные описанным здесь явления можно наблюдать и в опытах с другими культурами. Приведем пример из опытов Каунчинской станции (в Средней Азии) с возрастающими дозами азота под хлопчатник (30—60—90 кг N и т. д. до 300 кг азота на 1 га) в условиях орошения. Оптимум оплаты единицы удобрения приростом урожая устанавливается здесь при более высоких дозах. Интересно и различие, происшедшее в зависимости от того, вносятся ли $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4NO_3. Рассмотрим оба эти опыта.

Вот данные опыта с NH_4NO_3 с суммарным учетом действия в первый год и последействия на второй год после внесения удобрений:

Дано азота (в килограммах)	30	90	120	180	300
Прирост урожая хлопка-сырца (в центнерах с гектара) .	3,5	10,3	19,8	22,9	24,5
На 1 кг азота получено сырца (в килограммах)	11,6	11,4	16,5	12,7	8,2

Здесь в известном интервале прибавка урожая сырца на каждый килограмм внесенного азота при увеличении дозы сначала возрастает: оплата азота урожаем прогрессивно растет с увеличением дозы азота от 30 до 120 кг. При дальнейшем увеличении дозы прибавка растет медленнее, но до депрессии урожая от избытка удобрения здесь дело не доходит.

В опыте с $(NH_4)_2SO_4$ сначала мы имеем такую же зависимость, но наивысший прирост равняется здесь только 17,9 ц (против 24,5 ц в случае NH_4NO_3), и в правой части кривой наблюдается депрессия от большой дозы удобрения:

Дано азота (в килограммах на гектар)	30	90	120	180	240	300
Прирост урожая сырца (в центнерах с гектара) .	2,3	6,7	12,9	15,5	17,9	15,0

Если построить кривые возрастания урожаев в зависимости от дозы удобрения и присоединить к этому еще кривые изменения оплаты каждой вновь прибавленной единицы удобрения (в данном случае—каждых 30 кг азота), а также средней оплаты при возрастающем числе этих единиц, то получим для опыта с NH_4NO_3 следующее графическое изображение (рис. 21).

Кривая роста урожаев в начальной части имеет изгиб не влево, а вправо[1] от прямой восходящей линии. Кривая оплаты каждой новой единицы удобрения (30 кг N) приростом урожая имеет ясно выраженный оптимум при 120 кг, в обе стороны от этого оптимума оплата снижается; при повышенных дозах эти кривая

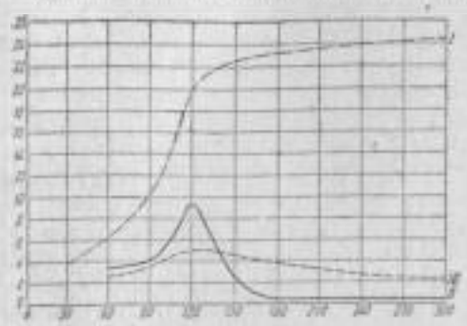


Рис. 21. Влияние возрастающих доз NH_4NO_3 на урожай хлопка-сырца.

I—прибавка урожая сырца при возрастающих дозах азота; *II*—оплата урожаем каждой новой вводимой единицы удобрения; *III*—средняя оплата урожаем единицы удобрения.

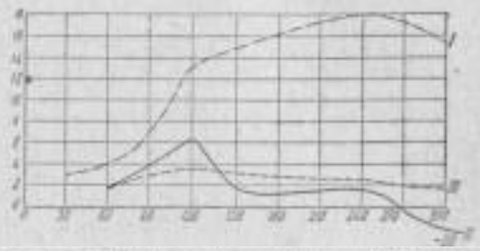


Рис. 22. Влияние возрастающих доз $(NH_4)_2SO_4$ на урожай хлопка-сырца.

I—прибавка урожая сырца при возрастающих дозах азота; *II*—оплата урожаем каждой новой вводимой единицы удобрения; *III*—средняя оплата урожаем единицы удобрения.

приближается к оси абсцисс, но все же с ней не пересекается. Средняя оплата единицы удобрения является наибольшей также при 120 кг, но, по понятным причинам, снижение по обе стороны оптимума идет более постепенно.

На рис. 22 изображены результаты опыта с $(NH_4)_2SO_4$. Здесь наблюдаются следующие особенности. В левой части кривая роста урожаев опять обнаруживает прогрессивное возрастание при увеличении дозы, при повышении же дозы от 240 до 300 кг мы видим ясную депрессию от избытка удобрения. Кривая оплаты каждой новой единицы удобрения имеет оптимум при 120 кг, но, в отличие от опыта с NH_4NO_3, при более высоких дозах мы имеем пересечение с осью абсцисс и переход в отрицательным величинам.

В этих опытах наблюдается тот же общий ход изменений, как и в опытах Вагнера с зерновыми хлебами. Но в то время как там, при отсутствии орошения, оптимум приходится на дозу в 60 кг азота, в опыте с орошаемым хлопчатником оптимум оказался лежащим при вдвое более высокой дозе.

Таким образом, *величина оптимальной дозы удобрения является относительной*. Помимо таких факторов, как орошение, путем изменения техники внесения удобрения и вообще уровня агротехники, выбора соответствующих форм удобрения и т. д. можно оптимум сдвинуть в сторону более высоких доз.

Примеры получения рекордно высоких урожаев стахановцами социалистического земледелия могут служить иллюстрацией этой зависимости, когда *при повышении общего уровня агротехники оказалось возможным с успехом применять гораздо более высокие дозы удобрения*, чем обычно применяемые в массовом масштабе. Так, для хлопчатника при получении урожаев порядка 100 ц сырца на гектар стахановцы вносили до 300—400 кг и выше азота в удобрениях.

Однако и *в этих случаях не следует увлекаться чрезмерно высокими дозами*, ибо известный оптимум существует и здесь, хотя он устанавливается на повышенном уровне. Вместе с тем надо заметить, что стахановцы, наряду с заботой об улучшении всего комплекса агротехнических мероприятий, как правило, создают высокий уровень питания внесением не одних только минеральных удобрений, но *сочетанием минеральных удобрений с органическими*. В этих

[1] В отличие от кривой Митчерлиха.

условиях удается даже от сравнительно невысоких доз минеральных удобрений, соответственно сказанному выше, получать весьма хорошие результаты. Во всяком случае, основная установка на достижение максимальной оплаты каждой единицы вносимых минеральных удобрений должна сохраниться и предостерегать нас как от применения слишком малых доз (для охвата больших площадей), так и от увлечения чрезмерно высокими, избыточными дозами удобрений.

Одним из способов повышения эффективности высоких доз удобрения может быть внесение его не сразу перед посевом, а в несколько приемов. Дело в том, что отрицательная сторона действия повышенных доз азота (это относится отчасти и к другим удобрениям) часто проявляется более сильно в первые фазы роста растения. Так, избыточное снабжение азотом в момент прорастания может несколько задержать первоначальный рост растений. Приведем здесь результаты одного из опытов, где наблюдалось такое явление при внесении очень высоких доз азота[1] (опыт Авдонина).

Доза N в граммах на 1 кг почвы [в виде $(NH_4)_2SO_4$]	Овсяная дуванка		Овес	
	Всхожесть (в процентах от контроля)	Вес растений (в граммах) через 33 дня	Всхожесть (в процентах от контроля)	Вес растений (в граммах) через 13 дней
Без удобрения	100	15,1	100	8,5
0,1 г	107	16,3	100	9,2
0,5 г	95	14,8	99	6,4
1,0 г	95	9,6	97	4,6

Таким образом, в первое время роста большой избыток азота может действовать неблагоприятно, и лучший результат получается при умеренном снабжении азотом. Но если для дальнейшего роста будет нехватать азота, то потом картина меняется, что можно видеть из такого примера (вегетационный опыт с овсом):

Вес общей массы растений в граммах

Удобрение	8/VI—через 10 дней после всходов	17/VI—кущение	8/VII—выбрасывание метелки	22/VII—молочная спелость
$^1/_2$ нормы N	3,80	7,81	18,35	19,35
3 нормы N	1,27	3,79	32,30	55,20

Такие же явления констатированы в опытах и с другими культурами. Приведем данные одного из вегетационных опытов с каучуконосным растением—кок-сагыз, полученные в нашей лаборатории А. Ф. Калинкевичем:

Доза азота (в миллиграммах на 1 кг песка)		Сырой вес 100 растений в граммах (кок-сагыз)			
До посева	Дополнительно внесено 9/VI	8/VI—начало образования розетки	24/VI—бутонизация	1/VIII—созревание семян	4/X—цветение
28	—	32,0	196,8	249,9	400,3
168	—	20,8	242,8	616,0	2 554,9
28	140	22,0	469,0	739,0	2 760,5

Как видно, в первое время (до начала образования розетки) повышенная доза азота несколько задержала рост растений, но в дальнейшем растения по

[1] Если перевести эти дозы на вес пахотного слоя почвы, то 0,5 г N на килограмм почвы отвечает примерно 1 000 кг N на гектар, но при отсутствии полного перемешивания удобрения со всем пахотным слоем такая местная концентрация легко может создаваться в полевых условиях и при значительно меньших дозах на 1 га.

повышенной дозе азота развились сильнее. Наиболее же удачным оказался вариант, где вначале была дана малая доза, а затем азот был внесен дополнительно (третий вариант). Здесь, очевидно, было избегнуто неблагоприятное влияние избытка азота в первое время роста и обеспечено достаточное азотистое питание во время формирования листвы. Такой характер снабжения растений азотом оказался наиболее благоприятным и для урожая семян кок-сагыза:

Доза азота (в миллиграммах на 1 кг песка)	До посева	28	168	28
	Дополнительно 9/VI	—	—	140
Урожай сухих семян от 100 растений (в граммах)		6,25	17,5	24,0

Таким образом, для создания оптимальных условий питания растений азотом во все время вегетации при внесении высоких доз приходится заботиться о том, чтобы вначале избежать слишком большого избытка азота и обеспечить интенсивное азотистое питание растений в дальнейшем. Регулирование подобным образом питания растений во времени может быть достигнуто правильным сочетанием предпосевного внесения удобрений и подкормок во время вегетации.

Повидимому, наиболее ответственным периодом, когда растения для мощного развития требуют повышенного снабжения азотистой пищей, является то время, когда идет сильный рост вегетативных органов, в частности, формирование главной массы ассимилирующей поверхности—листьев. Если в это время растениям нехватает азота, то образуется малая листовая поверхность, что отражается на возможных размерах ассимиляции углекислоты, а следовательно, и на накоплении органических веществ, идущих на построение репродуктивных органов (семян, корней, клубней) и на отложение в них запасных веществ (крахмал, сахар и др.).

Но по мере того, как растение приближается к созреванию, все более важное значение приобретают процессы передвижения накопляемых в листьях продуктов ассимиляции в репродуктивные органы. Этого рода процессы усиливаются, когда листья начинают «стареть» и постепенно прекращают свой дальнейший рост. Избыточное снабжение азотом в это время может приводить к нежелательным результатам, ибо повышенное азотистое питание в некоторой степени как бы стимулирует рост вегетативных органов и может тем самым задерживать процесс созревания растений. С этим фактором приходится особенно считаться в тех случаях, когда применяются большие дозы азота. В настоящее время мы располагаем большим числом фактов, указывающих на то, что для лучшего обеспечения процесса передвижения продуктов ассимиляции из листьев в репродуктивные органы (семена, корни, клубни) следует по возможности избегать слишком высокого снабжения азотом в эти сроки. В особенности это следует иметь в виду при культуре таких растений, целью возделывания которых является наличие безазотистых веществ: сахара в корнях сахарной свеклы, жира в семенах масличных растений, каучука в каучуконосах и т. п. (см. ниже на стр. 258 пример из опытов с сахарной свеклой).

После этих общих замечаний перейдем к рассмотрению некоторых особенностей действия азотистых удобрений на отдельные группы с.-х. культурных растений.

Зерновые хлеба. Кроме сказанного выше о зерновых культурах, надо иметь в виду, что удобрение азотом может влиять на соотношение в развитии органов хлебных злаков. Так как азотистые удобрения вообще вызывают более обильное развитие вегетативных органов, то у хлебов повышается энергия кущения и образования стеблей, и если в период налива зерна нехватает, например, фосфора (или даже просто влаги, которую пышно развитая масса обильно испаряет), то возможно, что при обильном удобрении азотом урожай зерна повысится не в той мере, как урожай соломы. Поэтому понизится «умолотность», т. е. процент зерна в общей массе урожая уменьшится, хотя абсолютно зерна получится больше, чем без удобрения. Обычно эти разницы не велики, но в тех

местностях, где дорожат скороспелостью хлебов, излишнее питание азотом, удлиняя вегетационный период, может повысить риск от «захвата» (действие суховея, останавливающего налив зерна, несмотря на влажность почвы) или от ранних осенних заморозков (Сибирь)[1].

Далее, в случае поражения хлебов грибными заболеваниями (например, ржавчиной) растения, обильно питавшиеся азотом, легче поражаются грибками, чем при умеренном доставлении азотистой пищи.

Отсюда можно заключить, что если от применения средних доз азотистых удобрений можно смело ожидать хороших прибавок урожая зерновых культур, то при переходе к нормам более высоким приходится особенно обращать внимание на создание соответствующих условий, которые обеспечили бы получение должного эффекта (снабжение достаточным количеством влаги и другими питательными веществами, техника внесения удобрений и т. д.).

Удобрение азотом зерновых культур влияет не только на урожай, но и на качество зерна: повышается содержание белков, и число стекловидных зерен увеличивается за счет зерен крахмалистых. Размер этого влияния может быть различным; оно сильнее, конечно, в условиях нечерноземной полосы, где почвы бедны азотом, чем, например, в Заволжье[2], где и без удобрения богатый азотом чернозем и сухость климата дают наиболее богатую белками (клейковиной) пшеницу, но для нечерноземных почв возможны, например, такие различия:

Процент белка в зерне

	I	II
Без селитры	14,4	16,3
С селитрой	19,9	22,6

Таким образом, азотистое удобрение влияет на состав зерна настолько, что по «белковости» оно приближается к мясу (если сравнение вести не на сухое вещество, а на равные весовые единицы)[3].

Для целей пищевых и кормовых ценится высокая белковость зерна, но для некоторых технических целей большого процента белков избегают, стремясь получить больше крахмала. Это относится к пивоваренному ячменю, при культуре которого приходится избегать внесения значительных количеств селитры и других азотистых удобрений.

Внесение минеральных азотистых удобрений под зерновые культуры в течение ближайшего периода времени будет иметь у нас довольно ограниченное применение вследствие того, что в первую очередь минеральными удобрениями должны быть обеспечены технические (хлопчатник, сахарная свекла и др.), а также овощные культуры. Поэтому для зерновых преимущественное значение будут иметь другие источники снабжения азотом, а именно азот биологический (клевер и другие бобовые), азот навоза, торфа, а также накопление усвояемых форм азота в чистых парах.

Однако это не означает, что теперь зерновые совсем не получают минеральных азотистых удобрений. Так, в семеноводческих хозяйствах в целях создания лучших условий развития растений и ускорения репродукции ценных сортов вполне обоснованным является применение минеральных удобрений. По мере расширения орошаемых площадей под зерновыми культурами также

[1] Мы отмечаем эти явления независимо от того, создается ли усиленное азотистое питание растений внесением минеральных азотистых удобрений или под влиянием удобрения навозом и т. п.

[2] Однако и в Заволжье при введении орошения, когда резкое повышение урожая создает спрос на усиленное питание азотом, наблюдается не только повышение урожая, но и увеличение содержания белка от внесения азотистых удобрений, поэтому при развитии орошения на больших площадях нам необходимо будет применять азотистые удобрения не только для того, чтобы высоким урожаем лучше оплатить затраты по орошению, но и для того, чтобы сохранить высокое качество наших заволжских пшениц.

[3] А именно: 100 частей пшеницы, богатой белком, содержат 20 частей белка, 60 частей крахмала, 12 частей воды, немного клетчатки, жиров и золы; 100 частей мяса—20 частей белка, 70 частей воды, некоторое количество жира и зольных веществ.

необходимо обеспечение их азотистыми удобрениями как для лучшего использования затрат на ирригацию, так и для повышения качества зерна.

При внесении азотистых удобрений под зерновые культуры в условиях орошения целесообразно, соответственно сказанному выше, сочетание приемов основного удобрения с подкормками во время вегетации. При орошении есть все основания рассчитывать на высокую эффективность подкормок зерновых культур азотистыми удобрениями, ибо достаточное снабжение влагой обеспечивает возможность усвоения растворимых удобрений, вносимых даже без заделки, поверхностно.

При удобрении зерновых культур в районах достаточного увлажнения азотистые удобрения следует использовать в первую очередь *для ранней весенней подкормки озимых*. При посеве озимых по чистым парам (в особенности по унавоженному пару) для осеннего роста обеспечение азотом чаще всего бывает достаточным. Ранней же весной, когда биологические процессы в почве идут слабо, а следовательно, понижены и темпы мобилизации азота почвы—аммонификация и нитрификация, для растений, оправляющихся после перезимовки, крайне полезны подкормки умеренными дозами азотистых удобрений. Вместе с тем надо иметь в виду, что при внесении азотистых удобрений до посева озимых, особенно на легких почвах, в условиях влажного климата, не исключена возможность потерь азота путем вымывания. Наконец, в пользу весеннего удобрения азотом озимых говорит и то обстоятельство, что *повышенное азотистое питание осенью часто сказывается не вполне благоприятно на перезимовке растений*, понижая их сопротивляемость к вымерзанию, выпреванию и т. п.

Помогая растениям быстро оправиться и пойти в рост, весенняя подкормка озимых азотом, даже в небольших дозах, часто дает исключительно высокие прибавки, что можно видеть, например, из таких данных (опыты на тонко песчаной, средне подзолистой почве Солинамской опытной станции) (в центнерах на гектар):

Урожаи и прибавки	I	II	III	IV
Урожай зерна без подкормки	9,0	12,3	14,3	15,4
Урожай зерна при весенней подкормке $NaNO_3$ в дозе 30 кг N на гектар	21,6	22,8	26,1	24,4
Прибавка от весенней подкормки	12,6	10,5	11,8	9,0

Если сравнить эти прибавки с коэфициентами Вагнера для селитры, то мы видим здесь случаи гораздо более высокой оплаты удобрения приростом урожая (5—6 ц зерна на 1 ц селитры против 3 ц по Вагнеру). Очевидно, это объясняется тем, что хорошо развившиеся весной растения в дальнейшем могли лучше использовать и те питательные вещества, которые имелись в почве.

Для весенних подкормок озимых лучшими формами азотистых удобрений следует считать нитратные, так как нитраты не поглощаются почвой и при поверхностном внесении легко проникают в почву с осадками.

Что касается сравнительного действия разных форм азотистых удобрений под зерновые культуры, то *на почвах достаточно буферных и в опытах с однократным внесением удобрений* больших различий обычно не наблюдается. Вот средние данные из большого числа опытов географической сети НИУИФ за 1927—1937 гг. по сравнению действия форм азотистых удобрений (озимая пшеница на деградированных черноземах):

	Без N	$NaNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl	$CO(NH_2)_2$	$CaCN_2$
Урожай зерна озимой пшеницы (в центнерах с гектара.)	16,7	21,8	21,0	20,4	20,5	19,6	20,3	19,8

Если же удобрения применяются систематически в течение ряда лет на почвах кислых и малобуферных без сопутствующего известкования, то преимущество нитратных форм (а также цианамида) выступает довольно отчетливо.

Сахарная свекла и другие корнеплоды. Из технических культур сахарная свекловица явилась у нас первым проводником применения селитры (вместе с суперфосфатом) еще в конце прошлого столетия. Корнеплоды вообще требуют больше питательных веществ, чем хлеба, но культура кормовых корнеплодов не была так развита и не имела тех экономических преимуществ, благодаря которым сахарная свекла могла уже оплатить применение хотя бы невысоких доз селитры даже при прежней экономике.

Единица азота, усвоенного свеклой, означает большую продукцию, чем в случае хлебов, не только потому, что в корне свеклы каждая единица сухого вещества сопровождается тремя единицами воды (считая 25% сухих веществ в корне), но и потому, что корень свеклы отлагает большое количество углеводов и даже в сухом веществе содержание азота ниже, чем в случае хлебных зерен (а значит повышение продукции сухой массы на каждую единицу усвоенного азота у свеклы больше).

По опытам Вагнера каждый центнер селитры дает 60 ц корней свеклы или 14 ц сухого вещества (против 4 ц в случае хлебов). Однако скорее этот коэфициент Вагнера нужно считать высшим пределом, а не средней оплатой центнера селитры. В Германии при коллективных опытах в 36 хозяйствах было получено отношение значительно меньшее, именно 1 : 25, в Бельгии 1 : 35, и лишь в отдельных случаях оно достигало 1 : 50. Но даже если взять размер оплаты по 1 : 25, то все же это будет выше, чем в случае хлебов, даже по расчету на сухое вещество. Такая оплата получалась при дозах около 60 кг N на 1 га, но чаще всего применение азотистых удобрений под свеклу на Западе превышает эту норму (доходит в Бельгии до 8 ц селитры на 1 га, что отвечает 120 кг N).

Совсем другой масштаб применения селитры взят был у нас при первоначальном введении ее в свекловичные хозяйства в дореволюционное время; при дороговизне селитры применение пониженных доз ее было возможно еще и потому, что у нас (в отличие от Западной Европы) свекловица возделывается на черноземных почвах, богатых органическим веществом, за счет его нитраты (т. е. та же селитра, только не натриевая, а кальциевая) могут накопляться в почве в гораздо большем количестве, чем в тех условиях, в каких культивируется свекла на Западе.

Но благодаря быстрому переходу от зимы к весне в нашем континентальном климате и необходимости сеять раньше, чем почва прогреется во всю толщу и нитрификация пойдет полным ходом, молодые растения нуждаются в растворимой азотистой пище; поэтому если дать в рядки[1] совсем небольшое количество селитры (например, 0,5 ц на 1 га), то это ускоряет развитие корневой системы, помогает свекле лучше «уходить» от земляной блохи, бороться с корнеедом и другими «детскими болезнями», тогда такие во-время подкормленные селитрой растения лучше обеспечивают себя влагой и пищей также и в то время, когда в почве начинают более и более усиливаться биологические процессы и нитраты образуются уже в достаточном количестве. Что при этом количество вносимого азота не стоит ни в каком отношении с суммарной потребностью в нем свеклы, видно уже из одного сопоставления следующих цифр: урожай свеклы в 300—400 ц уносит 150—200 кг азота, а при внесении 0,5 ц $NaNO_3$ в рядки мы даем каких-либо 8 кг азота, поэтому рядовое удобрение всходов не заменяет основного удобрения свекловичной плантации,—это только временный подкорм молодых ростков.

Этот тип внесения азотистых удобрений был прежде единственным, но по мере того, как севообороты насыщались свеклой и исчезали незанятые паровые

[1] Посев свеклы производится комбинированными сеялками, высевающими одновременно и семена и удобрения.

поля перед свеклой, которые были у нас раньше (помимо пара, перед озимью), стала выявляться потребность еще и в предварительном сплошном удобрении, кроме рядового. Так как основная вспашка почвы под сахарную свеклу производится, как правило, с осени, а весной перед посевом проводится лишь неглубокая культивация (чтобы избежать иссушения почвы весной при глубокой перепашке), то в целях лучшей заделки допосевное удобрение под свеклу надо вносить с осени под зяблевую пахоту. В этих условиях весьма подходящими формами азотистых удобрений являются аммиачные соли, которые поглощаются почвой. Для рядового удобрения (при посеве) наилучшей формой надо считать $NaNO_3$. Однако при недостатке этого удобрения для внесения в рядки применяют также и сульфат аммония[1].

Наряду с основным удобрением и удобрением в рядки при посеве в настоящее время широкое применение получило внесение азотистых (и других) удобрений под сахарную свеклу после посева—во время вегетации (подкормка). Этот прием внесения удобрения был у нас впервые введен в практику в широком масштабе стахановцами-свекловодами.

В западно-европейской практике имеет место поверхностное внесение селитры во время роста свеклы. Однако в наших условиях, благодаря континентальному климату, такое применение удобрений вряд ли целесообразно, так как, вместо обычного в Западной Европе промывания почв осадками, у нас в летнее время в черноземной полосе может иметь место не опускание, а поднятие нитратов из нижних слоев почвы в верхние, и поверхностно внесенные удобрения могут оставаться без действия. Поэтому в наших условиях, кроме более глубокой заделки основного удобрения, и подкормки следует вносить по возможности на большую глубину, для чего применяются специальные машины для внесения удобрений во время вегетации—*растениепитатели*. Преимущество применения растениепитателей для подкормки свеклы, помимо более глубокой заделки (обычно от 10 до 18 см), состоит и в механизации этого процесса.

Подкормка может вноситься как в растворе (см. рис. 63, на котором изображен растениепитатель для жидкой подкормки свеклы), так и в сухом виде. При заделке на достаточную глубину подкормка сухими удобрениями часто дает результаты, мало уступающие действию подкормки, внесенной в растворе.

При выборе времени для внесения подкормок свеклы азотистыми удобрениями надо считаться с особенностями отношения растений к уровню питания в разные сроки вегетации. Как уже было сказано выше, усиление азотистого питания особенно необходимо в период максимального роста листвы. В период же интенсивного сахаронакопления к концу вегетации неумеренное усиление азотистого питания может отразиться на качестве свеклы, снижая процент сахара и увеличивая содержание в корне растворимых (небелковых) азотистых веществ. Последнее нежелательно потому, что растворимые азотистые вещества (аминокислоты, бетаин и другие органические основания) при переработке свеклы мешают кристаллизации сахара и тем самым понижают технический выход сахара—его больше остается в патоке. Все это говорит за то, что более эффективными должны быть сравнительно ранние сроки подкормок сахарной свеклы азотистыми удобрениями; к поздним же срокам подкормки азотом следует относиться с известной осторожностью.

Для иллюстрации сказанного о влиянии на качество свеклы повышенного уровня азотистого питания в период сахаронакопления приведем здесь результаты вегетационных опытов, проведенных в нашей лаборатории И. В. Гулянским.

[1] Если с точки зрения физиологической для рядового удобрения можно было бы предпочесть сульфату аммония аммиачную селитру, то преимуществом сульфата является его лучшая рассеваемость, а равномерность распределения удобрения имеет очень большое значение при высеве его в рядки в непосредственной близости к семенам.

	I		II		III	
Дозы азота в миллиграммах на 1 кг песка: до 1/VIII	336	336	336	336	336	336
Дозы азота в миллиграммах на 1 кг песка: после 1/VIII	336	42	336	42	336	42
Процент сахара в корнях	15,8	18,4	13,2	23,6	18,9	20,4
Процент небелкового азота	0,33	0,17	0,33	0,17	0,30	0,23
Условный выход сахара в граммах на 1 корень[1]	46,8	80,4	27,7	50,0	79,7	89,0

Примечание. Варианты I, II, III различались условиями калийного питания.

Как видно из этого опыта, поддержание более низкого уровня азотистого питания после 1 августа во всех случаях повышало процентное содержание и выход сахара и снижало содержание небелкового азота.

Вообще же следует иметь в виду, что влияние азотистых удобрений на качество сахарной свеклы зависит еще и от условий питания калием и фосфором. При недостатке калия (и фосфора) избыток азота может сильнее снизить процент сахара. Для получения высокого урожая и хорошего качества свеклы важно правильное обеспечение всеми питательными веществами в должное время и в должном соотношении. Прежде, когда селитрой удобряли односторонне, часто замечалось, что получается усиленное развитие листьев, запаздывание созревания и понижение доброкачественности сока[2]; но когда выяснилось, что при правильной дозировке азота и при одновременном внесении фосфора и калия можно поднять урожай, избегая понижения его качества, применение азотистых удобрений под свеклу стало регулярным приемом.

В опытах НИУИФ по сравнению форм азотистых удобрений под свеклу наиболее высокие прибавки чаще всего давала натронная селитра. Отчасти это может быть объяснено, как было сказано выше, положительным действием натрия. Приведем здесь средние данные из многих опытов по сравнению азотистых удобрений при основном внесении, охватывающие десятилетний период (1927—1937 гг.).

	Без N	$NaNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl	$CO(NH_2)_2$	$CaCN_2$
Урожай сахарной свеклы в центнерах на гектар (опыты на черноземных почвах)	184	240	227	224	222	216	223	217

Как видно из этих данных, остальные формы азотистых удобрений (кроме $NaNO_3$) оказались ближними по своему действию.

Еще более, чем сахарная свекла, отзывчивы на внесение азотистых удобрений *кормовые корнеплоды*, как растения, культура которых имеет место и вне черноземной полосы. Это видно, например, из следующих данных Горецкой опытной станции:

[1] При расчете принято условно, что 1 часть небелкового азота мешает кристаллизации 25 частей сахара; обычно при таких расчетах принимают во внимание не весь небелковый азот, но исключают из него азот амидов и аммиака (которые в этом опыте не были учтены). Но надо иметь в виду, что подобные расчеты вообще весьма условны; что же касается основного вывода, то он всех даже хотя бы из сравнения только процента сахара.

[2] Поэтому в прежних договорах можно было прочесть, что заводы воспрещали плантаторам свеклы удобрение селитрой.

Культуры	Урожай (в центнерах с гектара)	Дано азота (на фоне 20 т навоза): 20 кг	40 кг	60 кг	80 кг	100 кг
		Прибавки (в центнерах с гектара)				
Брюква	239	49	67	90	93	102
Турнепс	246	58	89	118	148	171

На этих цифрах мы снова видим, насколько прежние опыты с 15—20 кг азота давали неверное представление о значении минеральных удобрений для нашего земледелия.

По поводу удобрения азотом кормовых корнеплодов следует еще заметить, что в отличие от сахарной свеклы повышение содержания в корнях азотистых веществ кормового достоинства их не снижает, а, наоборот, повышает.

К *картофелю* приложимо многое из того, что было сказано о применении азотистых удобрений под свеклу как в смысле влияния на размер урожая, так и на качество (в этом случае—содержание крахмала); так же, как и там, одновременное (с азотом) внесение фосфатов позволяет достигнуть значительного влияния удобрения на подъем урожая без понижения качества. Коэфициент оплаты одного центнера селитры, по Вагнеру, равняется 35, что составляет 9 ц сухого вещества (против 3—4 в случае хлебов), но опыть-таки это не средний коэфициент, а, скорее, верхний предел, достижимый лишь в наилучших условиях действия удобрения. Но в отличие от свеклы культура картофеля, распространенная и в нечерноземной полосе, имеет большое значение на песчаных почвах, а в этих случаях сразу нужно говорить о снабжении картофеля тем количеством азота, какое нужно для образования нормального урожая; внесение малых доз при посадке (по типу рядкового удобрения) здесь не дает того эффекта, как на черноземе, тем более, что и посевной материал у картофеля имеет гораздо больший запас пищи, чем мелкие семена свекловицы, дающие слабые всходы.

Для получения высоких урожаев картофеля, повидимому, целесообразно и под эту культуру часть азота вносить после посева—в подкормках.

Заметим, что большинство стахановцев, получивших высокие урожаи картофеля, порядка 500—800 и даже свыше 1 000 ц на 1 га, применяли непосредственно под картофель большие дозы навоза (45—50 т на 1 га и выше), часто на почвах, и до этого усиленно удобрившихся, и на богатых азотом пойменных почвах. В этих условиях удавалось в ряде случаев получить высокие урожаи картофеля и без внесения минеральных азотистых удобрений (но при внесении больших доз калия и фосфора). При меньших нормах навоза и на почвах, менее заправленных предыдущим удобрением, применение азотистых удобрений и, в частности, подкормок азотом, очевидно, должно иметь большое значение для получения высоких урожаев.

В прежних опытах, так же как и в случае хлебов, настоящий размер действия удобрений на картофель не выявлялся вследствие слишком малых доз азота; опыты по программе НИУ (1927—1931 гг.) и здесь дали иную картину (в центнерах с 1 га):

Место проведения опыта и почвы	Без удобрения	РК	Азот (в килограммах): 10	15	20	30	45	60	90
			Прибавки от азота на фоне РК						
Ленинградская опытная станция (суглинок)	186	212	—	17	—	23	48	—	71
Симбирская опытная станция (серая лесная почва)	96	97	12	—	22	37	—	62	—
Чувашская опытная станция (серая лесная почва)	130	132	—	20	—	34	49	59	78
Полесская опытная станция (супесь)	84	109	—	4	—	17	63	61	—
Колхоз «Петровский», Полесье (супесь)	107	114	—	—	—	56	60	71	—

Из этих данных видно, что в нечерноземной полосе картофель отзывается чрезвычайно сильно на повышение доз азота; действие же калия и фосфора задерживается в случае отсутствия азота или слишком малых доз его.

На черноземных почвах, по понятным причинам, действие азота не так велико; однако при повышенных дозах получаются все же приросты в 20—30 ц на 1 га.

При дозах в 45—50 кг азота понижения крахмалистости обычно не замечается, а если некоторое снижение (на 1—1,5%) и имеет место, то оно чаще всего покрывается повышением урожая.

Вот данные из сводки полевых опытов с дозами азота [в виде $(NH_4)_2SO_4$], в которых учитывалось действие удобрений на содержание крахмала в клубнях[1]:

Области и республики	Почвы	Число опытов	Процент крахмала в клубнях (среднее из нескольких опытов)		
			Без N	60 кг N	90 кг
Московская и Горьковская области	Супеси	6	17,4	17,4	17,6
Московская, Ивановская области и Татарская АССР	Суглинки	8	18,6	—	18,5
Ленинградская область	Суглинки	5	13,3	12,3	12,7
БССР	Супеси	5	17,3	16,8	—
БССР	Суглинки	8	17,7	17,3	—
Воронежская и Курская области	Черноземы	8	18,3	18,6	—
Куйбышевская область	Черноземы	3	14,5	15,3	15,1

Как видно из этих данных, дозы азота [в виде $(NH_4)_2SO_4$] даже в 60—90 кг в большинстве случаев не давали заметного снижения крахмалистости. Понятно, что в этих условиях повышение урожаев клубней сопровождалось и увеличением урожая крахмала. Там же, где наблюдалось снижение процента крахмала (опыты в Ленинградской области на суглинках), мы имеем пример, когда абсолютное количество крахмала возрастало, несмотря на некоторое понижение процента его в клубнях:

	Без N	60 кг N	90 кг N
Средний урожай клубней (в центнерах с гектара)	172	196	211
Процент крахмала в клубнях	13,3	12,8	12,7
Количество крахмала (в центнерах на гектар)	22,9	24,1	26,8

В случае внесения избыточно высоких доз азотистых удобрений под картофель, помимо удлинения вегетационного периода и замедления созревания клубней (отложения в них крахмала), наблюдается иногда еще повышенная наклонность к заболеванию в годы распространения мокрой гнили (Phytophtora infestans).

Из форм азотистых удобрений сульфат аммония часто для картофеля оказывается одной из лучших. Картофель лучше других культур переносит подкисление почвенного раствора; вместе с тем большой запас углеводов в посевном материале (в клубнях) обусловливает хорошее использование картофелем аммиачного азота в первые стадии роста. К этому можно добавить, что при возделывании картофеля на легких почвах в подзолистой зоне нитратные формы азотистых удобрений (в особенности при внесении до посева) во влажные годы подвержены вымыванию, тогда как аммоний в почве задерживается в поглощенном состоянии.

В среднем из многих опытов по сравнению форм азотистых удобрений под картофель (на подзолистых почвах) получены такие данные (опыты НИУИФ за 1927—1937 гг.):

	Без N	$NaNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl	$CO(NH_2)_2$	$CaCN_2$
Урожай (в центнерах с гектара)	167	203	200	204	212	190	204	208

[1] Данные взяты из книги Таммана и Ильина. «Применение удобрений под картофель», СХГ, 1938 г.

Повидимому, наименее подходящей формой для картофеля является хлористый аммоний, тем более что и на качество урожая он действует хуже других азотистых удобрений.

Приведенные данные относятся к опытам с внесением азота до посадки картофеля (основное удобрение). В случае внесения азота в подкормках нитратным формам (или аммиачной селитре), повидимому, следует все же отдавать предпочтение перед сульфатом аммония[1].

Для прядильных культур удобрение азотом имеет большое значение, хотя и неодинаковое, в зависимости как от природы растения, так в особенности от почвы. Так, значительная потребность *хлопчатника* в азоте усиливается тем, что по условиям климатическим его культура наиболее развита на лессовых почвах, которые бедны азотом; далее, вследствие большого процента площади под хлопком и малой площади под кормовыми растениями здесь имеет место крайний недостаток навоза. Даже при введении хлопково-люцерновых севооборотов хлопчатник высевается на одном и том же поле несколько лет подряд. Поэтому азотный вопрос является для хлопчатника более острым, чем для других культур. *Лен на волокно*, хотя он и возделывается в районе почв, бедных азотом (подзолы), имеет предшественником клевер; при недостатке площади лен легче может быть продвигаем в новые районы культуры, чем хлопчатник; также и для конопли возможно такое продвижение на восток. Поэтому понятно, что хлопчатник, вообще потребляющий значительные количества азота, в данных условиях является чрезвычайно отзывчивым на азотистое удобрение. Так как хлопчатник является ценнейшей технической культурой, то снабжение азотистыми удобрениями его посевов производится сейчас в больших размерах, чем других культур.

При внесении азотистых удобрений под хлопчатник огромное значение имеют сроки и способы их внесения. Помимо общих соображений, о которых говорилось выше, здесь приходится еще считаться с большой продолжительностью вегетационного периода этой культуры и сильно растянутым во времени поступлением питательных веществ; вместе с тем надо учитывать и особенности водного режима, а в связи с ним и характер передвижения растворимых солей в почвах под культурой хлопчатника.

В прежних опытах, когда удобрения вносились перед посевом, часто на небольшую глубину, наблюдался весьма невысокий коэфициент использования внесенного азота растениями (всего 25—30%). Это находит свое объяснение в том, что в первый период роста хлопчатник поглощает сравнительно мало азота и находящиеся в почвенном растворе нитраты (внесенные в виде селитры или образовавшиеся в результате нитрификации аммиачных солей, которая идет здесь довольно быстро) скопляются в поверхностных горизонтах почвы и остаются в значительной части вне сферы развития усвояющей зоны корневой системы растений (при интенсивном поливе не исключена возможность также частичного вымывания нитратов в более глубокие горизонты).

Избежать этого можно прежде всего путем дробного внесения азота во время вегетации хлопчатника (главным образом во время бутонизации—цветения) с заделкой на некоторую глубину в междурядия. Тогда с поливными водами нитраты попадут в те места (и в то время), где они могут быть легко использованы развившейся корневой системой растений. Понятно, что это не исключает внесения части азота и перед посевом.

Таким путем удается не только создать лучшие условия для эффективного применения высоких доз азота, но и повысить значительно коэфициент использования сравнительно невысоких норм.

Различия в действии разных форм азотистых удобрений под хлопчатник сглаживаются тем, что аммиачные соли в почвах районов хлопкосеяния быстро

[1] Заметим, что превосходным удобрением для картофеля (в частности, для внесения в подкормку) могла бы быть калийная селитра (KNO_3), так как это позволило бы избежать внесения хлора и с калийными солями. В особенности эта форма (как удобрение безбалластное) желательна в тех случаях, когда вносятся повышенные дозы удобрений.

подвергаются нитрификации, поэтому они вскоре приобретают одинаковую подвижность в почвенном растворе; физиологическая кислотность аммиачных солей на этих почвах также не может иметь существенного значения, так как она сполна нейтрализуется карбонатами. В опытах НИУИФ по сравнению форм удобрений под хлопчатник на сероземах Средней Азии были получены такие данные (среднее из многих опытов):

	Без N	$NaNO_3$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$	$CO(NH_2)_2$	$CaCN_2$
Урожай сырца (в центнерах с гектара)	19,5	24,0	23,0	22,7	22,8	22,6

Что касается влияния на качество урожая, то оно демонстрируется следующим вегетационным опытом, проведенным на Каунчинской опытной станции Сабининым:

Доза азота на одно растение (в граммах)	0	1,5	3,0	6,0
Урожай хлопка-сырца на одно растение (в граммах)	12	31	70	78
Выход волокна (в процентах)	29,6	29,6	35,1	36,2
То же, при одновременном внесении суперфосфата (в процентах)	—	36,3	39,2	37,1

Таким образом, усиление азотистого питания повышало выход волокна; образование волокна характерной для каждого сорта длины, конечно, возможно также лишь при нормальном питании растений азотом.

Для *льна на волокно* (зона подзолистых почв) данными географической сети опытов НИУИФ доказано, что большей частью азот находится в первом минимуме. В то же время, по имеющимся литературным данным, избыток азота является нежелательным, так как при этом может понижаться выход волокна; особенно неблагоприятно действует на лен неравномерное распределение удобрения, вызывающее неодинаковое развитие растения, а отсюда трудность выбрать должное время уборки и правильно провести мочку льна; поэтому для льна так ценит «старую силу почвы», т. е. запас азота в органическом веществе, при нитрификации чрезвычайно равномерно снабжающий растения азотом. Чтобы внесение азотистых удобрений могло заменить эту «старую силу почвы», необходимо очень тщательное распределение их. Отсюда неполное согласие данных о действии азотистых удобрений на лен, в особенности на качество урожая. В Западной Европе под лен дают обычно не свыше 40 кг азота, в то время как под другие растения в тех же условиях вносятся гораздо более высокие дозы. В среднем в названных опытах НИУИФ со льном (1928—1931 гг.) наблюдались следующие прибавки от разных доз азота (по сравнению с РК) на разных почвах (в центнерах с 1 га):

					Урожай контроля	
Доза азота (в килограммах на 1 га)	30	40	60	90	0	РК
Подзолистая зона: семя	0,2	0,7	0,9	1,4	4,2	4,4
Подзолистая зона: солома	2,8	4,6	4,1	2,2	18,6	18,0
Серые лесные земли: семя	1,6	1,8	2,1	2,2	2,8	3,2
Серые лесные земли: солома	4,7	8,7	6,8	8,7	17,4	21,9

Приведем здесь еще результаты опытов НИУИФ по сравнению разных форм удобрений под лен на подзолистых почвах:

	Без N	$NaNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl	$CO(NH_2)_2$	$CaCN_2$
Урожай льноволокна (в центнерах с гектара)	4,8	7,0	6,5	6,4	6,2	5,9	6,4	6,2

Относительно влияния возрастающих доз селитры на качество урожая льна имеется такой опыт (Долгопрудное опытное поле):

Доза азота (в килограммах на гектар)	40	45	60
Выход трепаного волокна (в процентах)	12,0	12,9	11,8

Таким образом, в данных условиях при дозах, не превышающих 45 кг, не замечалось снижающего влияния азота на выход волокна, действие же на урожай этой дозы может быть уже весьма значительным (притом на серых лесных землях значительно выше, чем на подзолах).

Помимо тщательности распределения удобрений, при культуре льна нужно еще обращать особое внимание на чистоту поля от сорных трав, так как они могут опережать лен в развитии и в этом случае использовать азот раньше, чем его использует лен; так, в одном из опытов наблюдалось, что при 60 кг азота урожай льняного семени составлял 164%, урожай волокна—172%, а «урожай» сорняков—342% (если для неудобренной делянки соответственные величины принять за 100).

Конопля требует азота гораздо больше, чем лен, и хорошие прибавки урожая дает при дозе в 120, а иногда и 180 кг (при достаточных дозах калия и фосфора), причем приросты урожая стеблей составляют на подзолистых почвах 50—60%, а на серых лесных землях и на деградированных черноземах они доходят до 80—90% при абсолютной величине прироста в 20—30 ц (а иногда и 40—45 ц) стеблей на 1 га. Точно так же южные прядильные (кенаф и рами), особенно при орошении, чрезвычайно отзывчивы на азотистые удобрения.

Овощные культуры также потребляют большие количества азота и хорошо реагируют на внесение значительных доз его; вот пример из опытов с удобрением капусты на легком суглинке в Ленинградском районе (урожай по РК был равен 512 ц на гектар):

Доза азота (в килограммах на гектар)	30	60	120	180
Прибавки урожая капусты (в центнерах с гектара)	83	97	286	243

Табак чрезвычайно отзывчив на азот, но в зависимости от того, имеем ли мы дело с махоркой, «сигарным» табаком или «желтым» (папиросным) табаком, в разной степени приходится считаться с влиянием азота на качество урожая; в особенности при культуре «желтого» табака количество и качество урожая могут меняться в обратных направлениях; не находя возможным входить здесь в этот частный вопрос, приведем лишь пример влияния азотистых удобрений на размер урожая по данным Ялтинской опытной станции (среднее за 1914—1919 гг.):

	0	КР	NKP
Урожай (в центнерах с гектара)	8,3	8,5	13,9

Точно так же велико значение азотистых удобрений *при культуре чая* на красноземах в Грузии, как с точки зрения прироста урожая, так и содержания кофеина в нем (которое, однако, не является единственным фактором, определяющим качество чая).

При культуре многих *лекарственных растений* мы также встречаемся с влиянием азотистых удобрений не только на количество, но и на качество

урожая. Так, повышение содержания *морфина* в *опийном маке* или содержания *хинина в хинном дереве*[1] (для последнего, например, одновременное повышение урожая и качества его) может привести к следующему результату:

Доза азота (в килограммах на гектар)	56	85	127	190	285
Получено сернокислого хинина (в килограммах с гектара) . .	177	224	262	323	359

При недостаточном количестве азотистых удобрений они должны быть использованы в первую очередь под технические культуры не только вследствие большой их народнохозяйственной ценности, но также и потому, что при интенсивном развитии в особенно подходящих для этих культур районах обычно навоза бывает недостаточно. В этом отношении мы должны пока итти иным путем, чем Западная Европа, где пшеница с самого начала явилась главным потребителем селитры[2].

Последним угодьем, до какого доходит очередь применения азотистых удобрений, являются *луга*, которые и в Западной Европе стали получать азотистые удобрения только в последнее время, когда цены на них сильно снизились. Однако у нас встречаются особые условия, при которых теперь уже приходится применять азотистые удобрения, чтобы создать кормовую площадь,—это земледелие за полярным кругом и вообще в таких широтах, где вся культура не зерновая, а кормовая, что связано с необходимостью снабжения молоком новых промышленных центров (Кировск и Монча-Тундра на Кольском полуострове, низовья Енисея и другие районы на севере Сибири). *Кормовые травы* из злаковых чрезвычайно отзывчивы на азотистые удобрения, и коэфициент оплаты сеном здесь выше, чем оплата зерном при культуре хлебов; так, по опыту Западной Европы центнер селитры дает 7—8 ц сена (если потребность в фосфоре и калии удовлетворена), т. е. оплата сеном вдвое выше, чем оплата зерном (учитывая только весовые отношения); кроме того, получается возможность более раннего укоса, поэтому при благоприятных метеорологических условиях с помощью азотистого удобрения двухукосные луга можно превратить в трехукосные.

Наиболее отзывчивы на азот суходольные луга и некоторые заливные; для низинных лугов и болот азот играет второстепенную роль (кроме севера, где процессы разложения идут медленно и где первое время после осушки болота нужно давать значительные количества азота).

Из опытов Ленинградской зональной станции приведем следующие цифры (урожай сена в центнерах с 1 га):

	Без удобрения	КР	NKP
Суходол	16,0	21,5	58,3
Заливные луга	44,7	55,0	74,2

Все сказанное относится к чисто злаковому составу луговой растительности; тогда же, когда имеется значительный процент бобовых (например, 20% и более), действие азотистых удобрений осложняется подавлением развития бобовых, как это было показано давними опытами в Ротамстеде. При повторении подобного опыта на низинном лугу в Петровско-Разумовском мы получили следующие данные по влиянию удобрений на ботанический состав:

	Процент бобовых
Без удобрения	12
Селитра	5
Суперфосфат	8
Каинит	24

[1] Опыты по акклиматизации хинного дерева ведутся под Сухуми.

[2] Надо иметь в виду, что у нас посевная площадь под техническими культурами вместе с площадями под овощными и плодовыми (которые также подлежат первоочередной химизации) почти равна всей посевной площади Германии. А так как технические культуры требуют еще и более высоких доз удобрений, то ясно, почему мы не можем пока уделить много минеральных удобрений для массового применения под зерновые культуры, занимающие у нас огромную посевную площадь (около 100 млн. га).

Поэтому при недостатке азотистых удобрений на лугах со смешанной растительностью можно поднять урожаи, улучшая одновременно и азотный баланс, если вносить калийно-фосфатное удобрение в целях повышения процента бобовых.

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА ВОЗДУХА НА УДОБРЯЕМОМ ПОЛЕ

ЗЕЛЕНОЕ УДОБРЕНИЕ

Кроме технических способов связывания азота воздуха за счет энергии угля и водопадов, возможно использование солнечной энергии для непосредственного обогащения азотом поля, подлежащего удобрению,—это путь культуры на зеленое удобрение наиболее активных азотособирателей из растений семейства бобовых; этот путь самый дешевый, но требующий занятия поля на некоторое время растением, урожай которого не доводится до созревания и в определенный срок запахивается как удобрение для следующего растения.

Казалось бы, зачем же запахивать зеленую массу, когда ее можно скормить животным и навоз применить на удобрение, ведь азот пищи будет находиться в навозе? Однако это возражение не применимо к бедным песчаным почвам, на которых никакого корма не вырастишь, не улучшив их с помощью зеленого удобрения, а для последнего годятся растения, и непоедаемые животными, лишь бы они были способны расти на песках и усваивать азот воздуха. Таким растением, способным мириться с самыми бедными песчаными почвами и давать большую массу богатого азотом надземного урожая, однако непригодного для скармливания скоту в больших размерах, является люпин, благодаря которому на песчаных почвах возможно развитие безнавозного хозяйства, основанного на применении зеленого удобрения; в Германии значение люпина для этого рода условий было таково, что люпин стали называть «благословением песчаных почв».

Классическим примером возрождения хозяйства, не имевшего возможности до введения люпина стать на ноги, является хозяйство ставшего всемирно известным Шульца в Люпице (Германия), который долгим опытом (при тонкой наблюдательности) дошел до практического разрешения азотного вопроса для песчаных почв раньше, чем Гельригель выяснил общую причину особого поведения бобовых (но это стоило Шульцу не одного десятка лет упорных усилий и хозяйственных неудач).

Исходя из учения Либиха, что растениям нужно дать калий, фосфор, известь, а азот они сами найдут в воздухе, Шульц в шестидесятых годах начал на своей бедной почве применять фосфатно-калийные удобрения, не покупая дорогой селитры; он терпел систематические неудачи, пока не подметил, что на подленинционном питомнике одно растение выделялось своим пышным ростом—это люпин[1]; тогда он решил использовать особенности этого растения, имеющего какие-то особые (тогда еще неизвестные) источники пищи, для поднятия урожая остальных культур; после ряда опытов ему удалось установить, что здесь заменил вопрос об азоте и что можно добиться поднятия урожая ржи и картофеля, не внеся ни навоза, ни селитры, но применив комбинацию люпина с калийно-фосфатным удобрением.

Вот каков был ход постепенного поднятия урожаев картофеля в хозяйстве Шульца (в центнерах с 1 га):

1874—1876 гг.	95	1883—1885 гг.	184
1877—1879 гг.	128	1886—1888 гг.	194
1880—1882 гг.	144		

Но теперь, когда смысл явления известен, возможно быстрое поднятие урожаев хлебов и картофеля, и даже при однократном запахивании хорошо

[1] Клевер не рос в Люпице даже при калийно-фосфатном удобрении благодаря кислотности почвы, которую люпин лучше переносит.

развившегося люпина нередко наблюдается удвоение урожая непосредственно следующего за ним растения. Одним из пионеров в области люпинового удобрения у нас был проф. Будрин; вот пример из сообщенных им данных (из периода работ в Новой Александрии в восьмидесятых годах прошлого столетия) (урожай озимой пшеницы в центнерах с 1 га):

По неудобренному пару	7,8
» люпину в цвету, запаханному на удобрение	12,4
После люпина, убранного зрелым	12,1
» горчицы, запаханной в цвету	6,7

Кроме того, Будрин получал в течение 20 лет хорошие урожаи ржи (17 и) в следующем двухлетнем севообороте: 1) картофель, 2) озимая рожь плюс пожнивный посев люпина на удобрение.

Позднее в Черниговской губернии (1914) при коллективных опытах, организованных земством на крестьянских полях, наблюдалось в большинстве случаев удвоение урожая ржи под влиянием одного только люпинового удобрения (без фосфатов и калийных солей).

Приведем примеры из отчета Кулжинского об опытах Черниговского земства (1914 г.) (см. табл.).

Урожай ржи

Где производились испытания	На какой почве	Рожь дала зерна (центнеров с 1 га)		
		без удобрения	по люпиновому удобрению	на сколько больше за
В Городнянском уезде	Супесчаная	4,0	13,0	9,0
» Нежинском уезде, м. Верхнева	»	10,2	21,3	11,1
» Кролевецком уезде, с. Конотопи	Песчаная	6,4	13,6	7,2
» Кролевецком уезде, х. Зайцевский	Легкий суглинок	9,6	22,0	12,4
» Новгород-Северском уезде, в Романкове	Суглинок	3,2	7,5	4,3
» Остерском уезде, с. Борки	Легкий суглинок	6,7	23,8	17,1
» Глуховском уезде, м. Воронеж	Песчаная	6,4	19,2	12,8
» Черниговском уезде, м. Николаевское	»	6,1	11,0	4,9
» Сурамском уезде, с. Переславы	Пригадь (суглинок)	4,0	7,0	3,0

Таким образом, люпиновое удобрение заменило здесь навоз, но оно имеет то преимущество перед навозным, что при нем избегается возка больших масс на усадьбы в поле—нужно привезти только семена; можно сказать, что это навоз, накопляемый на том самом поле, которое подлежит удобрению. Затем этот путь утилизации азота воздуха имеет не только то преимущество, что не требует никакой аппаратуры, но он не требует и затраты средств на энергию; здесь не нужно ни черного, ни «белого» угля (водопады), ибо здесь та же солнечная энергия, которую улавливают листья растения в процессе разложения углекислоты, идет и на связывание азота воздуха; при этом бобовые лучше используют солнечную энергию, чем злаки, благодаря чему затрата части энергии на фиксацию азота не связана ни с какою степенью ущерба для процесса ассимиляции углерода бобовыми (известно, что вообще приток солнечной энергии во много раз превышает то ее количество, которое отлагается растением в процессе образования органического вещества).

Что касается количества азота, которое люпин может усвоить из воздуха до времени запашки на удобрение, то его в полевых условиях можно определить лишь приблизительно, так как бобовые, конечно, кроме атмосферного азота, усваивают и азот почвы, поскольку она его содержит в доступном состоянии. Вагнер (Германия) нашел, что при удачной культуре люпина азота содер-

жится в надземных органах от 100 до 160 кг на 1 га (при 35—50 т зеленой массы), также и при культуре сераделлы.

Делая произвольное допущение, что из почвы растениями взято не больше, чем содержится в корневой системе, Вагнер считал приведенные цифры отвечающими количеству азота, взятого из воздуха. Отметим, что в навозе вносится от 90 до 180 кг азота на 1 га (при внесении от 18 до 36 т); таким образом, мы имеем дело в том и другом случае с величинами близкого порядка, но усвояемость азота в зеленом удобрении выше, чем в навозе.

Подсчет Вагнера подтверждается такими нашими данными (хотя и для других растений): при посеве на одной и той же почве (опытное поле в Петровско-Разумовском) бобовых и небобовых урожаи содержали, конечно, разное количество азота; так, анализы показали, что гречиха содержала в урожае 60 кг N, рапс—64 кг, бобовые же обнаружили следующие количества азота: конские бобы—226 кг, вика с овсом—189 кг, инкарнатный клевер—160 кг. При вычитании отвода количеств азота, усвоенных из почвы рапсом или гречихой, мы можем считать разность показателем размера усвоения азота из воздуха. Цифры получаются того же порядка, как у Вагнера.

Однако одна только способность энергично фиксировать азот воздуха не могла бы объяснить, почему люпин способен хорошо расти на таких бедных песках, на которых бобовые типа клевера совершенно не удаются. Здесь играют роль особенности корневой системы люпина, которая характеризуется большой способностью брать минеральную пищу из трудно растворимых соединений. Так, наши опыты 1897 г. и следующих лет показали, что люпин свободно усвоил фосфорную кислоту из таких фосфатов, которые хлебам совершенно недоступны; он разлагает фосфорит без содействия почвенной кислотности, поэтому и в почве люпин находит пищу там, где хлеба ее не находят (но фосфор, усвоенный люпином, уже будет усвоем и для того растения, под которое люпин будет запахан как удобрение).

Но, кроме того, что люпин берет минеральную пищу из иных соединений, чем хлеба, он берет ее и из других горизонтов: его глубоко идущая корневая система проникает в неподзоленную подпочву и обогащает почвенный слой заимствованными оттуда минеральными веществами. Эта способность проникать через те уплотненные слои, которые обычно подстилают подзол, идет на пользу не только самому люпину, но после него и более слабые корни хлебных злаков способны проникать глубже, чем до культуры люпина. Если к этому прибавить, что люпин принадлежит к растениям кислого интервала pH (см. выше), то будет понятна его способность расти на тех почвах, которые мало пригодны для других растений.

То обстоятельство, что люпин лучше других растений может использовать содержащиеся в почве питательные вещества, заставляет, вообще говоря, отнести его к культурам, сравнительно менее нуждающимся во внесении удобрений (по сравнению, например, с зерновыми или техническими культурами). Но это вовсе не значит, что люпин вообще не требует удобрения. Наоборот, при посеве его на особенно бедных песчаных почвах, в частности, на вновь осваиваемых землях, и люпин может испытывать резкий недостаток в питательных веществах для нормального роста; применением же фосфатов и калийных удобрений можно создавать лучшие условия для питания и роста люпина, для накопления зеленой массы, а следовательно, оказывать влияние и на размеры фиксации азота. Фосфатно-калийное удобрение под люпин может быть эффективным и на менее бедных почвах, особенно если люпин возвращается через некоторые промежутки времени снова на одно и то же поле.

Весьма важным приемом при введении культуры люпина в новых для него районах является заражение почвы клубеньковыми бактериями (см. ниже «Бактериальные удобрения»).

Из различных видов люпинов *наибольшее значение имеют однолетние формы*, а из них—*синий люпин* (или узколистный, Lupinus angustifolius), так как другой распространенный на Западе вид—желтый люпин (Lupinus luteus)—имеет для наших условий слишком длинный вегетационный период (но он еще лучше синего справляется с самыми бедными песками и на юге заслуживает внимания).

Селекцией синего люпина на ускорение созревания занималась Новозыбковская опытная станция, созданная в послереволюционный период специально для изучения культуры песчаных почв; там же разработан ряд вопросов агротехники возделывания люпина на зеленое удобрение в наших условиях.

Прежде всего в опытах 1918—1919 гг. установлена была зависимость урожая от массы запаханного люпина; чтобы наблюдать сразу широкие градации, в одной серии опытов был применен прием запахивания разных количеств взятой со стороны люпиновой массы, причем в 1919 г. получены такие урожаи различных растений (в центнерах с 1 га)[1]:

Запахано зеленой массы люпина (тонн)	0	20,0	40,0	60,0
Рожь озимая	5,4	11,1	16,3	16,8
» яровая	1,4	7,4	9,1	8,3
Картофель	43,0	91,2	121,0	139,0

Здесь ясно выявилась зависимость урожая последующей культуры от количества запаханной люпиновой массы; при этом картофель обнаружил способность особенно хорошо использовать зеленое удобрение и реагировал почти пропорциональным приростом на утроенное его количество, в то время как у ржи после удвоения дозы прирост останавливался (обыкновенно на уровне тройного урожая против контроля).

При изучении действия отдельных составных частей люпина были получены такие результаты:

Дано 100 п на 1 га:		Корней	Стеблей с листьями[2]	Неспелых бобов люпина
Урожай ржи (в центнерах с 1 га)	1918 г.	6,1	6,6	9,3
	1919 г.	7,0	6,9	10,4

В связи с наилучшим действием бобов (как наиболее богатых белками) в дальнейших опытах Новозыбковской станции обнаружилось преимущество запахивания люпина не в стадии цветения (как писалось по общему шаблону в руководствах), а по возможности в поздней стадии, когда уже начинается плодоношение и когда количество азота (как и общей массы) больше, чем во время цветения, например:

	Люпин запахан			
	до цветения	в цвету	в стадии «спящих бобиков»	в стадии «блестящих бобиков»
Урожай ржи (в центнерах с 1 га)	5,3	6,4	7,6	10,8

Однако надо иметь в виду, что одного общего рецепта в отношении сроков запашки люпина быть не может, так как в зависимости от конкретных условий оптимальные сроки могут быть различными. При посеве люпина в пару надо обеспечить соответствующую подготовку почвы под посев озими. На более связных почвах и в условиях недостатка влаги промежуток времени между запашкой зеленой массы и посевом озими должен быть больше, что может вызвать необходимость запашки люпина в более ранних фазах (например, во время цветения или начала образования бобов). Там же, где продолжительность вегетационного периода, сроки посева озими, состояние влажности почвы и другие условия это позволяют, люпин можно запахивать позднее, но все-таки не настолько поздно, чтобы началось одеревенение стеблей, а с другой стороны, должен быть обеспечен необходимый промежуток времени до посева озими.

[1] Е. К. Алексеев. Люпины, сераделла и минеральные удобрения. Новозыбков, 1922 г.

[2] Здесь листьям, конечно, принадлежит большее значение, сообразно их богатству белками, чем стеблям.

Агротехника возделывания люпина должна быть направлена на то, чтобы вырастить достаточно обильную зеленую массу для запашки ее в качестве удобрения. Правда, в приведенных выше опытах Новозыбковской станции было учтено действие возрастающих количеств зеленой массы, привезенной со стороны, а не запаханной на месте, тогда как на практике однолетний люпин, как и большинство других растений на зеленое удобрение, запахивается на том же поле, где он вырос. Указывают, что в этих условиях (запашка на месте) при большом урожае зеленой массы люпин может сильнее посушить почву и тем самым снизить положительное действие зеленого удобрения на урожай последующей культуры (в случае запашки под посев озими). Однако при анализе коллективных опытов в Черниговской области, сгруппированных по величине урожая запаханной массы люпина, С. П. Кулжинский также констатирует возрастание прибавок урожая ржи с увеличением массы запаханного люпина[1].

Число опытов в группе	Колебания в группе урожая люпиновой массы (в центнерах с 1 га)	Средняя для группы опытов прибавка урожая зерна ржи (в центнерах с 1 га)
6	0—75	1,27
7	60—150	2,6
5	150—225	6,0
4	225—300	6,7
3	300	10,5

Как видно, и в этих условиях (при обычной запашке люпина на месте его выращивания) прибавки урожая ржи были тем выше, чем больше было количество запаханной зеленой массы люпина.

Если иметь в виду задачу максимального сохранения влаги в почве для посева озими, то этой цели, конечно, лучше всего удовлетворяет черный пар, цель же зеленого удобрения состоит в обогащении почвы азотом и органическим веществом. Поэтому районы наибольшего распространения зеленого удобрения и должны быть такими, где осадков бывает много, а почвы бедны органическим веществом и азотом. Избегать же слишком сильного иссушения почвы люпином (или другой культурой, высеваемой на зеленое удобрение) при запашке его под озимь в годы с малым количеством осадков надо не намеренным созданием плохих условий для роста люпина (для понижения урожая зеленой массы и испарения влаги), а применением более ранних сроков его запашки, сообразуясь с влажностью почвы.

Время посева люпина определяется двумя обстоятельствами. Слишком ранние посевы страдают от утренников, поздние посевы у северных пределов возделывания оставляют мало времени для образования зеленой массы до посева ржи (или для вызревания семян до наступления холодов). Посевы на семена должны быть более ранними. Из способов посева рядовой имеет преимущества в данном случае еще и потому, что семена люпина не допускают заделки на разную глубину, как семена вики или гороха, так как в отличие от названных растений люпин выносит семенодоли наружу (как фасоль), поэтому он должен заделываться обычно не глубже 3—4 см. Количество семян требуется довольно большое—около 2 ц (при рядовом посеве на семена—1,8 ц).

Во время роста люпина обычно ухода не требуют (поле должно быть очищено от сора путем осенней и весенней обработки, что облегчается не очень ранним севом люпина). Запахивают люпины, как уже было сказано, в разной стадии развития, в зависимости от ряда условий. При влажной погоде на песчаных почвах в опытах Новозыбковской станции были случаи хорошего действия люпина, запаханного в стадии «блестящих бобиков» даже перед самым посевом ржи (в таких случаях оседание почвы может быть ускорено с помощью кольчатого катка). В общем же считают, что и на легких почвах нужен промежуток для посева озими по крайней мере в 15 дней, на более связных почвах рекомендуют его запахивать раньше (примерно за месяц до посева озими).

Запахивание люпина (которому часто предшествует вращатывание) производится обыкновенно на глубину 12—15 см; при большей глубине разложение органической массы может быть затруднено (особенно при наступлении дождливой погоды).

Данные как Новозыбковской станции, так и других опытных учреждений показали, что при своевременном посеве и хорошем росте люпина действие

[1] Данные взяты из статьи С. П. Кулжинского «Научно-исследовательские задачи в области сидерации», сборник «Современные вопросы сидерации», М., 1936.

его на рожь не уступает действию навоза; так, Радомысльская станция (в Полесье) получила в среднем за 3 года урожай ржи по люпину в 6,8 ц, по навозу—6,5 ц (без удобрения—2,7 ц)*; Судогодское опытное поле (близ Владимира) имело даже 9,5 ц по люпину против 8,0 ц с 1 га по навозу и т. д. Заметим, что приведенные величины прибавок урожая от зеленого удобрения (так же как и от навоза) еще не дают полной оценки его действия, ибо оно сказывается не только на урожае первой, непосредственно удобряемой культуры, но и оказывает последействие на урожай последующих культур севооборота.

В условиях песчаных почв практически сопоставлять действие люпина и навоза не приходится, так как из-за недостатка кормов навоза здесь обычно нехватает. Но надо заметить, что значение люпина не ограничивается песчаными почвами. Правда, на этих почвах культура люпина (и отчасти игравшей подобную же роль сераделлы) является чуть ли не единственным выходом, а на лучших почвах может расти и клевер, однако клевер и люпин вовсе друг друга не исключают, а действие люпина на суглинках даже сильнее, чем на бедных песчаных почвах. Так, по материалам обследования люпиносеяния в Новозыбковском уезде средняя прибавка урожая ржи от люпинового удобрения составляла на песках 4,2, на супесях—4,7 ц, а на суглинках—7,7 ц с 1 га. То же наблюдалось в упомянутых ранее черниговских опытах.

Однако может явиться вопрос, нужна ли культура люпина на тех почвах, на которых удается клевер. Полагаем, что и на этих почвах было бы неправильно отказываться от тех крупных приростов, которые может дать люпиновое удобрение, так как азотный баланс на землях нечерноземной полосы стоит у нас на очень низком уровне. Если на таких почвах не окажется места для люпина в пару, занятом другими растениями (например, викой, овсом), то напомним, что на громадных площадях (южные районы БССР, север Киевщины, Черниговщина и смежные районы) возможен посев люпина не только в пару, но и пожнивно; особенно хорошо такое удобрение пожнивным люпином оплачивается в следующем году картофелем, другие яровые также будут за него благодарны.

За пределами пожнивной культуры люпина его культура в пару может быть интересна не на одних только песчаных почвах и не только при недостатке навоза, но *в крупном хозяйстве при трудности возки навоза на дальние поля* последние могут удобряться люпином, а соответствующее количество навоза найдет более выгодное применение под интенсивные культуры в приусадебном севообороте.

Во многих районах Восточной Сибири и Дальнего Востока зеленое удобрение будет иметь преимущество перед навозом—в гористых местностях при разбросанной пашне возить навоз невозможно, а наличность пара перед яровой пшеницей, характеризующая хозяйство Восточной Сибири, открывает там для зеленого удобрения большие возможности, но будет ли это люпин, или доннник[1], или какое-нибудь иное бобовое, требуется дальнейшее выяснение путем опыта.

Если говорить о возможных границах распространения посевов однолетнего люпина в северном направлении, то надо различать, идет ли речь о посеве люпина местными семенами или же привозными. В первом случае ограничивающим фактором оказывается краткость вегетационного периода. Считалось, что эта граница проходит примерно по широте Москвы (или даже южнее). Но применение селекционных скороспелых сортов и агротехнических приемов, направленных на ускорение созревания (ранние сроки посева, яровизация, загущенный посев и т. д.), позволяют отодвигать эту границу дальше.

* Такие урожаи были получены при однократной культуре люпина; при повторении культуры люпина в севообороте урожаи будут прогрессивно расти.

[1] Преимущество доннника состоит в его нетребовательности к климату—он устойчив в отношении засухи и отличается высокой зимостойкостью. Кроме того, доннник лучше других бобовых переносит засоленные почвы. Все это заставляет обратить серьезное внимание на возможность использования этой культуры на зеленое удобрение не только в Сибири, но и в других районах. Если посев доннника производится привозными семенами, то известное значение имеет и то, что норма высева доннника как мелкосемянного растения в 4—5 раз меньше, чем у люпина. Доннник возделывается и как кормовое растение, хотя в этом отношении он и обладает недостатками (деревянистость стеблей и резкий запах, обусловленный присутствием кумарина).

Посев же однолетнего люпина на зеленое удобрение привозными семенами возможен и в еще более северных широтах: расходов по транспорту при этом опасаться не приходится, ибо 2 ц семян люпина, необходимые для одного гектара, выгоднее перевозить, чем 2 ц сульфата аммония, так как при хорошем развитии люпин способен накопить 160 кг азота на 1 га, а 2 ц сульфата аммония содержат только 40 кг азота.

Но даже если иметь в виду посев люпина местными семенами, то и тогда возможная область его применения в европейской части СССР чрезвычайно обширна, распространяясь на всю часть нечерноземной полосы к югу от широты Москвы, включая полесье БССР и УССР.

Наиболее благоприятные условия для введения зеленого удобрения, как в отношении продолжительности вегетационного периода, так и со стороны количества выпадающих осадков, имеют место в юго-западной части северной нечерноземной полосы. В направлении к югу и востоку количество осадков бывает меньше. В соответствии с этим нами намечалась ранее юго-восточная граница возможного распространения посевов люпина на зеленое удобрение примерно по линии Шепетовка—Киев—Тула—Рязань—Тамбов—Арзамас—Горький. Теперь южную границу этой зоны применения зеленого удобрения проводят несколько южнее (в восточной ее части), имея в виду, с одной стороны, обязательность здесь более ранней запашки зеленого удобрения (во избежание иссушения почвы), а с другой стороны, применение так называемого «укосного» зеленого удобрения, т. е. внесение зеленой массы, выращенной и накошенной на другом участке[1].

Таким образом, намечающаяся в пределах нечерноземной полосы европейской части СССР область применения зеленого удобрения охватывает огромную территорию. Площадь, которую в этой зоне должно занять зеленое удобрение, определяется ориентировочно в 2,5—3 млн. га. Если принять, что на каждом гектаре люпин фиксирует около 160 кг азота, то общая сумма фиксированного азота за год составит 400—500 тыс. т, что соответствует 2—2,5 млн. т сульфата аммония. Отсюда видно, какая огромная роль в азотном балансе нашего земледелия должна принадлежать зеленому удобрению. *Азотирование полей с помощью люпина только в пределах намеченной зоны* способно было бы дать азота больше, чем давала вся наша химическая промышленность в 1937 г.

Возможность применения зеленого удобрения вовсе не ограничивается очерченной областью. Выше уже было сказано о том, что и Сибирь и Дальний Восток должны стать областями широкого применения зеленого удобрения. Но и в европейской части СССР границы посевов люпина могут быть значительно раздвинуты с помощью культуры многолетнего люпина.

Многолетний люпин (Lupinus polyphyllus) является единственным представителем люпинов, заведомо способным давать зрелые семена не только на широте Ленинграда, но и еще далее к северу—до Архангельска. *Он способен давать два (или даже три) укоса зеленой массы в лето*, из которых первый может доставить материал для удобрения парового поля, а второй может быть запахан с осени под яровое (но здесь требуется перевозка зеленой массы).

В опытах, проведенных на легкосупесчаной, среднеподзолистой почве Солакамской опытной станции, запашка зеленой массы многолетнего люпина под озимую рожь дала прекрасные результаты, сильно повышая урожайность ржи и оказывая значительное последействие на второй год на урожай овса. В одном из опытов были получены такие данные:

Запахано зеленой массы люпина (в тоннах на 1 га)	0	20	40
Урожай зерна ржи (в центнерах с 1 га)	8,74	26,14	34,48
Урожай зерна овса (в центнерах с 1 га) (последействие)	6,74	10,34	14,67

[1] Для этой последней цели подходящим растением может быть многолетний люпин (подробнее о нем будет сказано ниже) или доннник.

В опытах той же станции с запашкой зеленой массы многолетнего люпина под картофель были получены такие результаты:

Запахано зеленой массы (в тоннах на 1 га)	0	30	60
Урожай картофеля (в центнерах с 1 га)	55,4	91,4	104,0

Кроме доставления зеленой массы для удобрения смежных полей, многолетний люпин, способный расти 8 лет на том же месте (без нового подсева), производит мелиорацию того поля, на котором он рос, так что им можно пользоваться для расширения культурной площади на севере, улучшая с помощью многолетней люпиновой залежи запольные земли и пустоши, разделке которых мешает отсутствие удобрений (расширив же площадь, можно затем провести этот люпин через все поля, поочередно переводя каждое из них в положение «выводного клина», т. е. временно выходящего из севооборота).

Многолетний люпин может быть использован не только в северных районах, но и во всей нечерноземной полосе; в частности, он может быть рекомендован для таких районов, где недостаток влаги, а следовательно, опасность иссушения почвы является препятствием для посева однолетнего люпина в пару.

Кроме полеводства, многолетний люпин как энергичный азотособиратель находит применение и в лесоводстве, где служит для подгона роста сосны, и в садоводстве, где применяют его культуру между рядами деревьев для восстановления плодоношения старых садов.

Ассортимент культур, посевы которых можно применить на зеленое удобрение, не ограничивается только видами люпинов. Люпин является в этом отношении лишь *наиболее характерным представителем*, потому что *зеленое удобрение представляет главную цель возделывания этого растения*[1], тогда как другие растения применяются для зеленого удобрения наряду с использованием в других целях. Такова, например, упоминавшаяся выше *сераделла* (Ornithopus sativus); так же как и люпин, она хорошо растет на песчаных почвах (хотя на очень бедных, рыхлых песках она удается хуже люпина и более требовательна к влаге).

Сераделла может быть использована и как кормовое растение и для запашки на зеленое удобрение. Сераделлу чаще всего подсевают весной под озимь или под яровые. После уборки покровной культуры сераделла успевает осенью дать достаточно зеленой массы для запашки (или для уборки на сено).

Кроме люпина и сераделлы, которые лучше других культур удаются на бедных песчаных почвах, с целью запашки на зеленое удобрение на более связных, культурных почвах могут с успехом высеваться другие бобовые растения (горох, вика, бобы, чина, пелюшка и др.).

В зависимости от почвенно-климатических и хозяйственных условий для зеленого удобрения могут быть избраны различные культуры и применены разные способы введения их в севооборот (или посева на запольных участках).

Самостоятельным зеленое удобрение называют в том случае, когда люпин или другая культура на зеленое удобрение высеваются весной в паровом поле.

Если культура, высеваемая на зеленое удобрение, выращивается во второй половине лета и в первой половине осени на поле, занятом с весны другими растениями, то такой прием называют *промежуточным* зеленым удобрением. Сюда относятся поукосные (после уборки озими) посевы люпина и подсевная культура сераделлы. Необходимым условием для такого способа применения зеленого удобрения являются продолжительность вегетационного периода и достаточное количество осадков.

Укосным зеленым удобрением называется внесение зеленой массы, выращенной на другом участке, как это имеет место, например, в случае многолетнего люпина.

Сераделла, донник и некоторые виды клевера, способные быстро отрастать после укоса, могут быть использованы еще по типу так называемого *отавного* зеленого удобрения. Отавным зеленое удобрение называется в том случае, когда первый укос скашивается и увозится с поля (как кормовая культура или для запашки на другом поле), а отрастающая потом отава запахивается на месте произрастания.

[1] Хотя вообще не исключена возможность частичного использования люпина и на корм. Для этой цели пригодны выведенные путем селекции специальные безалкалоидные сорта люпина, а кроме того, имеются способы обезгоречивания зерен люпина (пропарка или варка под давлением с последующим выщелачиванием, обработка слабой HCl и т. п.).

Е. К. Алексеев[1] дает такую схему районирования приемов зеленого удобрения в пределах северной нечерноземной полосы европейской части СССР:

Зоны и области применения зеленого удобрения	Формы зеленого удобрения (в последовательном порядке по их значению в данной зоне)	Главные высеваемые на зеленое удобрение культуры
Первая зона. Полесье УССР, южные районы БССР, западные районы Орловской области	1. Промежуточное удобрение 2. Самостоятельное удобрение 3. Отавное удобрение под озимые и яровые	Поукосный люпин, подсевная сераделла Желтый люпин, узколистный люпин Сераделла, клевер
Вторая зона. Северная половина БССР, Смоленская, Рязанская, Московская, Калининская, Ивановская области. Южные районы Ленинградской области, средние районы Горьковской области и соседние с ней районы Кировской области	1. Самостоятельное удобрение в пару 2. Укосное удобрение 3. Отавное удобрение под яровые	Узколистный люпин Многолетний люпин Сераделла, клевер
Третья зона. Северные районы Ленинградской, Горьковской, Кировской, Свердловской областей, Ярославская, Архангельская области	1. Укосное удобрение 2. Самостоятельное удобрение в пару	Многолетний люпин Пелюшка, узколистный люпин
Четвертая зона. Правобережье Горьковской области, Чувашская, Татарская, Башкирская АССР, южные районы Свердловской области и прилегающие районы соседних областей	1. Укосное удобрение 2. Самостоятельное удобрение в пару	Донник, многолетний люпин Рано запахиваемые (в цветущем состоянии) люпин, пелюшка и др.

Кроме перечисленных областей, *большие возможности для применения зеленого удобрения имеются в районах орошаемого земледелия и во влажных субтропиках*. Здесь возможен довольно широкий выбор растений для зеленого удобрения. Вопросы применения зеленого удобрения здесь менее изучены, однако значение этого приема несомненно как с точки зрения азотного баланса, так и для улучшения почв органическим веществом. Во всяком случае развитие опытной работы по установлению наиболее эффективных способов применения зеленого удобрения в этих районах представляет актуальную задачу.

В хлопковых севооборотах, при посеве хлопчатника несколько лет подряд на одном и том же поле, растения на зеленое удобрение приходится высевать в междурядия еще до уборки хлопка, что требует разработки соответствующих приемов агротехники. Из растений на зеленое удобрение здесь представляют интерес озимые формы гороха (и других бобовых).

В опытах в Азербайджане наблюдались такие прибавки урожая хлопка-сырца от запашки озимого гороха:

Время запашки гороха	Вес запаханной зеленой массы (в тоннах на 1 га)	Урожай сырца (в центнерах с 1 га)	Прибавка (в центнерах на 1 га)
Без удобрения	—	23,4	—
Горох запахан 19 апреля	22	42,8	+19,7
Без удобрения	—	24,4	—
Горох запахан 7 мая	30	37,8	+13,7
	22—27	32,7	+ 8,6
	10	28,8	+ 4,7

[1] Е. К. Алексеев. Зеленое удобрение. СХГ, 1940.

Кроме озимого гороха, в районах хлопководства испытывались для зеленого удобрения такие культуры, как шабдар (Trifolium resupinatum), маш (Phaseolus aureus) и др.

Для районов *влажных субтропиков*, кроме люпина и сераделлы, имеется большой выбор растений для зеленого удобрения[1]. Для правильного выбора культур на зеленое удобрение в этих районах требуется соответствующая опытная работа и разработка агротехники их возделывания с учетом возможности двойного использования—как кормовых или продовольственных (например, сбор лопаточек зеленого гороха) и для запашки в качестве зеленого удобрения.

При посеве растений на зеленое удобрение на плантациях субтропических многолетних культур (цитрусовые, чай, тунг) люпин или другое растение высевается с осени и развивается осенью и рано весной. Таким образом, вегетационный период основной культуры и люпина во времени не совпадает.

Помимо значения запашки зеленой массы в качестве удобрения, подобные осенне-посевы люпина на плантациях этих культур могут быть в известной мере еще и средством для регулирования влажности почвы в осеннее время (так, например, понижение влажности почвы может быть полезным для культуры цитрусовых, способствуя вызреванию древесины и повышению ее стойкости против вымерзания).

Широкие перспективы продвижения зеленого удобрения в южные районы (в условиях орошения и во влажных субтропиках), а также в Сибирь и на Дальний Восток, вместе с внедрением его в нечерноземной полосе европейской части Союза, еще более увеличивают возможную роль зеленого удобрения в общем азотном балансе нашего земледелия.

Оценивая зеленое удобрение прежде всего с этой точки зрения, надо вместе с тем иметь в виду, что значение его не ограничивается только влиянием на режим азота в почве (и на общий баланс азота в хозяйстве); известное значение имеет и то обстоятельство, что при запашке зеленого удобрения в почву вносится *масса органического вещества*; это благоприятно сказывается на физических и физико-химических свойствах почвы, усилении микробиологической деятельности в почве и т. д. В этом смысле зеленое удобрение может быть отнесено к *группе органических удобрений*, главным представителем которых является навоз.

В связи с этим зеленое удобрение приобретает исключительно большое значение там, где для улучшения почв особенно необходимо обогащение их органическим веществом, а навоза по той или другой причине нехватает.

В сочетании с навозом и другими органическими удобрениями, а также и с удобрениями минеральными, зеленое удобрение в качестве одного из элементов системы удобрения является весьма мощным средством поднятия урожая и повышения плодородия почв.

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Положительная роль посевов бобовых сказывается в должной мере на азотном балансе лишь в том случае, если обеспечено заражение растений клубеньковыми бактериями. Если такое заражение почему-либо отсутствует, то бобовые, как и все другие растения, используют для питания имеющиеся в почве усвояемые формы азотистых веществ. Такое «бесклубеньковое» развитие бобовых растений чаще всего можно наблюдать при введении новых культур, ранее на данной почве не возделывавшихся и не имеющих среди местной дикой флоры родственных видов. Так, это может иметь место при посеве того же люпина на новых площадях, где ранее его никогда не было. При посевах сои в европей-

[1] Назовем некоторые из них: таннерская чина и горох рекомендуются для осенних посевов на всех почвах, кроме красноземов и подзолистых почв с высокой кислотностью; на аллювиальных и перегнойно-карбонатных почвах рекомендуются конские бобы, вика (яровая и озимая), лядвенец рогатый, клевер (инкарнатный, александрийский). Для посевов весной рекомендуются: коровий горох (Vigna), соя, бархатные бобы (Stizolobium), крапчатая, рисовая фасоль, маш и др.

ской части СССР также часто не происходит заражения клубеньковыми бактериями естественным путем.

Для того чтобы обеспечить образование клубеньков, а следовательно, и фиксацию атмосферного азота, в подобных случаях надо заботиться об искусственном заражении соответствующими клубеньковыми бактериями.

При ближайшем изучении клубеньковых бактерий, участие которых в процессе усвоения азота воздуха бобовыми установлено было Гельригелем, выяснилось, что бактерии разных видов бобовых не одинаковы и при заражении одного вида бактериями другого вида результат бывает различный: именно у близко стоящих видов (горох, бобы, вика) возможно заражение бактериями другого растения, для более же отдаленных форм того же семейства (люпины, Cytisus, Robinia, Gleditschia) заражение бактериями гороха или клевера будет не действительным, как это показано было опытами Ноббе и Гильтнера. При повторении этих опытов у нас получены были в песчаных культурах, например, такие урожаи в граммах на сосуд (на фоне питательной смеси, лишенной азота):

Растения	Селитра	Без селитры и без заражения	Заражение почвенными вытяжками	Заражено бактериями	
				вики	люпина
Горох	34,5	3,5	33,0	14,0	3,9
Вика	26,7	1,2	19,0	18,2	1,6

Из этих данных видно, что бактерии люпина не способны заражать горох и вику (также и клевер), и, наоборот, бактерии этих растений не заражают люпина (см. рис. 23 и 24). Так как в нашей флоре имеются дикорастущие виды клевера и вики, то эти бактерии обычно присутствуют почти во всех почвах (исключением будут, например, болотные почвы), и при введении в культуру клевера можно обойтись и без искусственного заражения почвы; в случае же, например, с люпином, для которого нет родственных форм в нашей флоре, в начале его введения в севооборот нужно обязательно позаботиться о заражении тем или другим путем соответствующими бактериями.

Для такого заражения существует несколько приемов. На Новозыбковской опытной станции изучались, например, такие способы: 1) заражение люпиновыми клубеньками, которые зимой сохранялись (вместе с норами) в подвале, а весной раздавливались с прибавлением воды и в этой массе обваливались семена; 2) заражение люпиновой землей[1], которая или вносилась комбинированной сеялкой в рядки при посеве люпина (3—4 ц на 1 га), или разбрасывалась по полю перед посевом, или же люпиновая земля (2—3 ц) смачивалась водой и в этой массе обваливались семена; 3) уси-

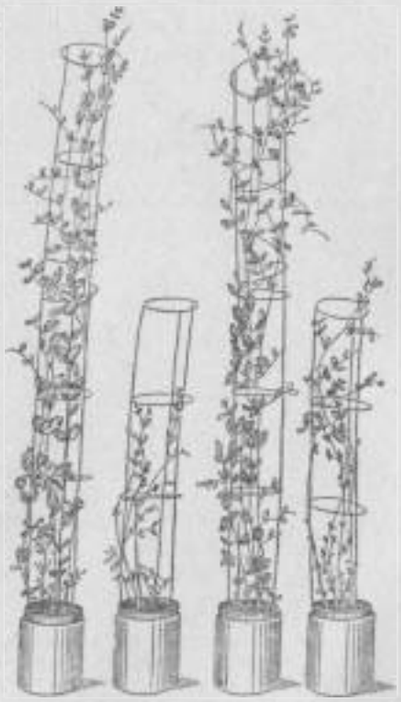


Рис. 23.

[1] Т. е. взятой с участка, где рос люпин.

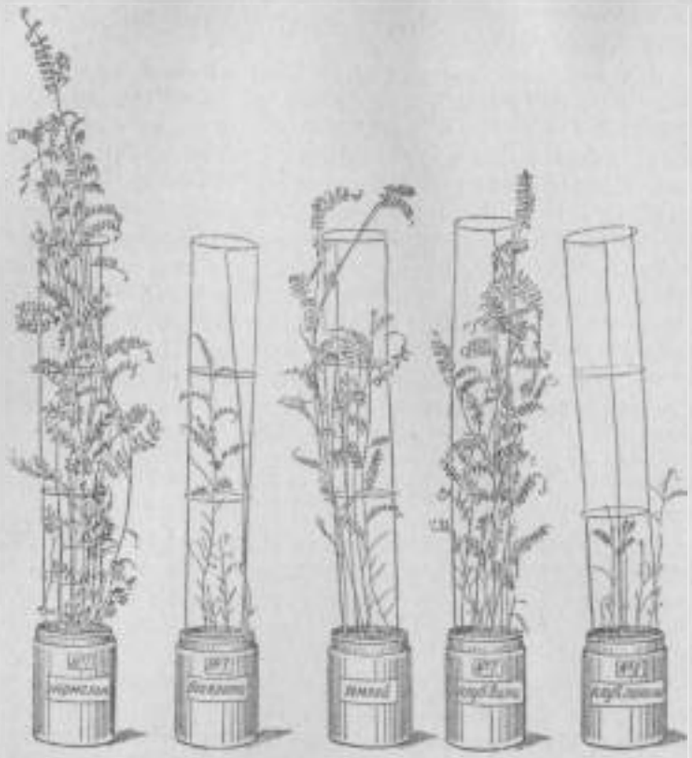


Рис. 24.

ление размножения бактерий с помощью навоза; 4) для сравнения проводилось заражение с помощью нитрагина (о нитрагине см. ниже). Процент сильно зараженных растений изменился следующим образом:

	1917 г.	1918 г.		1917 г.	1918 г.
Без заражения	28	24	Заражение клубеньками . .	49	48
Обваливание семян землей	32	64	Заражение нитрагином . .	37	—
Внесение земли в рядки .	51	42	Влияние навоза { 10 т . . .	47	—
			Влияние навоза { 20 т . . .	56	—

Что касается разбрасывания люпиновой земли по полю, то результат его оказался сильно зависящим от количества земли; так, например, в 1918 г. наблюдалось:

Заражение	Процент сильно зараженных растений
0,5 т земли	24
1 » »	47
1,5 » »	54
2 » »	64

Позднейшие опыты показали, что полезно увеличить количество земли до 2—2,5 т. Повидимому, из этих способов заражение хорошо сохраненными клубеньками представляет наибольший интерес, так как для заражения килограмма посевного зерна требуется 1—1,5 г клубеньков, или 200—300 г на 1 га, что позволяет даже прибегать к пересылке по почте материала для заражения[1].

[1] Применение навоза на малых площадях дает возможность создать «питомник» люпиновых бактерий и затем пользоваться землею с него (и клубеньками) для последующего заражения в больших размерах. Очевидно, органическое вещество навоза помогает размножению бактерий, которые заносятся всегда с семенами, хотя бы и в небольшом количестве. Поэтому повторный посев люпина на том же месте также способствует заражению почвы бактериями, и даже если к овсу, который предшествует люпину, применять небольшое количество люпиновых семян, то в следующем году процент зараженных растений будет уже повышен. Все эти меры нужны особенно вначале, впоследствии же, когда люпин пройдет по всем полям, о заражении можно заботиться меньше.

На Уральской опытной станции применяется такой способ: с участка люпина, не пораженного болезнями и с хорошим заражением клубеньковыми бактериями, во время цветения и вспашки либо выбораживают и собирают вручную корни, отряхивают от земли и складывают в сарае для просушки. С наступлением первых заморозков корни досушиваются в сушилках при 20—25° Ц и подвергаются размолу. После просеивания через сито с отверстиями в 1 мм получается сухой сыпучий порошок, который перед посевом смешивается (в сухом виде) с семенами. По данным станции (Рюмин), такой препарат хорошо сохраняется и не теряет способности к заражению в течение 2—3 лет.

Нитрагин. Наряду с описанными выше более или менее примитивными способами заражения за последние годы у нас получает все большее и большее применение массовое производство чистых культур клубеньковых бактерий. Препараты таких искусственно разведенных культур клубеньковых бактерий появились впервые за границей в продаже вскоре же после открытия Ноббе и Гильтнера, под не совсем удачным названием н и т р а г и н а[1].

У нас до революции не было совсем учреждений, занимавшихся приготовлением нитрагина. В 1929 г. по заданию Наркомзема Институт с.-х. микробиологии начал выпускать нитрагин, главным образом для посевов сои. Позднее (с 1935 г.) началась организация специальных лабораторий для производства нитрагина. В настоящее время существует несколько таких лабораторий—фабрик нитрагина, и, например, в 1939 г. намечено было применение его на площади около 2 млн. га посевов разных бобовых культур.

При соответствующем подборе клубеньковых бактерий для производства нитрагина его применение позволяет производить заражение такими расами бактерий, которые наиболее подходят для данной культуры. Обычно различают семь главнейших рас клубеньковых бактерий, имеющих практическое значение и соответствующих таким группам бобовых растений:

I — люцерна, донник,
II — клевера (красный, белый, инкарнатный),
III — горох, вика, чина, чечевица,
IV — фасоль,
V — люпин, серадэлла,
VI — арахис, коровий горох,
VII — соя.

Кроме того, даже в пределах одной и той же группы могут встречаться бактерии, обладающие неодинаковой активностью в отношении связывания атмосферного азота. Поэтому правильный подбор соответствующих бактерий для получения нитрагина имеет существенное значение.

Замечено, что после того, как произошло заражение корней какой-либо расой клубеньковых бактерий, проникновение в них других бактерий затрудняется. Следовательно, если в почве имеются малоактивные (для данного растения) бактерии, то первоначальное заражение ими может тормозить деятельность более активных рас, хотя бы они и были в почве. Это обстоятельство служит одним из поводов к применению нитрагина не только в тех случаях, когда естественное заражение вообще не происходит, но и при обычных посевах таких бобовых, как клевер, вика, горох и др., когда, казалось бы, их заражение и без того обеспечено. Оказывается, что важно не только вообще заражение, но и чтобы это заражение было более активным в отношении связывания азота воздуха бактериями. Однако понятно, что «дополнительное» заражение имеет более второстепенное значение, чем применение нитрагина под такие культуры и на таких почвах, где естественное заражение не обеспечено совсем.

Изготовляемый в настоящее время в СССР нитрагин представляет собою чистую культуру клубеньковых бактерий, проверенных в отношении активности и пригодности для той или другой культуры и размноженных в предварительно стерилизованной почвенной среде. Чистые культуры соответствующих рас бактерий размножаются сначала в специальной питательной среде (отвар из семян

[1] Неудачным оно является потому, что наводит начинающих на мысль об образовании нитратов, с которыми нитрагин ничего общего не имеет.

фасоли или морковный отвар), которая затем добавляется в банки со стерилизованной почвой. В течение 5—8 дней они выдерживаются в термостате при 28°. За это время происходит обильное размножение бактерий в почвенной среде. 0,5 кг таким образом приготовленного препарата достаточно для заражения 1 га посева. В течение 3—5 месяцев хранения такой нитрагин сохраняет свою активность и пригоден для употребления (хранить его надо в прохладном и сухом помещении[1].

Перед посевом соответствующее количество нитрагина растирают с водой[2] и смачивают полученной болтушкой предназначенные для посева семена. После тщательного перемешивания семенам дают немного просохнуть и немедленно высевают. Всю работу с нитрагином надо проводить в тени (под навесом, в сарае и т. п.), ибо солнечный свет убивает бактерии. Поэтому при разбросном посеве выбирают пасмурный день или посев производят вечером с немедленной заделкой семян.

При такой технике заражения нитрагином вместе с семенами вносятся бактерии, обладающие достаточно высокой способностью к фиксации азота. Находясь в непосредственной близости с семенами и корешками молодого растения, они быстро его заражают.

За последние годы проведено большое число опытов с нитрагином, преимущественно в производственных условиях. Для характеристики полученных результатов приведем здесь средние показатели действия нитрагина по этим опытам[3].

Название культур	Опыты 1934—1936 гг.		Опыты 1937—1938 гг.	
	Число опытов	Средняя прибавка урожая зерна (в центнерах на 1 га)	Число опытов	Средняя прибавка урожая зерна (в центнерах на 1 га)
Люпин	50	3,1	15	6,06
Соя	82	1,3	3	2,85
Горох	240	1,4	49	1,7
Вика	99	1,6	13	1,9
Чечевица	67	1,0	8	1,1

Более высоких прибавок от применения нитрагина надо ожидать при введении новых культур и на вновь осваиваемых землях; в качестве примера приведем такие данные[4]:

Место опыта и название культуры	Урожай (в центнерах с 1 га)		Прибавка (в процентах)
	без нитрагина	с нитрагином	
Совхоз Синяринно, Лодейнопольского района			
Вика, зеленая масса	40,0	72,0	80
Люпин синий, зеленая масса	110,0	160,0	45
Повенецкая с.-х. станция Беломорско-Балтийского комбината			
Горох, зерно	8,0	14,0	77
Вика, сено	33,0	39,0	18

Большое значение бобовых растений в севообороте заставляет уделить должное внимание применению нитрагина как одного из способов повышения их урожая и увеличения их роли как азотосборателей.

[1] Не следует допускать повторного оттаивания и размораживания.

[2] Около 200 мл на каждые 10 кг мелких семян (клевер, люцерна и т. п.) или на 20 кг крупных семян (горох, люпин).

[3] По сводке М. Г. Голик.

[4] Е. Н. Мишустин и Н. В. Бернард. «Химизация социалистического земледелия», № 11, 1938 г.

Азотогеи (или азотобактерии). Среди микроорганизмов почвы имеются свободно живущие бактерии, обладающие способностью связывать атмосферный азот. Первые наблюдения над ними принадлежат Виноградскому (1892), который, вскоре после обнаружения виновников окисления азотистых соединений в почве (нитрификаторов), открыл восстановительный процесс связывания свободного азота анаэробным организмом, Clostridium Pasteurianum. Этот организм был выделен тем же методом элективной среды, как и нитрификаторы, только там исключалось органическое вещество, а здесь—связанный азот, органическое же вещество (углеводы) здесь необходимо как источник энергии. Clostridium вызывает распад углеводов по типу маслянокислого брожения, причем на каждый грамм сброженного сахара приходится 2—3 мг связанного азота (однако фиксация атмосферного азота имеет место только в среде, бедной азотистыми соединениями; если же питать Clostridium аммиачными солями, то он не усваивает свободного азота).

Другой, весьма распространенный микроб, способный связывать азот воздуха (открыт в 1901 г. Беберинком),—это Azotobacter chroococcum и A. agile.

Организм этот точно так же пользуется энергией, освобождающейся при распаде углеводов, но на этот раз мы имеем дело с аэробным процессом. Азотобактер использует в качестве энергетического материала углеводы клеточных стенок или корневые выделения растений, а также, повидимому, вступает в симбиоз с водорослями[1], причем между тем и другим организмом происходит такой же обмен веществ, как и в случае клубеньковых бактерий, но в данном случае—без проникновения одного организма внутрь другого. Кроме аэрации и наличия органических веществ, для успешного роста азотобактера имеет значение еще присутствие извести в почве, кислые же почвы для него неблагоприятны.

Наряду с Azotobacter и Clostridium имеются и другие формы, способные связывать свободный азот, однако нужно признать, что роль всех этих бактерий, в сумме взятых, не может сравниться с энергией процесса фиксации азота клубеньковыми бактериями, так как последние имеют постоянно притекающий источник энергии в виде ассимилятов, создаваемых в листьях растения-хозяина.

[1] Одно время водорослям приписывали способность фиксировать азот воздуха (Франк, 1889 г.), но проверка этого утверждения, проведенная Коссовичем (1895 г.), показала, что сами водоросли этой способностью не обладают.

Трудность решения этого вопроса заключалась в том, что водоросли обычно живут в окружении различных бактерий; часто последние населяют ослизняющийся (внешний) слой клеточной оболочки, и потому имевшиеся ранее наблюдения относительно фиксации азота относились к смеси водорослей с бактериями.

Чтобы получить чистую культуру водорослей, Коссович прибег вместо желатины к минеральной среде, именно к студню из кремнекислоты (подобно тому, как это делал Виноградский для изолирования нитрифицирующих бактерий), затем отделенные от бактерий водоросли культивировались уже без доступа бактерий, на тонком слое песка, смоченного раствором солей (без азота) в конических колбах, с приспособлением для аэрации и введения углекислоты. Оказалось, что сами по себе водоросли не могут фиксировать азот воздуха, но некоторые бактерии, используя как источник энергии углеводы, накопляемые водорослями за счет разложения CO_2, могут фиксировать азот воздуха.

Вот примеры анализов для чистых культур водорослей из работы Коссовича:

	I	II	III
Было азота до опыта	2,6 мг	1,7 мг	4,6 мг
После опыта	2,7 »	1,7 »	4,7 »

Как видно, различия лежат в пределах погрешности анализа; если же водоросли были загрязнены бактериями, то вместо исходного количества азота в 2,6 мг по окончании опыта культуры содержали в разных случаях такие количества азота:

7,1 9,5 8,1 19,1 25,4 мг.

Здесь обнаружен ясный прирост азота; очевидно, хотя здесь водоросли и бактерии не связаны так тесно, как бактерии бобовых с растением-хозяином, но все же между ними существует обмен услуг: бактерии получают углеводы от ассимилирующих углерод водорослей, а водоросли—азотистый материал от отмирающих клеток тех бактерий, которые способны фиксировать азот воздуха.

Снабжать же свободно живущих бактерий усвояемыми углеводами трудно потому, что введение углеводов в почву может благоприятствовать и таким процессам, которые понижают количество растворимых азотистых соединений в почве; сюда относится, кроме денитрификации, также и своего рода ретроградация, т. е. перевод в трудно растворимые органические соединения теми многочисленными бактериями и грибами, которые населяют почву; нельзя помешать им также использовать те углеводы, которыми мы хотели бы поднять деятельность азотобактера. Поэтому, когда подсчитывают, что свободно живущие бактерии могут усвоить 15—30 кг азота на гектар, исходя из опытов с чистыми культурами, то в почве, с ее многообразным населением, нужно бы учесть и те обратные процессы, о которых было сказано выше, и принять во внимание не все то, что могут дать Azotobacter и Clostridium, а только разность между положительным и отрицательным эффектом от использования углеводов микроорганизмами разнообразных физиологических типов, населяющих почву. Клубеньковые же бактерии свободны от борьбы за углеводы с остальной микрофлорой почвы благодаря вхождению внутрь тканей высшего растения, и их работа может давать на гектар 100—200 кг азота (столько же азота вносится с 20—40 т навоза).

Хотя роль свободно живущих микроорганизмов, связывающих атмосферный азот, и менее заметна, чем бактерий клубеньковых, все же известное обогащение почвы азотом и здесь может иметь некоторое значение, тем более что работа азотобактера идет на полях, занятых любой культурой, тогда как деятельность клубеньковых бактерий ограничивается участками, занятыми посевами бобовых.

С целью усиления полезной деятельности азотобактера в последние годы в довольно большом масштабе испытываются приемы дополнительного заражения почвы (при посеве с.-х. растений) чистой культурой этих бактерий.

Приготовление соответствующих препаратов аналогично приготовлению нитрагина. Выделенная из почвы культура азотобактера размножается сначала на питательной среде из агар-агара, а затем в торфяном порошке. Приготовляют также препараты только на агар-агаре без торфяного порошка (рассылается в бутылках) и на кремнекислом геле (поступает на места в виде сухого порошка). Такого рода препараты называют *азотоген* или *азотобактерин*.

В отличие от нитрагина, специально предназначенного для того или другого бобового растения, азотоген применяется под различные культуры (небобовые).

Техника применения азотогена сходна с описанной выше для нитрагина. Семена смачивают небольшим количеством воды и смешивают с торфяным препаратом (или разводят азотоген в воде и смачивают полученным раствором семена). При посадке рассады корни ее смачивают водой и посыпают порошком азотогена или же опускают корни в воду, в которой предварительно размешан препарат азотогена. Так же как и при работе с нитрагином, не следует эти операции делать при прямом солнечном освещении.

Имеется довольно большое число опытов по испытанию действия азотогена. В ряде случаев отмечено положительное действие азотогена на урожай различных культур (пшеница, картофель, свекла, капуста и др.).

Так как азотобактер лучше развивается в нейтральной среде и плохо переносит кислую реакцию почвы, то на подзолистых почвах его деятельность может быть усилена при известковании. Это следует иметь в виду при применении азотогена. Точно так же для развития азотобактера имеет значение обеспеченность фосфатами (поэтому существуют даже методы учета фосфатного режима почв и потребности в известковании с помощью лабораторных опытов с азотобактером).

Правда, и известкование и внесение фосфатов должны активизировать развитие азотобактера, уже имеющегося в почве, но все же надо полагать, что и на действии препаратов, подобных азотогену, эти факторы должны соответствующим образом сказываться.

ФОСФОРНОКИСЛЫЕ УДОБРЕНИЯ

В то время как в случае азота мы имеем дело с элементом, в круговорот которого в земледелии вовлекается азот атмосферы, и потому возможно обогащение почвы за счет азота воздуха и без внесения удобрений, в случае фосфора имеет место односторонний процесс отчуждения его из почвы с урожаями, которому мы можем противодействовать только внесением удобрений.

Фосфорная кислота почвы происходит из тех горных пород, которые дали начало образованию данной почвы.

Большинство кристаллических горных пород пронизано игольчатыми кристаллами апатита и содержит 0,1—1% P_2O_5. При этом наиболее древние кристаллические горные породы (граниты, сиениты, гнейсы) сравнительно бедны фосфорной кислотой, тогда как породы вулканические (лавы, трахиты, базальты) содержат ее больше (0,5% P_2O_5 и выше).

В таких осадочных породах, как глины, пески, содержание фосфорной кислоты обычно бывает невысоким, особенно в песках (но даже в песках Сахары находят фосфорную кислоту в количестве 0,01%).

При выветривании горной породы фосфорная кислота в некоторой степени предохраняется от вымывания благодаря образованию малорастворимых соединений с Ca, Fe; поэтому бывают случаи, когда содержание P_2O_5 при выветривании относительно увеличивается (например, невыветрившийся известняк содержал в одном случае 0,07% P_2O_5, выветрившийся же—0,16%).

В зависимости от того, какие породы дали начало образованию тех или иных почв, содержание фосфорной кислоты в них может сильно различаться. Известны, например, своим плодородием почвы, развившиеся по склонам вулканов на лавах, богатых содержанием фосфора и калия. С другой стороны, почвы песчаные чаще всего бедны фосфорной кислотой.

Общее содержание P_2O_5 в почвах обычно выражается величинами от 0,05 до 0,1%. В верхних горизонтах почвы в большинстве случаев содержится больше P_2O_5, чем в более глубоких, что связано с деятельностью растений, которые своими корнями извлекают питательные вещества из более глубоких горизонтов и обогащают верхние перегноем (но иногда встречаются и отклонения от такого распределения фосфорной кислоты по почвенному профилю).

Вот два примера, характеризующих изменение в содержании общей фосфорной кислоты в почвах по горизонтам:

Чернозем		Подзолистая песчаная почва	
Глубина слоя (в сантиметрах)	P_2O_5 (в процентах)	Глубина слоя (в сантиметрах)	P_2O_5 (в процентах)
1—16	0,15	0—5	0,12
14—28	0,16	25—30	0,06
38—48	0,11	50—100	0,03
94—104	0,08	100—150	0,02

О том, какими величинами выражается общий запас фосфорной кислоты в пахотном горизонте почвы, можно судить по такому примерному сопоставлению:

Почвы	Содержание P_2O_5 (в процентах)	Валовой запас[1] P_2O_5 (в килограммах на 1 га)
Очень бедная почва	< 0,01	< 300
Бедная почва	0,01—0,05	300—1 500
Средняя »	0,05—0,10	1 500—3 000
Богатая »	0,10—0,20*	3 000—6 000

Общее содержание P_2O_5 в почве еще ничего не говорит о том, в какой мере обеспечено снабжение растений фосфорной кислотой. Выное фосфора урожаями часто составляет всего 30—40 кг P_2O_5 с гектара и редко (при высоких урожаях) превышает 100 кг P_2O_5 с гектара. Несмотря на это, даже на богатых почвах, содержащих в пахотном слое 1 га 5—6 т P_2O_5, внесение сравнительно невысоких доз фосфорнокислых удобрений (порядка 50—60 кг P_2O_5 на гектар) оказывает существенное влияние на урожай. Объясняется это тем, что из общего запаса фосфорной кислоты в почве лишь весьма небольшая часть ее находится в усвояемой для растений форме.

Фосфор в почвах входит в состав разнообразных соединений, различающихся по своей растворимости и усвояемости для растений. Если динамика азотистых соединений в почвах определяется в основном биологическими факторами и значительная часть азота в почвах закреплена в органических соединениях, то для фосфорной кислоты известны и различные минеральные соли, в виде которых она прочно связана в почве (помимо большого участия и биологических процессов). Поэтому превращения фосфора в почвах весьма разнообразны, и они связаны как с биологической деятельностью почвы, так и с протекающими в ней химическими и коллоидно-химическими реакциями; характер этих превращений в разных почвах бывает неодинаковым.

Минеральные соединения фосфора в почвах представлены различными солеобразными соединениями ортофосфорной кислоты. Как уже было сказано, в горных породах фосфор чаще всего встречается в виде апатита [например, фтор-апатита $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$].

В процессе выветривания минералов материнской породы происходит частичное образование растворимых солей фосфорной кислоты.

Хорошо растворимыми в воде солями фосфорной кислоты являются:

1) однозамещенные фосфаты кальция и магния—$Ca(H_2PO_4)_2$ и $Mg(H_2PO_4)_2$;

2) фосфорнокислые соли калия, натрия и аммония—KH_2PO_4, NaH_2PO_4, $NH_4H_2PO_4$, K_2HPO_4, Na_2HPO_4 и др.

В зависимости от реакции среды водорастворимые соли фосфорной кислоты могут быть представлены или преимущественно однозамещенными фосфатами (при более кислой реакции) или же смесью одно- и двухзамещенных фосфатов; соотношение между ними связано с реакцией среды—чем больше кислотность, тем большая часть водорастворимых фосфатов будет приходиться на долю однозамещенных солей[2]. Водорастворимые соли фосфорной кислоты присутствуют в почвах, как правило, в весьма незначительных количествах (по данным водных вытяжек—миллиграммы или даже доли миллиграмма на 1 кг почвы). Во-первых, водорастворимые фосфаты являются наиболее легко усвояемыми и для растений и для почвенных микроорганизмов и поэтому в первую очередь

[1] Для слоя 20—25 см, считая его вес равным 3 000 т на 1 га.

* Встречаются случаи и более высокого содержания общей P_2O_5 в почвах—до 0,5% или даже до 1%. Такое содержание фосфорной кислоты иногда бывает связано с примесью к почве фосфорита в местах выхода залежей на дневную поверхность. Так, В. И. Виноградов констатировал такой случай для одной из тургайских почв Казахской ССР.

[2] Свободная фосфорная кислота (H_3PO_4), как кислота достаточно сильная (первая константа диссоциации при 18° равна $1{,}1 \cdot 10^{-2}$), в почвах обычно отсутствует. Если бы она образовалась, то отняла бы основания от других более слабых кислот; исключением здесь могут являться только кислые торфа, лишенные минерального скелета.

подвергаются превращению в органические формы (биологическое поглощение по Гедройцу).

Во-вторых, накопления в почве водорастворимых фосфатов не может быть потому, что в почве происходит вторичное образование малорастворимых соединений фосфорной кислоты с кальцием, железом и алюминием (см. сказанное выше о процессах химического и физико-химического поглощения фосфорной кислоты, стр. 136—139).

На почвах, насыщенных основаниями, нейтральных и щелочных, фосфорная кислота связывается кальцием и магнием, образуя двухзамещенные и трехзамещенные фосфаты[1] кальция и магния [$CaHPO_4$, $MgHPO_4$, $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$]; на почвах же кислых образуются преимущественно соединения с железом и алюминием [средние соли—$FePO_4$, $AlPO_4$, основные соли типа $Fe_2(OH)_3PO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$ и т. п.; кроме того, имеет место поглощение фосфорной кислоты коллоидами, содержащими много Fe_2O_3 и Al_2O_3]. Растворимость и усвояемость для растений этих форм фосфорнокислых соединений почвы неодинаковы. Так, фосфаты кальция и магния, не только двухзамещенные ($CaHPO_4$, $MgHPO_4$), но и трехзамещенные [$Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$], постепенно растворяются в воде, содержащей углекислоту, и разлагаются кислотами гумуса; поэтому эта часть фосфорнокислых соединений почвы является более удобоусвояемой, чем фосфаты железа и глинозема. Однако среди последних также приходится различать относительно более усвояемый средний фосфат глинозема $AlPO_4$ от основного фосфата $Al_2(OH)_3PO_4$ и фосфатов железа $FePO_4$, $Fe_2(OH)_3PO_4$ и тому подобных соединений, образующих группу трудно усвояемых фосфатов. В том же направлении убывает и растворимость этих фосфатов в разведенных кислотах, например, в 0,002-*н* растворе H_2SO_4 (по Труогу). Сообразно этому доступность фосфорной кислоты почвы сильно зависит от того, преобладают ли в ее составе фосфаты кальция (нейтральные и слабокислые почвы) или фосфаты полуторных окислов, преобладающие в кислых почвах. Эти соотношения могут быть иллюстрированы схемой (рис. 25).

Рис. 25. Связывание фосфорной кислоты кальцием, железом и алюминием в разных почвах (схема).

Почвы, богатые полуторными окислами (например, красноземы субтропиков), не только трудно отдают растениям фосфорную кислоту, которая содержится в почвах, но в них может происходить переход в трудно растворимые соединения и той растворимой фосфорной кислоты, которая вносится с удобрениями.

Так, по данным одного американского исследователя, из 100 частей P_2O_5, внесенных в виде $Ca(H_2PO_4)_2$, были закреплены в разной форме следующие количества в зависимости от почвенной разности (в процентах):

Почва	В виде фосфатов Ca (легко усвояемая P_2O_5)	В виде фосфатов R_2O_3		Растворимость в 0,002-*н* растворе H_2SO_4
		средней усвояемости	трудной усвояемости	
Нейтральный суглинок	83,5	7,5	9,0	85,5
Кислый суглинок	52,0	26,7	21,3	68,7
Латерит а	2,0	27,0	71,0	19,5
Латерит б	0,0	не опред.	не опред.	8,7

[1] Возможно даже и вторичное образование соединений типа апатита, например, гидроксиапатита $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$.

В некоторых почвах, особенно в таких, которые содержат много R_2O_3 (латериты, красноземы), связывание фосфорной кислоты сопровождается значительным понижением доступности фосфора растениям[1], что может быть иллюстрировано, например, следующим опытом, проведенным в нашей лаборатории. Овес выращивался в песчаных культурах на смеси Гельригеля при дозе P_2O_5 в одну четверть от полной нормы. К песку добавлялось возрастающее количество той или иной почвы (75, 150 и 300 г на сосуд).

Урожаи овса в этом опыте оказались следующими (в граммах на сосуд общей массы):

Почвы	К нормальной смеси добавлено почвы (на сосуд)		
	75 г	150 г	300 г
Сумский чернозем	35	36	37
Подзолистая почва Московской области	36	32	29
Батумский краснозем	23	14	8

Первое место по силе связывания фосфора отчетливо занимает краснозем (здесь увеличение количества почвы сильно снижало урожай), затем идет подзолистая почва, тогда как для взятого образца чернозема в условиях опыта вовсе не наблюдалось снижения урожая при внесении возрастающих количеств почвы.

Кроме минеральных соединений, почвы содержат еще фосфор в *органическом веществе*. В первую очередь здесь нужно иметь в виду те соединения фосфора, в виде которых он попадает в почву *вместе с растительными остатками* и которые могут синтезироваться в *телах микроорганизмов*. Роль этого второго процесса хорошо видна уже из того обстоятельства, что тела бактерий содержат много фосфора.

В растениях фосфор содержится только в окисленной форме; в частности, нуклеиновые кислоты, фитин, лецитин и другие фосфатиды являются производными фосфорной кислоты. Поэтому надо предполагать, что и в органическом веществе почвы фосфор находится главным образом в виде окисленных соединений[2].

Во всяком случае иногда достаточно действия не очень сильных агентов (например, нагревание почвы до 150—160°), чтобы обнаружить отщепление фосфорной кислоты. Так, например, в опытах Я. П. Королева, проведенных с уфимским черноземом в лаборатории

[1] Рядом исследований было установлено (Тюлин в СССР, Джайл в США и др.), что снижение усвояемости фосфорной кислоты для растений под влиянием поглощения ее почвами находится в зависимости от степени насыщенности почвы фосфат-ионами. По Тюлину, для почв, сильно связывающих P_2O_5, существует некоторая *критическая степень насыщенности* почвы фосфат-ионами; если содержание поглощенной фосфорной кислоты ниже этой критической степени насыщенности, то она мало доступна для растений. Для разных почв содержание поглощенной P_2O_5, отвечающее этой критической степени насыщенности, неодинаково, она выше у почв с высоким содержанием $Al_2O_3+Fe_2O_3$. Повышение степени насыщенности, а следовательно, и усвояемости для растений поглощенной P_2O_5 может быть достигнуто, с одной стороны, увеличением дозы вносимых в почву фосфатов, а с другой стороны, частым внесением удобрений с тем, чтобы они приходили во взаимодействие с меньшим объемом почвы.

Заметим, что усвояемость поглощенной почвами фосфорной кислоты неодинакова для разных растений, поэтому и критическая степень насыщенности зависит не только от свойств почвы, но и от того, какое растение имеется в виду. Так, в опытах, проведенных в нашей лаборатории, была обнаружена более высокая способность использовать поглощенную краснземом P_2O_5 у гречихи, люпина, овса и кукурузы и меньшая у ячменя, льна и горчицы. Этот порядок растений несколько отличается от того, в котором растения распределялись по способности усваивать фосфор фосфорита (см. сказанное на стр. 103, а также ниже стр. 319—324).

[2] В специальных случаях, несомненно, возможны и процессы восстановления фосфора, приводящие, например, на болотах к выделению фосфористого водорода, образующего «болотные огни».

под. Н. Я. Демьянова, в зависимости от подготовки почвы, переходило в солянокислую вытяжку следующее количество P_2O_5 (в процентах от веса почвы):

	0,5% HCl	12% HCl
Первоначальная почва	0,034	0,082
После 3 часов нагревания с паром (при 3 атм.)	0,109	0,150
Через 6 часов нагревания	0,120	0,172

Различным исследователям удалось доказать наличие в почве продуктов разложения лецитина, фитина и выделить из органического вещества почвы нуклеиновую кислоту. Очевидно, нуклеопротеиды, фитин, фосфатиды и, в частности, лецитин должны рассматриваться как исходные соединения, в виде которых поступает в почву фосфор, связанный с органическим веществом.

Раньше допускалось, что фосфорная кислота может удерживаться органическим веществом почвы в адсорбированном состоянии, однако, судя по последним работам, этот путь связывания P_2O_5 в почве вряд ли имеет значение.

Количество фосфора в органических соединениях в различных почвах бывает неодинаковым; в отдельных случаях оно оказывается, повидимому, весьма значительным.

Недавние опыты Душечкина и Городисского[1] с окислением органического вещества почвы перекисью водорода (для учета количества органического фосфора) показывают, что в черноземах около 60% всего фосфора может находиться в виде органических соединений и даже в суглинках оно превышает 20%. Возможно, что эти цифры нуждаются в дальнейших уточнениях, но все же они указывают на большое значение этой группы соединений фосфора.

Непосредственно (до разложения органического вещества) этот фосфор растениями почти не используется[2].

Вместе с разложением органического вещества почвы известная часть фосфора отщепляется в виде солей фосфорной кислоты и (за вычетом вновь связываемой микроорганизмами) делается усвояемой для растений. Однако процесс этот достаточно медленный и не обеспечивает обычно потребностей растений в фосфорной кислоте.

Все сказанное до сих пор объясняет причины сравнительно низкой подвижности почвенного фосфора и невысокого коэфициента использования фосфатных удобрений растениями.

Потребность в удобрении фосфором зависит не только от почвы и от рода культуры, но еще и от дальнейшей судьбы урожая; круговорот веществ в хозяйстве может сложиться разно, смотря по тому, как используется урожай. Различие в потреблении фосфорной кислоты разными культурами видно из следующего сопоставления:

Культуры	Урожай на гектар	Примерный вынос P_2O_5* (в килограммах с 1 га)
Зерновые хлеба	10—15 ц зерна	15—20
	25—30 » »	30—40
Картофель	200—250 ц клубней	40—50
	300—350 » »	60—70
Сахарная свекла	200—250 » корней	25—40
	400—500 » »	55—80
	600—700 » »	85—120
Хлопчатник	15—20 » сырца	30—40
	30—40 » »	50—70
	50—60 » »	80—90
	90—100 » »	120—130
Лен	20—30 » соломы	15—20
	40—60 » »	30—40
Клевер, люцерна	50—60 » сена	30—40

[1] «Труды Научно-исследовательского института агропочвоведения и химизации сельского хозяйства», Киев, т. I, 1936 г., стр. 4—14.

[2] Вопрос о доступности растениям фосфора органических соединений изучался неоднократно. Опыты И. С. Шулова (в стерильных культурах), проведенные в нашей лаборатории, впервые показали, что горох способен использовать фосфорную кислоту фитина (но не лецитина).

* Здесь показано примерное общее содержание P_2O_5 в урожае, т. е. в зерне и в соответствующем количестве соломы для зерновых, в клубнях и ботве картофеля и т. д.

Но так как не все части растения отчуждаются из хозяйства, а, например, солома через навоз возвращается в почву, то необходимо считаться с разным распределением фосфора по органам растения (примерное содержание P_2O_5 в процентах):

	Зерно	Солома			
Хлеба	0,7—0,8	0,2	Корнеплоды	корни	0,10—0,15
Зерновые бобовые	1,1—1,5	0,4		листья	0,10
Масличные	1,0—1,5	0,1—0,4	Сено (злаки)		0,3
			То же (бобовые)		0,5—0,6

Отсюда видно, что при культуре хлебов с отчуждаемым зерном уходит много фосфорной кислоты, солома же, идущая в навоз, беднее ею, чем зерно. Таким образом, в зерновом хозяйстве (даже при полном и правильном использовании навоза, но без внесения минеральных удобрений) должно все же происходить постепенное обеднение почвы фосфором (кроме исключительных случаев изобилия лугов; тогда почва полей получает фосфор за счет почвы лугов).

Этот дефицитный характер круговорота фосфора в зерновом хозяйстве был верно подмечен Либихом, который указал, что навоз, как бы тщательно за ним ни ухаживали и регулярно им ни удобряли поля, не может вернуть почве того, чего он сам не содержит, т. е. фосфора зерна, отчуждаемого из хозяйства. Поэтому Либих и предложил применять фосфаты, которые должны исправить односторонний состав навоза (навоз содержит в 2—2½ раза меньше фосфора, чем азота и калия). Правильность указания Либиха впоследствии была подтверждена и мировым опытом, поскольку фосфаты по размерам потребления заняли отчетливо выраженное первое место среди всех других удобрений[1].

Раньше же, до Либиха, существенным мероприятием для поднятия урожаев было лишь введение посевов клевера, которое повышало количество азота в почве и навозе, но дефицит по фосфору этим еще только более подчеркивался, так как урожай соломы возрастал в большей мере, чем урожай зерна.

Сказанное хорошо иллюстрируется следующим примером из прошлого, относящимся к западно-европейской практике. Хозяйство Крузиуса (в Германии) не покупало фосфорнокислых удобрений со стороны, применяя исключительно навозное удобрение (фосфор отчуждался лишь в молоке, мясе, зерне и других продажных продуктах). Расчет был сделан с 1820 по 1860 г., причем в хозяйстве велись точные записи урожая зерна и соломы, вносимого навоза и отчуждаемых продуктов (площадь лугов составляла около 15% от площади пашни).

Годы	Общий урожай (в пудах)	Умолот со 100 пудов (в гектолитрах)	Годы	Общий урожай (в пудах)	Умолот со 100 пудов (в гектолитрах)
1825—1830	4 250	91,4	1845—1850	8 417	86,4
1830—1835	5 379	93,5	1850—1855	7 082	66,4
1835—1840	5 363	84,7			
1840—1845	6 857	77,0	1855—1860	7 881	68,9

Таким образом, при общем росте урожаев умолот падал, т. е. урожаи соломы возрастали в большей мере, чем урожаи зерна. Когда учли по среднему

[1] Промышленные удобрения, содержащие фосфор, применяются в сельском хозяйстве в наибольшем количестве по сравнению с другими удобрениями. Так, например, за последнее полустолетие доля фосфатов в мировом потреблении составляла от 50 до 60% от общей суммы удобрений, а на азот и калий приходилось по 20—25%.

Для СССР (в бывш. России) это положение подтверждается следующими цифрами, показывающими производство промышленных удобрений (в тысячах тонн):

	Азотистые	Фосфатные [первая цифра — суперфосфат (18%), вторая цифра — фосфоритная мука]	Калийные (41% калийная соль)
В 1913 г.	15,1	135,8+7,9	—
» 1938 г.	705,8	1 593,2+605,9	311,4

Таким образом, у нас, как и в других странах, потребление фосфатов доминирует над потреблением всех других видов удобрений.

Кроме отмеченных Либихом особенностей круговорота фосфора в сельском хозяйстве, приводящих к систематическому обеднению культурных почв фосфором, если он не вносится со стороны в виде удобрений, это обстоятельство объясняется:

1) относительной бедностью многих почв усвояемым фосфором;

2) особенностями взаимодействия фосфатов с почвой, определяющими часто невысокий коэфициент использования внесенных фосфатов.

составу отчуждаемых продуктов и навоза приход и расход P_2O_5, то оказалось, что за последние 15 лет (1845—1860) было взято из почвы полей 985 ц P_2O_5, а внесено лишь 408, т. е. без внесения фосфатных удобрений почва постепенно обеднялась в отношении фосфора.

Отметим здесь же, что хотя азот отчуждался в зерне в еще больших количествах, чем фосфор, но так как в севообороте был клевер, то не азот, а фосфор оказался в положении минимального фактора.

В соответствии с вышесказанным о содержании фосфора в почвах и об особенностях круговорота фосфора в сельском хозяйстве мы наблюдаем, что потребность в фосфоре является общей для большей части почв СССР как подзолистой, так и черноземной полосы, для сероземов Средней Азии и латеритных почв влажных субтропиков, в то время как потребность в азоте и калии для различных почв может быть весьма неодинаковой.

Если азот, как правило, должен вноситься вместе с фосфором (а калий — с фосфором и азотом), то фосфор в большом числе случаев может оказывать значительное действие даже без внесения азота в минеральных удобрениях.

Так, если на черноземных почвах мы имеем чистые пары с большим накоплением нитратов, то внесение одного фосфора под озимь часто дает хороший эффект. Подобное же явление наблюдается и в нечерноземной полосе: если почва раньше получала навоз и особенно на полях, обогащенных азотом, благодаря культуре клевера, фосфор действует и без внесения азота (но при клевере часто нужен еще и калий). Но так как эти источники азота недостаточны, то в ряде случаев (особенно для технических культур) нужно одновременно с фосфором вносить и азот.

Поэтому когда представители промышленности спрашивают агрономов, каким же отношением фосфора к азоту должны они руководиться при выполнении заказов сельского хозяйства на минеральные удобрения, ответ должен быть приблизительно таков: такого постоянного отношения не может быть, так как продукция фосфора должна слагаться из двух частей, в одной из которых отношение фосфора к азоту равно 1 : 0 (сюда относится вышеотмеченная категория случаев), в другой же это будет приблизительно отношение 1 : 1, поскольку азотистые удобрения обычно применяются вместе с фосфатными. Поэтому общее отношение фосфора к азоту в промышленности будет меняться в зависимости от степени развития азотной промышленности, но всегда от промышленности будет требоваться больше фосфора, чем азота и калия.

Для пополнения недостатка фосфора[1] пользуются разными источниками.

1. Основным сырьем для производства промышленных фосфатных удобрений являются фосфориты и апатиты.

2. Весьма существенное значение имеет также отход металлургической промышленности — томасов шлак.

3. Ценным, но ограниченным по размерам, источником фосфора являются кости животных.

Только по первому роду сырья возможно для туковой промышленности независимое планирование добычи, количество же шлака и костей определяется теми видами производства, при которых получаются эти продукты в качестве побочных.

ФОСФОРИТЫ

Происхождение фосфоритов часто непосредственно связано с жизнью организмов в прежние геологические периоды, что отчасти видно уже по тем названиям, которые носят отдельные их разновидности, как-то: остеолиты, копролиты и т. п.

[1] Помимо навоза, золы и других местных удобрений, получаемых в хозяйствах.

Такие фосфориты имеют вид шаров или неправильной формы желваков и встречаются в осадочных породах в отличие от апатитов, встречающихся в изверженных породах.

Но и в осадочных породах встречаются фосфориты минерального происхождения, залегающие сплошной массой (пластовые фосфориты). Полагают, что они могут выделяться из морской воды, если холодные, богатые углекислотой и P_2O_5 массы течением переносятся в более теплые зоны и теряют углекислоту. Далее, мыслимы случаи, когда раствор, содержащий P_2O_5, циркулируя свободно в породах, бедных известью, встречает затем известняк и вызывает постепенное «фосфатизированье его».

Как частный случай встречается выделение фосфорнокислой и углекислой извести из воды горячих источников, выходящих из недр земли под большим давлением и на поверхности теряющих углекислоту. Совсем иного типа случай представляет переход от органических отложений к минеральным—от гуано к фосфоритам, если гуано отлагается в климате недостаточно сухом и выпадающие по временам осадки вызывают постепенное разложение органического вещества и потери азота (в виде аммиака), в то время как фосфорнокислая известь остается на месте.

Для выяснения происхождения фосфоритов весьма важны случаи, в которых констатирован рост таких образований в настоящее время. Так, экспедиция для исследования жизни морских глубин обнаружила, например, к югу от мыса Доброй Надежды нахождение на поверхности или в среднем слое морского дна округлых конкреций от 1 до 3 см (и более) диаметром, в которых зерна кварца, глауконита и других чисто минеральных веществ вместе с известковыми остатками скелетов низших животных (фораминифер) склеены фосфатом кальция в одно целое, причем фосфат этот проникает в полости отдельных образований, замещая собой $CaCO_3$. Очевидно, эти конкреции захвачены в период их незаконченного еще роста, причем нужно предположить окружающий раствор обогащенным фосфорной кислотой и известью; в данном случае это осуществлено благодаря отмиранию многих форм при встрече теплого морского течения с холодным; опускаясь на дно, они образуют там скопление разлагающегося органического вещества, содержащего фосфор и кальций.

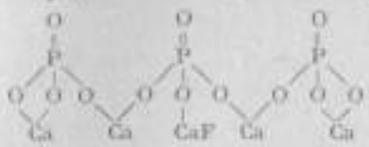
Близ Ньюфаундленда, где северное течение, несущее ледяные горы, встречается с южным, было обнаружено такое «морское кладбище», в котором слой погибших организмов (рыб, моллюсков, медуз, голотурий и пр.) достигал толщины в 1,5 м. Фосфат костей и раковин растворяется в воде, насыщенной углекислотой, образующейся при разложении органического вещества. Затем в мягком иле, пропитанном раствором фосфорнокислой извести, закладываются центры кристаллизации желваков, состоящих преимущественно из фосфата кальция, тогда получаются высокопроцентные конкреции; или же фосфат (выделяемый из раствора фосфорнокислого кальция благодаря убыли углекислоты, вследствие диффузии) только цементирует случайные примеси: песок и пр.; тогда получаются фосфаты с меньшим содержанием P_2O_5, чем в случае роста конкреции из более или менее чистого фосфата кальция в мягком иле морского дна.

Впоследствии ил, уплотняясь, дает глинистые сланцы, со включенными в них конкрециями фосфоритов.

Состав фосфоритов, вообще говоря, очень сложен. Они содержат не только фосфаты, но и разнообразные сопутствующие минералы; при этом чем выше количество последних, тем ниже качество фосфорита (меньше процент P_2O_5). Являясь результатом биологических процессов, фосфориты содержат органическое вещество (0,5—1% C) и остатки фауны (радиолярии, диатомовые водоросли, кораллы и др.), а также иногда кости и зубы рыб и рептилий, окаменевшую древесину и т. д.

Обычно говорят, что фосфорная кислота в фосфоритах находится в виде трехкальциевого фосфата; но в действительности мы имеем дело не просто

с $Ca_3(PO_4)_2$, а с более сложным образованием, именно с апатитовым ядром, строение которого можно представить следующим образом:



$CaCO_3$ также является составной частью фосфорита, однако его содержание оказывается неодинаковым в фосфоритах различного происхождения.

Из других минералов чаще всего в фосфоритах присутствуют: кварц, глауконит ($K_2O \cdot 4R_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot nH_2O$), отчасти полевые шпаты, слюды, роговая обманка, бурый железняк и др.

Существуют попытки классифицировать фосфориты по их сложению и возрасту, которые находятся во взаимной связи: чем старше геологический возраст фосфорита, тем больше приближается он к кристаллическим фосфатам (апатиту), и наоборот.

Густавсон делил фосфориты на три группы, предлагая относить к первой группе кристаллическую фосфорнокислую известь—апатит, состоящий из 92—95% фосфорнокислой извести, остальное—фтористый или хлористый кальций. Эта группа имеет ясно выраженную кристаллическую форму (гексагональные призмы).

Вторая группа фосфоритов имеет только кристаллическое сложение, но не внешнюю форму; сюда принадлежат наши подольские кругляки и др.; в них до 55—80% фосфорнокислой извести и остальное—главным образом углекислая известь, но CaF_2 также встречается в количестве, иногда доходящем до 6%.

К третьей группе по этому делению принадлежат аморфные фосфориты. Их залежи особенно распространены в СССР. В них —от 20 до 60% фосфорнокислой извести, остальное—кварц, углекислая известь, глина и др. Они всегда сравнительно беднее фосфорной кислотой, чем фосфориты двух предыдущих групп, но легче (хотя все же очень слабо) поддаются действию таких растворителей, как вода с углекислотой. Нужно, однако, заметить, что в этих аморфных образованиях в известных случаях обнаружены кристаллические свойства того цемента (фосфата), который склеивает частицы песка, глины и пр. в одно целое, называемое фосфоритом; также и содержание фтора им не чуждо.

Энгельгардт делил аморфные фосфориты на три подгруппы:

1) *кварцево-песчаные* фосфориты встречаются в песчаниках меловой системы, например, в Орловской, Курской, Воронежской областях;

2) фосфориты *глинистые* (глинистые, без песка), более богатые P_2O_5, встречаются в юрских слоях (например, костромские фосфориты);

3) фосфориты *глауконитовые*, содержащие, кроме фосфорной кислоты, еще и калий; они встречаются в Рязанской, Московской областях, Чувашской АССР и т. д.; залегают на границе юрской и меловой систем, отличаются рыхлостью.

Залежи фосфоритов широко распространены в СССР. Часть из них была известна еще в прошлом столетии. К ним относятся прежде всего *подольские фосфориты* (бассейн реки Днестра), давно обратившие на себя внимание геологов как характерные по своей форме и сложению ископаемые; первый анализ их, произведенный в Горном институте, относится к сороковым годам XIX века.

С точки зрения промышленной подольские фосфориты сначала заинтересовались наши соседи (Австрия). В 1870 г. были командированы из Вены специалисты для изучения русских залежей и Поволжья; они признали их очень важными. Вскоре потом были поставлены такие первые мельницы для переработки этих фосфоритов в муку для местного применения, но их эксплоатация в целях употребления фосфорита как тукового продолжалась недолго; ценных результатов не получилось (теперь известно, что их и не следовало ожидать по характеру местных почв). В скором времени начали разрабатывать эти залежи преимущественно

для отправки этого высокопроцентного материала за границу, где он перерабатывался в суперфосфат.

Фосфориты в Подолии встречаются в виде различной величины шаров, причем поверхность их бывает или бугристой или же они имеют форму окатанных шаров; внутреннее строение шаров с расходящимися кристаллическими лучами напоминает сферокристаллы. Различают два рода залежей этих фосфоритов: первичные залежи находятся в силурийских слоях, причем шары являются неправильными порошь, поверхность их бугриста; во вторичных же отложениях окатанные шары встречаются сплошными скоплениями в пластах меловой системы. Происхождение последних легко объяснить, если допустить, что первичные залежи фосфоритов были размыты и воды рек меловой эпохи, перенося с места на место эти конки, окатали их благодаря трению о дно и отложили группами на новых местах; именно эти вторичные отложения и интересны для разработки.

По химическому составу своему фосфориты эти при значительных колебаниях в количестве фосфорной кислоты отличаются в общем довольно высоким ее содержанием, а именно до 33,5% и даже 38,38%, что соответствует 73,7% и до 86,66% трехосновной фосфорнокислой извести. Кроме главной составной части, встречаются еще углекислая известь, окислы железа и глинозема, количество которых сравнительно невелико, фтористый кальций и др.

Благодаря высокому содержанию фосфорной кислоты и отсутствию большого количества нежелательных примесей (соединений железа и глинозема, избытка $CaCO_3$) подольский фосфорит является хорошим материалом для приготовления простого суперфосфата. Но проведенные позднее исследования показали, что запасы подольских фосфоритов слишком малы и поэтому общегосударственного значения не имеют.

Позднее подольских залежей фосфоритов начали эксплоатировать другие залежи, хотя изучены они были одновременно, а частью и ранее подольских.

В 1866 г. Энгельгардт обследовал залежи фосфоритов в бывш. губерниях Орловской, Курской, Воронежской. Статьи Энгельгардта и Ермолова возбудили всеобщий интерес к этому вопросу; фосфориты начали искать в различных местах и обнаружили широкое их распространение.

К тому времени относятся и первые попытки применения фосфоритной муки; начали открываться заводы для переработки фосфорита. Первым был организован завод около Курска, одновременно возник завод в Риге.

Но практических последствий ни опыты применения фосфоритов, ни статьи Энгельгардта и Ермолова тогда не принесли, и почти все заводы должны были прекратить свою деятельность за недостатком спроса (Рижский завод перешел на приготовление суперфосфата из иностранного сырья). Причина неудач лежала в незнании того, что только почвы, не насыщенные основаниями, могут реагировать на внесение фосфоритной муки. Почти двадцать лет спустя Энгельгардт, будучи отрешен от кафедры и административно выслан в Батищево (Смоленской области), снова обратил внимание на фосфориты. Экскурсируя по окрестностям Батищева, он открыл залежи в Рославльском районе, и в 1885 г. ему удалось получить первые 16 п. размолотого фосфорита; впервые полевые опыты дали рельефные результаты, и Энгельгардту удалось выявить положительное значение фосфоритов для северных подзолистых почв и пробудить к ним уже более прочный интерес.

Курский самород (или плита) представляет собой «песчаник, состоящий из кварцевого песка, связанного цементом, имеющим состав окаменелых костей (рыб и ящеров), находимых в той же формации»[1]. Встречается он в Курской области в значительных количествах и употребляется населением для мощения шоссе, улиц и для бута. Самород представляет собой породу, которая встречается повсеместно на северной границе мелового бассейна; кроме плиты, встречаются желваки разного цвета и размеров. Помимо Курской области, залежи подобных фосфоритов находятся также в Тамбовской, Воронежской, Орловской и Смоленской областях. Многочисленные анализы курского самородка показывают, что он содержит гораздо меньше фосфорной кислоты, нежели фосфориты подольские,—от 14 до 17—20%; остальное составляет кварцевый песок, отчасти углекислый кальций и др. Для приготовления простого суперфосфата эти фосфориты не идут, но годятся для применения в виде фосфоритной муки на почвах, не насыщенных основаниями. В настоящее время работают крупные

[1] Энгельгардт, 1867 г.

размольные заводы: Щигровский, Дмитровский, и ряд мелких кооперативных заводов.

Вскоре после курских были открыты залежи фосфоритов в Рязанской области. Они известны были там еще с шестидесятых годов прошлого столетия, но их стали разрабатывать лишь с восьмидесятых годов, после того, как они были исследованы в лаборатории Петровской академии. Оказалось, что рязанский фосфорит относится к группе глауконитовых фосфоритов и содержит такое калий от 1 до 4% в пересчете на K_2O (в глауконите содержание калия достигает 8%, но усвояемость его неполная). Залегают глауконитовые фосфориты главным образом над юрскими слоями в зеленых песках и песчаниках, иногда переполненных остатками раковин.

Прежде лучшими после подольских считались *костромские* (нижнемеские) фосфориты, встречающиеся близ грани юрской и меловой систем, как наиболее богатые фосфорной кислотой из всех среднерусских фосфоритов (26—28% P_2O_5). Это уже не кварцевые, а глинистые фосфориты; встречаются в виде плотных желваков или неправильных стяжений темного цвета. Раньше они шли на удобрение в виде фосфоритной муки, но затем оказалось, что высокопроцентный материал представляют лишь окатанные водой желваки, которые собирались по берегам рек.

Когда же попробовали перейти к промышленной добыче штольнями, то встретились с сильной цементацией фосфоритоносного слоя и с трудностью очистки желваков от загрязняющего их цемента. Поэтому эти залежи теперь не доставляют сырья для суперфосфатного производства, на что надеялись раньше на основании анализа желваков, вымытых реками.

Вятские (слободские) фосфориты также залегают в самых нижних слоях меловой системы; они содержат 28% (и более) фосфорной кислоты и представляют песчано-глинистую породу (с участием глауконита), сцементированную фосфатом извести (а также $CaCO_3$). Исследованы были эти залежи в 1888 г., а в 1891 г. вятское земство начало их разрабатывать; относительно высокое содержание фосфорной кислоты также делает их интересными с точки зрения суперфосфатного производства.

Кроме названных месторождений, были известны и другие, но до систематического геологического обследования трудно было судить о значении многих из них; нередко, например, вторичные скопления по берегам рек принимались за выходы первичных фосфоритоносных пластов, и потому относительно них делались преувеличенные заключения; в других случаях имела место недооценка имеющихся на деле запасов, так как залежи описывали не геологи (таковыми не были также Энгельгардт и Ермолов).

Начало систематических обследований фосфоритов как со стороны геологической, так и с точки зрения их химической переработки и оценки с помощью вегетационного метода было положено с 1908 г. особой комиссией при Петровской академии с привлечением ряда сотрудников при ближайшем руководстве профессоров Самойлова (геологическая часть) и Прянишникова (химическая переработка и вегетационное испытание вновь обнаруженных фосфоритов). Со стороны геологической, работы экспедиции проф. Самойлова не только уяснили точнее размеры и значение прежних залежей, но сверх того открыт был ряд новых месторождений.

Уже в пределах того, что было обнаружено работами этих экспедиций, общий запас фосфоритов в европейской части СССР оказался громадным (свыше 5 млрд. т), но состоящим из весьма разнокачественного материала; с точки зрения заводской переработки наиболее интересны высокопроцентные фосфориты с содержанием выше 24% P_2O_5; таковых у нас относительно немного (об апатитах будет говориться отдельно), *главная же масса представлена низкопроцентными фосфоритами*, которые интересны с точки зрения применения в виде простого размола (фосфоритной муки), поскольку почвенные условия это допускают (а также как сырье для более сложной переработки).

Вкратце итоги этих исследований могут быть выражены следующей таблицей для геологических запасов (независимо от промышленного значения в данный момент):

Виды фосфоритов по процентному содержанию P_2O_5	В миллионах тонн	Процент от общего запаса
Фосфораты с 24% P_2O_5 и выше . . .	141	2,5
» с 18—24% P_2O_5	1 708	30,6
» с 12—18% P_2O_5	3 720	66,9

Таким образом, наиболее ценные фосфориты первой группы представлены относительно слабо, но абсолютный запас их все же велик, а низкопроцентных—громаден[1].

Самым важным месторождением первого типа оказалось Верхнекамское (вятские фосфориты); здесь фосфоритный слой залегает толщиной 0,6—0,8 м, причем желваки фосфорита лежат в рыхлой, несцементированной породе, залегают не глубоко, так что во многих случаях возможна разработка с поверхности (в траншеях, без шахт и штолен); продуктивность слоя—около 600 кг на 1 м², содержание P_2O_5—около 26% (при 4,5—5% полуторных окислов и 5% CO_2).

Общая площадь месторождения—около 2 000 км², суммарный запас определяется в 1 млрд. т (Казаков). Эти залежи подобны южноуральским залежам Северной Америки, но залегают в глухой местности, поэтому здесь построена железнодорожная ветвь (ст. Фосфориты—Яр), соединяющая залежи с магистралью Киров—Молотов; более дешевым водным путем эти залежи могут снабжать фосфоритами заводы, расположенные по Каме, Волге и их притокам.

Не столь высокопроцентными являются московские фосфориты (21—25% P_2O_5), но благодаря близости к промышленным центрам они привлекают внимание; далее обнаружены залежи подобного типа в Боровском районе (Калуга), значителен Ульяновский фосфоритный район, Саратовский район, Кролевецкая фосфоритная линза (Черниговская область); Уральское месторождение (к северу от Свердловска) выделяется высоким содержанием P_2O_5, напоминающим подольские фосфориты (32—36% P_2O_5), но запасы еще подлежат выяснению. Для низкопроцентных залежей тоже констатировано значительно большее распространение, чем учитывалось раньше; помимо уточнения контуров сплошной ленты, захватывающей Смоленскую область (Сещенский район добычи), район Калуги, Орловскую, Курскую, Воронежскую области, той же экспедицией были открыты и другие залежи, например, на восточном берегу Каспийского моря, на Мангышлакском полуострове.

С 1919 г. систематические работы по исследованию фосфоритов стали вестись горно-геологическим отделом НИУ (сначала также под руководством Самойлова, затем Казакова), при этом, помимо общего учета, геологами производятся также горно-техническое обследование и определение непосредственно пригодных для промышленного использования запасов.

Отметим из результатов этого периода работ следующие.

В центральных областях европейской части РСФСР важнейшее значение принадлежит фосфоритам *Московской области* (Егорьевское месторождение). Егорьевские фосфориты были впервые обнаружены еще в конце прошлого столетия, но серьезное изучение их началось лишь после революции (с 1922—1923 гг.). Фосфориты представлены здесь двумя горизонтами (ярусами)—московским и рязанским, из которых первый дает относительно более богатый материал для химической переработки, второй же—более низкопроцентный и содержащий много полуторных окислов—пригоден для применения в виде фосфоритной муки на кислых почвах. Продуктивность верхнего слоя—от 300 до 1 000 кг/м², для нижнего—200—350 кг/м². Общая площадь месторождения—около 950 км². На базе егорьевских фосфоритов (добыча которых

[1] Современный подсчет см. на стр. 294.

доведена до 0,5 млн. т в год) построен очень крупный Воскресенский химический комбинат.

В *Ивановской области*, кроме ранее отмеченных кинешемских залежей, обнаружен Макарьевский район (бассейн рек Унжи и Неи), менее богатый P_2O_5 (15—21%), но более удобный для добычи и размола на фосфоритную муку.

В *западной части РСФСР*, кроме прежде известных смоленских фосфоритов (Сещенской группы), разведанными являются более значительные запасы Жиздры, Подбужья, Полпина, Сожи и других групп; эти разведочные работы дали основу для размещения ряда крупных размольных заводов, как Полпино (№ 1 и № 2), Бычки, Сеща (сюда же относится Кричев в Белоруссии, где перерабатываются фосфориты р. Сожа). В среднем, фосфоритная мука этих месторождений содержит 16—17% P_2O_5.

В *Курской* и *Тамбовской* областях более разведанными являются Курская, Щигровская, Дмитровская и Моршанская группы; об общем значении и составе этих фосфоритов говорилось выше.

В *УССР* фосфориты представлены подольскими залежами, о высоком качестве которых говорилось выше, но которые с количественной стороны не оправдали возлагавшихся на них надежд; затем имеются кролевецкие фосфораты (18% P_2O_5) и фосфориты Донбасса подобного же достоинства (Изюм, Камышеваха).

Из других месторождений фосфоритов в европейской части СССР, помимо *вятско-камских* залежей, об исследовании которых было сказано выше, следует указать на фосфориты Чувашской АССР, Куйбышевской, Чкаловской и Саратовской областей.

Чувашские фосфориты, аналогичные верхнекамским и кинешемским, занимают площадь около 600 км². В северных и западных частях (Вурварская группа и др.) фосфориты высокопроцентны (24—25% P_2O_5), к юго-востоку происходит переход от сланцевых глинистых к глауконито-песчаным фосфоритам, с постепенным снижением содержания P_2O_5 до 16—18%.

В *Саратовской области* имеются эксплоатируемые саратовские залежи, а затем обнаружены «пластовые» фосфориты нового типа, первые находки которых обнаружены в Вольске, а затем в долине р. Хопра. Хоперские фосфориты по внешнему виду похожи на мел или мягкий известняк, имеют светлосерый (иногда белый) цвет, высокопроцентны (25—30% P_2O_5), легко размалываются, не содержат ни кварца, ни глауконита; запасы их подлежат выяснению.

В *Куйбышевской области* наиболее мощные залежи фосфоритов обнаружены в районе Сызрань—Батраки. Ряд месторождений фосфоритов находится в Чкаловской области и смежных с ней районах Казахской ССР (Уральская и Соль-Илецкая группы). Пути технологического использования этих фосфоритов еще не установлены (часть фосфоритов сопровождается соединениями железа и мергелем).

В *Казахской ССР* поисковыми работами НИУ были открыты актюбинские фосфориты, которые характеризуются весьма неглубоким залеганием и легкостью добычи и обогащения и большими размерами запаса (около 400 млн. т); содержание P_2O_5 составляет 18%. На базе этих фосфоритов (залегающих вдоль магистрали Чкалов—Ташкент) построен преципитатный завод, пуск которого состоялся в 1933 г. Эти залежи до последнего времени казались единственным крупным источником фосфатов, расположенным недалеко от районов хлопковой культуры в средне-азиатских республиках.

Но 1937 год привес в этом отношении большие изменения, имеющие исключительно большое значение. В Южно-Казахстанской области (Сюзакский, Сары-Суйский и Таласский районы) в горах Кара-Тау были открыты залежи фосфорита необычного типа с содержанием P_2O_5 до 33%.

Ближайшее исследование этих залежей, проводившееся геологами НИУИФ, показало, что хребет Кара-Тау, тянущийся от станции Туркестан Ташкентской жел. дор. к востоку, почти до г. Джамбул (бывш. Аулие-Ата, Турксиб), вклю-

чает на протяжении 100 км фосфоритный пласт, который представляет сплошную массу (а не желваки среди пустой породы, как это обычно бывает) и отличается высоким процентом P_2O_5. Это открытие имеет огромную важность—залежи выгодно расположены на небольшом удалении от железных дорог и близки к районам высокой потребности в фосфорных удобрениях. Содержание P_2O_5, в общем высокое, колеблется по различным пластам, например:

участок Кон-су,	первый пласт	(4 м)	30% P_2O_5
	второй »	(8 м)	28% »
участок Беркуты—Дегарес	первый »	(1,5 м)	28% »
	второй »	(1,8 м)	30% »

В то же время фосфориты Кара-Тау обладают высокой добротностью, т. е. низким содержанием полуторных окислов, что очень важно для их технологической переработки (см. ниже). Так, отношение $P_2O_5 : R_2O_3$ для камских фосфоритов равно 3, для егорьевских—2,3, для подпинских (Орловской области)—близко к 5, а для фосфоритов Кара-Тау—10.

Поражает мощность фосфоритного слоя вновь открытого месторождения. Если для камского месторождения эта мощность равна 0,8 м, для актюбинского 1,5 м, то для Кара-Тау мы имеем несравнимую величину, достигающую 7—8 м. Продуктивность фосфоритоносного слоя (в тоннах на 1 $м^2$) составляет для Камы—0,42, для Егорьевска—1,1, для Актюбинска—0,8, а для Кара-Тау—17,5 т. Итак, по всем показателям в ряду фосфоритов залежи Кара-Тау стоит на первом месте. Общие запасы, по предварительным данным, достигают 250—300 млн. т. Однако разведки еще не закончены; мы имеем дело с совершенно новым типом отложения, и вполне возможно нахождение по его соседству (а может быть, и в других районах) подобных же отложений, богатых P_2O_5.

На месте этих залежей проектируется постройка крупного завода с ежегодной переработкой 1,2—1,5 млн. т сырья[1].

Из других залежей Казахской ССР отметим казалинскую группу фосфоритных месторождений, найденных в 1931 г. на побережье Сыр-Дарьи, мангышлакские фосфориты на восточном берегу Каспия (16% P_2O_5), а также каракалпакские фосфориты в низовьях Аму-Дарьи и фосфориты Таджикской ССР (Каратаг).

Общие запасы фосфоритов в СССР (по подсчетам Геологического комитета для международного конгресса 1926 г. в Мадриде) составляют 16,4 млрд. т, которые распределяются так по содержанию P_2O_5:

От 12 до 18%	—9 121 000	тыс. т,	или 55,6%
» 18 » 24%	—7 039 000	» » »	42,9%
выше 24%	— 245 000	» » »	1,5%

Фосфориты Кара-Тау и хибинский апатит в этот подсчет не вошли, но существенно, что эти залежи увеличивают удельный вес высокопроцентных фосфоритов в нашем Союзе, пригодных (в отличие от остальных) для прямой переработки в суперфосфат.

Для всего земного шара запас фосфоритов подсчитывается в 27 млрд. т.

ХИБИНСКИЕ АПАТИТЫ

Геологическое исследование хибинских тундр, которое было организовано и велось под руководством акад. Ферсмана, привело к открытию в середине Кольского полуострова (за полярным кругом) одного из важнейших для Союза источников сырья для суперфосфатного производства—мощных залежей апатитово-нефелиновой породы. Отдельные находки апатита, именные преимущественно минералогический интерес, встречались раньше (1921—1923 гг.), коренное же месторождение апатитов было обнаружено геологом Лабунцовым в 1925 г. и ближе обследовано в 1926—1927 гг., причем большие массы этой породы оказались сосредоточенными в горных отрогах Кукисвумчорр, Юкспор и Расвумчорр. В 1928 и 1929 гг. геологом Влодавцем было оконтурено рудное тело кукисвумчоррского месторождения, которое оказалось наиболее богатым как по количеству руды, так и по содержанию фосфора в ней.

[1] Однако вопрос о размерах завода пока должен быть признан дискуссионным, так как имеются доводы на постройку нескольких заводов меньшей мощности, но зато более близко расположенных к местам потребления суперфосфата.

Апатитово-нефелиновая порода состоит в основном из двух минералов: апатита [при этом для хибинского месторождения характерен фтор-апатит $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$] и нефелина $(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + nSiO_2$. В сумме эти два компонента составляют около 90% от веса породы; в остатке представлены различные минералы, среди которых присутствует полезный ийолит $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ SiO_2$, роговая обманка $NaAl[SiO_3]_2 \cdot (Fe, Mg)SiO_3$, эгирин $Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$ и др. Отметим, что среди элементов, содержащихся в апатитово-нефелиновой породе, всегда присутствуют редкие земли (Ce, La, Nd, Pr, Y), а также Sr, Mg, Ti, Zr.

Апатитово-нефелиновая порода не однородна во всех частях рудного тела: именно, отличают более богатую апатитом «пятнистую» разность, с 75% апатита (28,5% P_2O_5), от более бедной «полосчатой» (19—22%) и еще более бедной «сетчатой» руды (7—15% P_2O_5). Последующие горнотехнические работы отряда НИУ показали следующее распределение разведанных запасов (и их качества) по отдельным месторождениям:

Месторождения	В миллионах тонн		
	Пятнистые руды	Полосчатые и сетчатые руды	Всего разведано
Кукисвумчорр	115	180	295
Юкспор	5	120	125
Апатитовый цирк	—	50	50
Плато Расвумчорр	20	40	60
Итого	140	390	530

Так как нижняя граница пятнистых руд еще не определена, то общий запас значительно больше разведанного; он оценивается, по крайней мере, в один миллиард тонн.

С 1930 г. начал свою деятельность трест «Апатит» и вступил в работу рудник на Кукисвумчорре, который в 1932 г. достиг производительности около 400 тыс. т (теперь производительность рудника превышает 2 млн. т). Общая картина работ совершенно несравнима с тем, что имеет место при добыче фосфоритов, где обычно имеют дело с пластами небольшой толщины; при проходке штольни приходится выбирать много пустой породы, да и самый пласт не сплошь состоит из фосфорита, а только включает фосфоритные желваки, залегающие в толще породы, от которой их нужно отделить. Здесь же имеют дело со сплошной массой апатитово-нефелиновой породы (см. схематический разрез месторождения на рис. 26): рудное тело имеет толщину около 70 м, и кукисвумчоррский «рудник» представляет собою совершенно открытое его обнажение, причем разрабатываемая сторона горы превращена как бы в циклопическую лестницу с 6 ступенями, в 12 м высотой каждая; протяжение рудного тела по горизонтали измеряется несколькими километрами. Правда, вершина горы образована другими отложениями и при продвижении вперед верхней террасы все-таки приходится снимать «шапку» из идущей в отвал породы, но затем имеют дело со сплошной массой апатитовой руды, которую приходится взрывать, полученные при взрыве куски (после дополнительного дробления более крупных) спускать вниз по бремсбергу и доставлять в вагонетках на железнодорожную станцию Нефелин; отсюда главная масса руды, подлежащая обогащению, поездами доставляется в Кировск. Во время полярной ночи (около

6 недель для Хибин) работа в руднике идет круглые сутки при электрическом освещении, прерываясь только в случае бурана. Теперь осуществлен переход на подземные работы, устраняющий всякую зависимость от перемен погоды.

При добыче руды в забоях производится еще рудоотборка, причем отделяются по внешнему виду более бедные куски руды (около 15% P_2O_5) и остается товарная руда с содержанием около 31% P_2O_5. Однако этого недостаточно для получения хорошего сырья для суперфосфатного производства, потому что примешивающийся к апатиту нефелин представляет далеко не такую пассивную примесь, какой является, например, кварцевый песок во многих фосфоритах: нефелин разлагается кислотой легче апатита, поэтому он составляет существенное препятствие при переработке апатита в суперфосфат. Помимо напрасной траты кислоты, это еще связано с обогащением продукта нежелательными составными частями, именно соединениями алюминия, железа и гидратной

Рис. 26. Схематический разрез Кукисвумчоррского месторождения апатитов.

кремнекислотой; последняя, выделяясь при действии серной кислоты в студнистом состоянии, затрудняет промешивание массы и, обволакивая частички нераложенных минералов, мешает полноте разложения апатита.

Поэтому приходится подвергать апатитово-нефелиновую породу обогащению, освобождая апатит от главной массы нефелина путем *флотации*, т. е. разделения в водном потоке тонко измельченной породы на апатитовый концентрат и нефелиновые хвосты.

Дробление руды ведется в три приема, сначала до кусков в 10 см, затем до 1,8—2 см (сухое дробление) и, наконец, до 0,17 мм (мокрое дробление).

Для облегчения последующего разделения мелких обломков кристаллов апатита и нефелина (0,2 мм и ниже) прибавляют к измельченной массе (пульпе) известные реактивы, способствующие всплыванию апатита вместе с пеной и оседанию нефелина; именно, для первой цели—смесь олеиновой кислоты с керосином (1 кг смеси на тонну руды), а для второй—растворимое стекло.

Осенью 1931 г. была пущена в ход первая секция хибинской обогатительной фабрики, перерабатывающая около 400 тыс. т руды и дающая 250 тыс. т концентрата с содержанием 39—40% P_2O_5. За два года среди хибинских тундр, в 1 200 км от Ленинграда, где прежде не было постоянного жилья и только зимой появлялись кочевники оленеводы со стадами оленей, возник индустриальный город с 40 000 жителей и была построена временная электростанция для обслуживания обогатительной фабрики. Теперь построена постоянная электростанция на р. Ниве (близ Кандалакши), которая использует энергию этой реки, не замерзающей зимой благодаря большому падению, несмотря на широту в 67°,

обогатительная фабрика расширена, а к настоящему времени построена вторая обогатительная фабрика, так что в сумме получается 1,5 млн. т концентратов (при продуктивности рудника в 2,5 млн. т).

Прежде думали, что нефелин является только нежелательной примесью и что расходы по обогащению целиком будут ложиться на апатитовый концентрат; но затем обнаружилось, что все три компонента нефелина (щелочи, глинозем и кремнезем) могут быть использованы в целом ряде производств. Так, кроме «нефелинования почв» (устранение кислотности и обогащение калием), присутствие в нефелине щелочей (K и Na) позволяет использовать его при производстве стекла (обыкновенного и жидкого), в керамической и эмалевой промышленности. Содержание глинозема позволяет использовать нефелин для получения металлического алюминия, которое возможно несколькими путями, а именно: 1) спекание с известью, дающее глинозем, щелочи и силикат кальция (цементное сырье); 2) обработка азотной кислотой с последующим введением аммиака, дающим глинозем и азотнокислые соли, пригодные как азотистое удобрение; 3) обработка серной и сернистой кислотами, дающая глинозем, квасцы, силикагель и другие продукты, находящие применение в бумажном деле, в текстильной промышленности, заменяющие пермутит при очистке воды и пр. Наконец, содержание кремнекислоты в нефелине в соединениях, легко переходящих в слабокислотные вытяжки, позволяет использовать нефелин в кожевенной промышленности (замена дубителей) и при производстве резины, далее—при пропитывании дерева (чтобы сделать его негниющим и несгораемым), а также для замены растворимого стекла при закреплении грунтов (при закладке фундаментов, при проходке шахт) и в дорожном строительстве (закрепление шоссейного полотна).

Таким образом, нефелин, как получаемый при обогащении апатитовой руды, так и содержащийся, помимо того, в больших количествах в других горных породах хибинских тундр, имеет шансы найти приложение в ряде различных производств, и тогда расходы по дроблению апатитовой породы и процессу обогащения будут распределиться между апатитом и нефелином, что должно удешевить снабжение сырьем наших суперфосфатных заводов.

На апатитовом концентрате целиком работает Невский суперфосфатный завод в Ленинграде, но концентрат доставляется и на другие заводы, до Украины и Урала включительно.

Теперь большая часть всего сырья, перерабатываемого суперфосфатными заводами в Союзе, приходится на хибинский концентрат. В ближайшем будущем, когда начнется эксплоатация мощных залежей фосфоритов Кара-Тау, этот вопрос должен получить комплексное решение, так как имеются все возможности за счет нового месторождения обеспечить фосфатами республики Средней Азии и Западную Сибирь (может быть, и Поволжье).

Неясно пока решение фосфатного вопроса для Восточной Сибири и Приамурья. Если раньше геологи говорили, что нет шансов на нахождение в Восточной Сибири фосфоритов обычного типа, то опыт Кара-Тау показал, что возможны и иные типы; а далее, независимо от того, что осадочные породы той или другой области не предвещают нахождения фосфоритов, где-либо в изверженных породах могут оказаться апатиты. Во всяком случае, совершенно невероятно, чтобы на всем расстоянии от нашей европейской границы до Камчатки фосфориты и апатиты находились только в западной трети этой огромной зоны, а две трети ее, лежащие к востоку от меридиана Ташкента, не имели своих резервов фосфора[1].

ПРОИЗВОДСТВО СУПЕРФОСФАТА

Возникновение суперфосфатного производства связано с именем Либиха, который обратил внимание на кости как материал, пригодный для возвращения в почву фосфорной кислоты, отчуждаемой вместе с зерном, но в то же время

[1] Кроме фосфатов кальция, в качестве местного источника фосфора может быть использован также фосфат железа—*вивианит*, встречающийся в виде вкраплений в торфах и болотных почвах.

В химическом отношении вивианит представляет фосфорнокислую соль закиси железа $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ с содержанием 28,3% P_2O_5; однако вследствие загрязнений (обычно торфом) содержание P_2O_5 в добываемом вивианите значительно снижается.

Свежедобытый вивианит имеет белый (слегка сероватый) цвет, но на воздухе быстро синеет в связи с частичным переходом закисного железа в окисное (поэтому вивианит называют также синей болотной рудой).

Залежи вивианита исследованы пока недостаточно, но там, где он найден, его с успехом можно использовать в качестве удобрения. В отличие от фосфоритной муки (о применении ее будет сказано ниже), вивианит может применяться и на почвах, насыщенных основаниями, в том числе и на известкованных почвах, но прибавки урожаев часто оказываются различными в зависимости от качества удобрения.

содержащий нерастворимый фосфат. Поэтому Либих предложил обрабатывать кости серной кислотой, чтобы перевести трехкальциевый фосфат в растворимый в воде кислый (однозамещенный) фосфат, по уравнению:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 = Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4.$$

Первый завод был устроен Лоозом в Англии в 1843 г., причем от обработки костей на этом заводе перешли к обработке кислотой фосфоритов; позднее возникли суперфосфатные заводы в Германии и других странах, и суперфосфатная промышленность стала очень крупной ветвью основной химической промышленности.

В нашей стране суперфосфатная промышленность в дореволюционное время была слабо развита, теперь же СССР является одной из передовых стран мира по производству этого удобрения.

Приведенная выше схема разложения трехкальциевого фосфата является упрощенной в нескольких отношениях. Во-первых, в реакции принимает участие вода, так как, с одной стороны, берется не чистая H_2SO_4, а «крепкая» кислота (50—52° Боме или выше, смотря по свойствам сырья)[1], с другой же стороны, получающиеся при реакции сернокислый кальций и однокальциевый фосфат по мере остывания кристаллизуются и при этом связывают определенное количество воды (кристаллизационная вода):

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 + 5H_2O = Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2(CaSO_4 \cdot 2H_2O);$$

кроме того, часть воды испаряется вследствие разогревания массы от теплоты реакции.

Смесь компонентов, сначала жидкая (что удобно для хорошего промешивания), затем, по мере образования кристаллов гипса и фосфатов, твердеет, происходит «схватывание» массы, и она получает известную структуру (пористость).

Во-вторых, обработке серной кислотой подвергается не $Ca_3(PO_4)_2$, а измельченный фосфорит, который, кроме фосфата, близкого к апатиту[2], содержит ряд других веществ; это могут быть частицы песка и глины, известь (углекислая и кремнекислая), соединения железа и глинозема, фтористые и другие соединения. Так как часть серной кислоты неизбежно тратится на разложение $CaCO_3$ и других примесей, то ничего не остается, как брать больше кислоты, чем нужно для разложения одного только фосфата; вследствие этого фосфораты, содержащие много $CaCO_3$ и других примесей, не годятся для суперфосфатного производства, но небольшая примесь $CaCO_3$ считается благоприятной, так как разогревание массы способствует более быстрому разложению фосфата, а выделяющаяся углекислота придает суперфосфату пористость. Примесь кварцевого песка неблагоприятна только как балласт, снижающий процент P_2O_5 в продукте, но особенно нежелательным считается присутствие в фосфатном сырье больших количеств соединений железа и глинозема (например, свыше 3%), хотя бы они были соединены тоже с фосфорной кислотой. Дело в том, что кислые фосфаты железа и глинозема, образующиеся при разложении кислотой, являются нестойкими, и при лежании суперфосфата происходит образование, с одной стороны, свободной кислоты, а с другой—образование нерастворимых соединений с большим содержанием оснований, и общее количество водорастворимой P_2O_5 уменьшается (этот процесс обратного перехода P_2O_5 в малорастворимые соединения называется *ретроградацией*); принимают, что каждый процент Fe_2O_3 вызывает обратный переход 2%, а Al_2O_3—1% P_2O_5 в нерастворимое соединение.

Ввиду сложности состава сырья и продукт реакции—готовый суперфосфат—включает, кроме того соединения, которое является целью производства, т. е. $Ca(H_2PO_4)_2$, ряд других соединений; так, кроме упомянутого уже $CaSO_4$, получаются и другие сульфаты, как

[1] 50° Боме отвечают удельному весу 1,530 и содержанию H_2SO_4 в 57%.

[2] Апатит отличается от $Ca_3(PO_4)_2$ содержанием фтора и более сложным строением кристалла, но поддающегося действию слабых кислот так легко, как $Ca_3(PO_4)_2$ (см. стр. 289).

$FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Al_2(SO_4)_3$; образуются также другие фосфаты, как кислые фосфаты Fe и Al, может быть небольшое количество $CaHPO_4$ и неразложенного фосфата, кремнекислоты, выделяющаяся при разложении кремнекислого кальция, неразложившаяся часть CaF_2, затем песок и другие примеси, бывшие в фосфорите. Кроме того, обычно часть фосфорной кислоты находится в свободном состоянии; при сырье, содержащем повышенное количество окислов железа и глинозема, приходится прибавлять больше серной кислоты, чтобы добиться полного разложения и противодействовать явлениям ретроградации, но тогда получается избыток свободной фосфорной кислоты, которая за известным пределом накопления делает суперфосфат сырым, вонючим, и тогда он плохо высевается сеялками. Таким образом, физические свойства суперфосфата также играют роль в определении количества кислоты, которое можно применять, а из сильно загрязненного вышеуказанными примесями сырья приготовить должного качества простой суперфосфат трудно.

Так как суперфосфат готовится простым смешением фосфоритной муки с серной кислотой и образовавшиеся при реакции побочные продукты не отделяются от главного, то суперфосфат представляет сложную смесь, и вообще *это термин не химический*, это лишь обозначение для *определенного товара*, выпускаемого заводом и оцениваемого по содержанию в нем растворимой P_2O_5. Со способом приготовления связано следующее обстоятельство: при приготовлении суперфосфата простым смешением кислоты с фосфоритной мукой мы всегда получаем переход к растворимым формам *ценой понижения общего содержания* P_2O_5 *по сравнению с исходным сырьем*. Так как на 1 ц фосфата берется около 1 ц кислоты, то содержание P_2O_5 понижается примерно в *два раза*.

Поэтому для приготовления простого суперфосфата предпочитаются более высокопроцентные фосфориты, например, 28—30-процентные, чтобы иметь 14—15% суперфосфат[1]. Если же при переработке какого-нибудь 15-процентного фосфорита получить 7% продукт, то это значило бы загрузить транспорт перевозкой большого количества балласта[2].

Так как наши фосфориты, кроме подольских (и неизвестного в то время тибинского апатита), отличались от того сырья, на котором развивалась промышленность Западной Европы (фосфаты Флориды, Алжира и др.) меньшим содержанием P_2O_5 и большим загрязнением полуторными окислами (соединения Fe_2O_3, Al_2O_3), то они считались вовсе непригодными для суперфосфатной промышленности, и имевшиеся прежде заводы (в Риге и тогдашнем Петербурге) работали на иностранном сырье (и даже расположенный рядом с подольскими залежами фосфоритов завод в Виннице работал на алжирском фосфорите, который доставлялся в Одессу в виде балласта пароходами, шедшими в Одессу из Марселя за хлебом). Первые опыты, доказавшие возможность приготовления из вятского и кинешемского фосфорита 12—13% суперфосфата, были произведены в Петровско-Разумовском, в лаборатории автора, в 1908 г. Тогда же началась работы по систематическому изучению наших залежей геологами (проф. Петровской академии Самойловым), и это положило начало производству (тогда в небольших размерах) суперфосфата в Кинешме на одном частном заводе, а затем Вятское и Пермское земства стали строить завод в Перми, который, однако, был закончен и стал нормально работать лишь в послереволюционный период.

Фосфориты перед химической обработкой предварительно измельчаются до определенного размера частичек (через сито № 100 с отверстиями в 0,17 мм должно проходить от 70 до 90% муки, смотря по роду фосфорита). С этой целью употребляются разного рода специальные мельницы большой продуктивности,

[1] В СССР в настоящее время производится преимущественно суперфосфат с содержанием 17—18% P_2O_5, что стало возможным благодаря использованию высокопроцентного сырья, каким является *концентрат из тибинского апатита* (причем он перерабатывается не только один, но и добавляется к фосфоритной муке для повышения процента P_2O_5).

[2] Нельзя сказать, чтобы в суперфосфате количество балласта выражалось тем остатком, который арифметически получается путем вычитания из 100 содержания P_2O_5: например, 15% P_2O_5 не означает еще 85% балласта, так как расчет на P_2O_5 есть условный прием; на деле мы имеем не P_2O_5, а $Ca(H_2PO_4)_2H_2O$, поэтому содержание полезного соединения почти вдвое больше, чем процент P_2O_5; затем гипс, содержащийся в суперфосфате, отнюдь нельзя считать всегда балластом; во многих случаях это только менее ценная часть, чем однокальциевый фосфат (см. о применении гипса как удобрения на стр. 419).

например, шаровые мельницы (непрерывного действия), представляющие вращающийся барабан (рис. 27) со стенками из стальных пластин, с отверстиями между ними; внутрь вводятся куски фосфорита вместе с стальными или чугунными шарами; при вращении фосфорит размалывается от ударов и трения, мелкие части проваливаются через отверстия в стенках и далее поступают на сита. Кроме шаровых мельниц, в большом ходу еще мельница Кента, которая построена по принципу бегунов, но с той разницей, что вращаются не только самые бегуны, но и тот стальной барабан, внутри которого они находятся; при этом оси бегунов (вальцов) не фиксированы точно, но с помощью крепких пружин удерживаются в таком положении, чтобы дробился фосфорит, попадающий между поверхностью вальцов и внутренней поверхностью стального барабана (в случае слишком крупного или крепкого куска пружина, удерживающая вальцы, подается, благодаря чему избегается поломка или остановка дробящего аппарата).

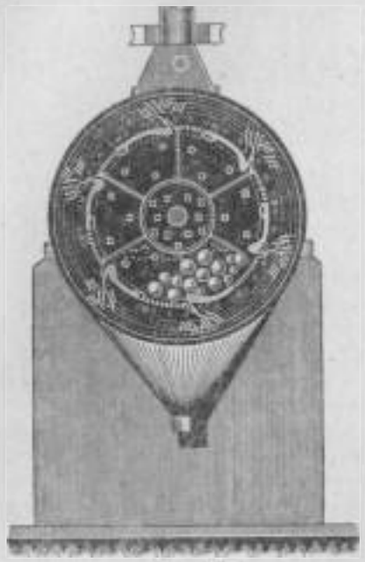


Рис. 27.

После измельчения смешивают фосфорит с серной кислотой, причем заботятся об отводе выделяющихся ядовитых газов (HF, SO_2) и даже о поглощении их водой или известковым молоком; кроме того, рабочие для защиты от действия газов и брызг H_2SO_4 снабжаются противогазами. Тщательное и быстрое смешение является весьма важной операцией, от которой зависит полнота реакции и однородность продукта.

Это достигается быстрым вращением лопастей мешалки, расположенной вертикально в котле, имеющем форму тигля (котел Лоренца); через крышку всыпается фосфорит и вливается кислота, а после энергичного перемешивания вся масса падает вниз при открытии люка в нижней части прибора.

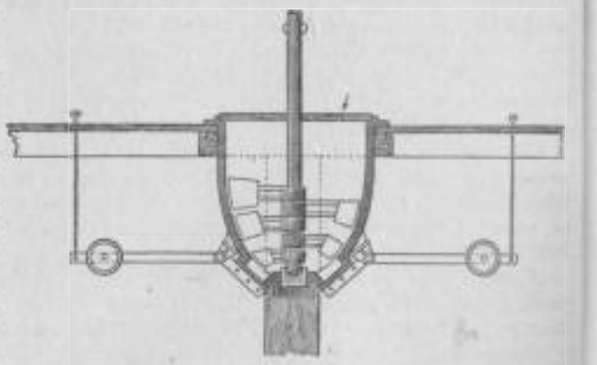


Рис. 28.

Обычно пользуются расположением, изображенным на рис. 28 и 29. Из котла для смешивания, где масса фосфорита с кислотой энергично перерабатывается мешалками в течение одной минуты, горячая смесь в еще полужидком состоянии быстрым движением клапанов выбрасывается в помещение, где собственно и заканчивается реакция, а в котел вводится тотчас же новая смесь. После заполнения камера оставляется для «созревания» суперфосфата; в это время начинается заполнение другой камеры. При этом используется развивающаяся при реакции теплота, как для более полного разложения некоторых более стойких составных частей фосфорита, так и для удаления возможно большего количества воды.

В камере вследствие выделения газов должна получаться не сплошная, а пористая масса, которую сравнивают с хорошо выпеченным хлебом. После

ее затвердевании и известного остывании суперфосфат выгружается из камеры.

В последнее время употребляются различные аппараты для автоматической разгрузки камер, позволяющие не дожидаться полного охлаждения суперфосфата и избавляющие рабочих от риска ожогов и вдыхания ядовитых газов. Эти аппараты (крошильные или скоблильные машины) позволяют использовать теплоту суперфосфата с одновременным сильным проветриванием для его просушки; именно, с помощью скребков или ножей машины эти отрезают от массы затвердевшего суперфосфата тонкие ломтики, при падении легко рассыпающиеся в порошок, отдающий встречному воздуху значительную часть влаги.

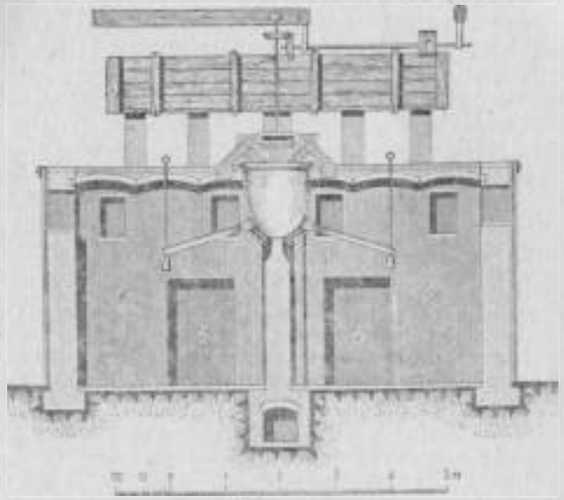


Рис. 29.

Прежде за этим следовала сушка в особых сушильнях, причем обыкновенно вагонетки, нагруженные суперфосфатом, постепенно подвигались в сушильнях навстречу току теплого воздуха, отдавая излишнюю воду (но кристаллизационная вода при нормальных условиях сушки остается).

Важно, однако, для успеха дела производить сушку не при высокой температуре, иначе, кроме высушивания и потери кристаллизационной воды, начнется разложение (с выделением воды) кислой соли ортофосфорной кислоты, с образованием солей пиро- и метафосфорной кислот. Температура сушки не должна быть выше 100°; при 120° образуется пирофосфат, при 200° — метафосфат:

$$2H_3PO_4 - H_2O = H_4P_2O_7;\ H_3PO_4 - H_2O = HPO_3.$$

Ввиду риска понизить качество продукта теперь сушки избегают, стараясь вести производство так, чтобы из камеры получать «спелый» продукт.

Взамен сушки суперфосфатов, содержащих избыток свободной фосфорной кислоты, можно примешивать к ним небольшое количество костной муки (обезжиренной); частички пористой кости впитывают жидкость и нейтрализуют ее, причем достигается высушивание без потерь в количестве растворимой P_2O_5.

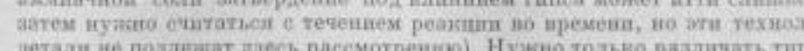
Нейтрализация излишне кислого суперфосфата может быть достигнута также прибавлением небольшого количества фосфоритной муки, золы или извести.

Ввиду того что суперфосфат, приготовленный из сырья, содержащего больше соединений Fe и Al, чем полагается по норме, при хранении имеет склонность к ретроградации (т. е. к переходу части P_2O_5 в соединения, в воде нерастворимые) рекомендуют в этих случаях примешивать сульфат аммония (получаемый продукт называется *аммиачным суперфосфатом*). В этом случае происходит следующая реакция:

$$2Fe(H_2PO_4)_3 + 3(NH_4)_2SO_4 = 6NH_4H_2PO_4 + Fe_2(SO_4)_3.$$

Таким образом, вместо фосфата получается сульфат железа (также и глинозема) и фосфорнокислый аммоний, и поскольку эта реакция осуществляется,

причина ретроградации устраняется, но, кроме того, идет еще следующая реакция:



$$Ca(H_2PO_4)_2+(NH_4)_2SO_4=2NH_4H_2PO_4+CaSO_4.$$

Получающийся при этом $CaSO_4$ кристаллизуется, связывая воду (образуя $CaSO_4 \cdot 2H_2O$); таким образом достигается одновременно *подсушивание* суперфосфата, и он приобретает лучшую консистенцию (при больших количествах аммиачной соли затвердение под влиянием гипса может итти слишком далеко, затем нужно считаться с течением реакции во времени, но эти технологические детали не подлежат здесь рассмотрению). Нужно только различать типы удобрений и иметь в виду, что, кроме смешения с $(NH_4)_2SO_4$, есть еще и другой способ введения аммиака в суперфосфат—это известная степень насыщения его свободным аммиаком, причем продукт получает название *аммонизированного суперфосфата* (см. «Сложные удобрения»). Прием насыщения суперфосфата аммиаком позволяет устранить излишнюю кислотность суперфосфата, понижает его гигроскопичность и тем улучшает свойства удобрения. Конечно, при применении аммонизированного суперфосфата в качестве удобрения должно учитываться и содержание в нем азота (обычно в пределах 2—4%).

Существует еще так называемый *борный суперфосфат*, т. е. содержащий, помимо фосфорной, также и борную кислоту. Такое удобрение в последнее время выпускается в Германии. Дело в том, что бор как удобрение применяется в очень незначительных дозах. Удобрения, содержащие бор (например, бура, борная кислота и т. д.), в целях равномерности распределения при рассеве, обычно примешивают к другим удобрениям и вносят в виде смеси. Но, помимо простого смешивания готовых удобрений, здесь возможны и иные пути, в частности, например, следующий. Фосфатное сырье, фосфоритная или апатитовая мука смешиваются, согласно определенному расчету, с материалами, содержащими бор также в мало подвижной форме (например датолит), и смесь обрабатывается серной кислотой, как и при получении простого суперфосфата (но количество H_2SO_4 здесь несколько увеличивается). В результате разложения и фосфорная и борная кислоты переходят почти полностью в водорастворимые соединения; полученный продукт и получил название борного суперфосфата (подробнее о применении удобрений, содержащих бор, см. ниже).

ДВОЙНОЙ СУПЕРФОСФАТ И ПРЕЦИПИТАТ

Так как большая часть наших фосфоритов является низкопроцентной (смоленские, курские, брянские, рязанские, чувашские, вяюмские, актюбинские, казалинские и пр.) и не годится для переработки в простой суперфосфат, то для нас представляют интерес *те способы переработки, которые связаны не с понижением содержания* P_2O_5, *а, наоборот, с обогащением продукта фосфорной кислотой (против исходного сырья). Сюда относится получение двойного суперфосфата и преципитата.*

Процессы, происходящие в этих случаях, конечно, более сложны, и единица P_2O_5 на месте производства обходится дороже, но в транспорте получается крупная выгода. Нужно сказать, что у нас приходится интересоваться применением этих методов больше, чем в Западной Европе, которая в основном применяет простой суперфосфат и только в исключительных случаях (например, для транспорта из Голландии в ее отдаленные колонии, как на остров Борнео с его кофейными плантациями) пользуются двойным суперфосфатом.

В СССР, как мы знаем, основные залежи высокопроцентного сырья (хибинские апатиты и теперь фосфориты Кара-Тау) находятся на большом расстоянии от многих важных центров потребления, местное же сырье большей частью непригодно для производства простого суперфосфата.

Мы имеем дело с бо́льшими расстояниями, чем Западная Европа, не только при перевозках по железным дорогам, но и при доставке удобрений гужевым и автомобильным транспортом, поэтому различные способы получения обогащенных фосфатов должны иметь для нас весьма существенное значение.

В основе способов получения обогащенных фосфатов лежит извлечение фосфорной кислоты из низкопроцентного материала, переведение ее в водный раствор, в то время как главная часть примесей (песчаные и глинистые частицы)

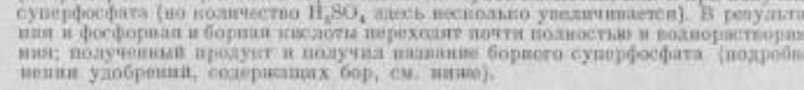
остается нерастворенной и может быть легко отделена. Так как при извлечении приходится иметь дело с разбавленными растворами, то следующей задачей является отделение фосфорной кислоты от массы воды, в которой она растворена. Здесь применяются два пути: 1) *выпаривание раствора* для удаления главной массы воды; 2) *осаждение* (преципитирование) фосфорной кислоты известковым молоком и удаление главной массы воды декантацией.

В первом случае полученный густой сироп не представляет удобного продукта для перевозки и для применения; его превращают в двойной суперфосфат, действуя крепким раствором фосфорной кислоты на кость или фосфорит, взятые в таких количествах, чтобы получить характерную для всякого суперфосфата главную составную часть—растворимый в воде однозамещенный фосфат $Ca(H_2PO_4)_2$; но благодаря тому, что здесь применяется не серная, а фосфорная кислота, продукт не заключает в себе гипса, и содержание P_2O_5 в нем очень высокое (например, 40%).

Точно так же и второй путь (осаждение) приводит к высокопроцентным продуктам, независимо от того, из какого материала исходит, но только конечный продукт не будет уже называться суперфосфатом, ибо в нем фосфорная кислота не является водорастворимой; такие продукты носят название *преципитата*, или осажденного фосфата (в технике принято еще название *дифосфат*, удобное по краткости, хотя и не совсем последовательное с точки зрения химической терминологии).

Приготовление двойного суперфосфата. Для первой стадии этого производства (извлечение фосфорной кислоты) применяется серная кислота, удобная потому, что она дает с кальцием малорастворимый продукт ($CaSO_4$), главная масса которого остается вместе с песком в осадке; поэтому раствор фосфорной кислоты будет почти свободен от примесей солей кальция.

Количество серной кислоты рассчитывается при этом по такому уравнению:



$$Ca_3(PO_4)_2+3H_2SO_4=2H_3PO_4+3CaSO_4,$$

т. е. здесь берутся три, а не две частицы серной кислоты, как в случае простого смешения, ибо здесь целью является получение свободной фосфорной кислоты, а не однокальциевого фосфата; кроме того, здесь также принимается в расчет содержание $CaCO_3$, но не содержание железа и глинозема, ибо в этом случае не желают, чтобы фосфаты железа и глинозема были разложены; для этого не только избегают избытка кислоты, но и понижают концентрацию ее (до 20—25%); разведение кислоты водой здесь вызывается одновременно и самой операцией отделения раствора от осадка.

Извлечение фосфорной кислоты не для всех фосфоритов идет одинаково легко; в частности, для наших фосфоритов пришлось найти подходящие приемы для достижения достаточно полного извлечения[1], без излишнего загрязнения вытяжки примесями.

Осадок гипса и нерастворенных в кислоте примесей приходится после сливания раствора промывать на фильтрпрессах, чтобы не потерять в нем часть фосфорной кислоты (промывные воды служат частью для разведения той серной кислоты, которая пойдет на разложение следующих порций фосфорита).

Дальнейшей задачей является сгущение растворов фосфорной кислоты выпариванием—операция, удорожающая производство двойного суперфосфата как вследствие расхода на топливо, так и из-за особой аппаратуры. Вторая реакция, которой заканчивается производство двойного суперфосфата, про-

[1] Первые опыты, произведенные в нашей лаборатории Кочетковым, показали, что если работать по нормам, обычным на Западе, то наши фосфориты (костромской, витебский, смоленский) отдают в раствор (при 26% серной кислоте) от $^2/_3$ до $^3/_4$ P_2O_5; затем было обнаружено, что при непрерывном перемешивании массы можно повысить полноту извлечения до 90%. Наиболее удачное решение задачи было дано последующими работами Казанова, который показал, что если неразведенную H_2SO_4 приливать к воде, в которой взмучен фосфорит, то достигается быстрое и полное (до 99%) извлечение P_2O_5 без значительного обогащения раствора полуторными окислами.

исходит при действии сгущенного раствора фосфорной кислоты на новую порцию фосфорита (или костяной муки), причем разложение происходит по такому уравнению:

$$4H_3PO_4 + Ca_3(PO_4)_2 = 3Ca(H_2PO_4)_2.$$

Высокопроцентность двойного суперфосфата достигается, таким образом, благодаря двум обстоятельствам: при первой реакции и следующем за ней извлечении избавляются от ряда примесей, а при второй реакции не возникает никаких побочных продуктов, аналогичных гипсу при производстве простого суперфосфата (здесь гипс остается в осадке при первой операции). Однако в конечном продукте могут содержаться примеси в известном количестве, именно, поскольку они входили во вторую порцию фосфата, на которую действовали фосфорной кислотой; поэтому, если для первой операции (извлечение H_3PO_4) можно брать низкопроцентные фосфаты, то для второй реакции нужны более высокопроцентные материалы, как, например, апатитовый концентрат или костяная мука (это тем легче сделать, что во второй реакции вновь вводится гораздо меньшая масса фосфата, чем в первой).

Двойной суперфосфат представляет большое удобство для перевозки на большие расстояния, но его производство является более дорогим и требует более точного химического контроля, чем производство простого суперфосфата.

Что касается действия двойного суперфосфата на растения, то при выравнивании дозы растворимой P_2O_5 нельзя ожидать различия между суперфосфатами, кроме случаев, когда присутствие $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в простом суперфосфате играет положительную роль, например, при внесении суперфосфата по клеверам. Наличие гипса в простом суперфосфате дает ему в этом случае определенные преимущества, поскольку гипс является самостоятельным удобрением для клевера (см. «Гипс», стр. 419).

Получение преципитата[1] *(осажденного фосфата).* Первая операция здесь та же, как и в предыдущем случае, т. е. извлечение фосфорной кислоты из фосфоритов, но с той разницей, что здесь безразлично, какую кислоту взять—серную, соляную и пр., так как загрязнение вытяжки растворимыми солями кальция не препятствует осаждению фосфорной кислоты в виде двухкальциевого фосфата и получению высокопроцентного продукта. Если для извлечения пользуются серной кислотой, то фосфорит должен быть непременно хорошо размолот, и извлечение идет при перемешивании, иначе гипс, отлагающийся на поверхности кусочков фосфорита, мешает проникновению кислоты вглубь, и растворение получается неполное; если же берется соляная кислота, то измельчение не играет такой роли, ибо побочный продукт реакции—$CaCl_2$ хорошо растворим в воде.

Раствор дальше отфильтровывается от нерастворенного остатка, содержащего частицы песка или глины, а также гипс (в случае H_2SO_4) и осаждается известковым молоком[2], причем количество $Ca(OH)_2$ регулируется так, чтобы получить по возможности двухзамещенный фосфат формулы $CaHPO_4$ (не считая кристаллизационной воды):

$$H_3PO_4 + Ca(OH)_2 = CaHPO_4 + 2H_2O.$$

Осадок отделяется от жидкости (в случае применения соляной кислоты в последней остается $CaCl_2$, обычно не используемый) и *сушится осторожно*, чтобы сохранить свойства свежеосажденного фосфата и не удалить кристаллизационной воды.

Преципитат может содержать 30—35% (и выше) фосфорной кислоты; главной его частью является двухзамещенный фосфат $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, хотя и нерастворимый в воде, но хорошо растворимый в лимоннокислом аммиаке и усвояемый растениями. Введение излишнего количества извести приводит

[1] От латинского praecipitare и французского précipiter—осаждать.

[2] Или тонко измельченным мелом.

к образованию трехкальциевого фосфата $Ca_3(PO_4)_2$, который, правда, существенно отличается по свойствам от фосфорита и в свежеосажденном состоянии (когда содержит кристаллизационную воду) значительно растворим в лимоннокислом аммиаке, но все же всякое превышение нормы извести сверх количества, необходимого для образования дифосфата, связано с понижением процента P_2O_5, а также ее лимоннорастворимости.

Помимо количества извести и скорости приливания известкового молока, свойства продукта зависят еще от температуры осаждения и температуры сушки. Преципитаты разного происхождения не равноценны, поэтому многие из опытов с преципитатами давали результаты, не подлежащие обобщению.

У нас преципитат производится на Воскресенском комбинате (близ Москвы) и на Актюбинском преципитатном заводе.

По ряду соображений считают удобным соединить в одном месте производство двойного суперфосфата и преципитата. В этом случае имеется возможность выпаривать только более богатые вытяжки (особенно полученные методическим, т. е. повторным, выщелачиванием, по системе противотока, как выщелачивание свекловичной резки в диффузорах на сахарных заводах), а все более слабые растворы, разбавленные промывными водами, преципитировать; тогда получается большая экономия в топливе при максимальной утилизации P_2O_5 фосфорита (но пока у нас двойной суперфосфат не производится).

У нас для извлечения фосфорной кислоты из фосфорита применяется серная кислота как более дешевая, но в случае переработки костей на клей (желатину) и преципитат приходится применять соляную кислоту.

В последнее время Дружининым и Пестовым (НИУИФ) предложен способ получения магнезиального фосфата путем разложения фосфорнокислой вытяжкой магнезиальных силикатов[1]. При этом получается фосфат, отличающийся по своему составу и от двойного суперфосфата и от преципитата тем, что в него входят соли $Mg(H_2PO_4)_2$ и $MgHPO_4$ (а не фосфаты кальция), и содержанием в качестве примеси кремневой кислоты. Реакция разложения магнезиального силиката протекает примерно по таким уравнениям:

$$Mg_2SiO_4 + 4H_3PO_4 = 2Mg(H_2PO_4)_2 + SiO_2 + 2H_2O;$$
$$Mg_2SiO_4 + 2H_3PO_4 = 2MgHPO_4 + SiO_2 + 2H_2O.$$

В полевых и вегетационных опытах, проведенных преимущественно с сахарной свеклой, в ряде случаев магнезиальный фосфат оказывался более эффективным, по сравнению с простым и двойным суперфосфатом и с преципитатом. Возможно, что это зависит от положительного действия магния и несколько повышенной растворимости фосфатов магния, по сравнению с фосфатами кальция; кроме того, известное значение можно приписать и примеси SiO_2 (находящейся частично в коллоидальном состоянии).

Кроме приготовления обогащенных продуктов путем специальной затраты для экстракции серной (или соляной) кислоты, иногда можно комбинировать это производство с другими так, чтобы не производить новой траты кислоты. Например, производство осажденного фосфата было бы уместно и осуществимо без особых расходов на кислоту при выработке норвежской селитры $Ca(NO_3)_2$ (было предложено автором в 1908 г.). Известно, что при этом HNO_3 нейтрализуется $CaCO_3$ и раствор сгущается до кристаллизации $Ca(NO_3)_2$.

При этом напрасно тратится энергия кислоты, которую можно было бы использовать следующим образом: раствор азотной кислоты идет сначала на разложение фосфорита, а вытяжка, содержащая фосфорную кислоту и $Ca(NO_3)_2$, по отделении от нерастворенного остатка осаждается известковым молоком. Осажденный фосфат отделяется от раствора $Ca(NO_3)_2$, последний сгущается и дает норвежскую селитру. Теперь, когда есть синтетический аммиак, осаждение можно вести при помощи NH_3, причем в растворе получается смесь $Ca(NO_3)_2$ и NH_4NO_3*.

[1] Опыты проводились с отходом платиновой промышленности *дунитом*, главным компонентом которого является силикат магния Mg_2SiO_4. Кроме дунита, существуют и другие силикаты магния, которые могли бы быть использованы для этой цели (змеевик, оливинит и др.).

* К этому способу мы еще вернемся ниже (см. стр. 376). Что касается азотной кислоты, то теперь, когда она также получается не дорогим норвежским способом, а окислением синте-

Из других путей, предложенных для производства преципитата без затраты серной кислоты, отметим следующие:

1. На химических заводах, производящих нитрование смесью серной и азотной кислот, получается отбросная серная кислота значительной крепости, которая вполне пригодна для переработки фосфатов по различным методам. Далее, из пороховых заводов сполагается в больших количествах малоценный бисульфат ($NaHSO_4$), образующий большие залежи, размываемые дождем (отчего происходит иногда порча воды ближайших водоемов). Автором было предложено использование бисульфата для приготовления преципитата, возможность чего была показана в работах, произведенных в нашей лаборатории. Выяснилось, что если обрабатывать фосфорит крепким раствором бисульфата и затем подсушную смесь через несколько дней обрабатывать водой, то удается извлечь из фосфорита 96—99% от всей фосфорной кислоты; затем преципитирование идет обычным путем с помощью $Ca(OH)_2$, причем в растворе остается нейтральный Na_2SO_4, уходящий в сточные воды.

2. Если располагают недорогой электроэнергией, то возможно приготовление преципитата без постоянной затраты какой бы то ни было кислоты. Таков электролитический способ Пальмера, который состоит в следующем. Раствор хлорноокислого натра ($NaClO_4$) подвергают электролизу в особом аппарате, причем в анодном отделении получается кислота ($HClO_4$), а в катодном—раствор делается щелочным (образование NaOH). Кислая жидкость из анодного отделения проводится через батарею деревянных ящиков, наполненных фосфоритом, подлежащим выщелачиванию (система противотока). Обогащенный фосфорной кислотой и содержащий, кроме того, $Ca(ClO_4)_2$ раствор направляется навстречу катодной (щелочной) жидкости, количество которой регулируется так, чтобы при смешивании получалась лишь слабощелочная реакция; тогда вся фосфорная кислота выпадает в осадок в виде белого мелкокристаллического осадка двухкальциевого фосфата (преципитата). Осадок отделяется, промывается и сушится, раствор же, содержащий $^1/_2$ кальция, взятого из фосфата в виде $Ca(ClO_4)_2$, смешивается с остатком катодной жидкости; при этом выпадает большая часть извести в виде $Ca(OH)_2$ (оставшаяся часть удаляется введением CO_2), а в растворе регенерируется $NaClO_4$, возвращаемый снова в аппарат. Таким образом, в этом изящном способе затрачивается только электрическая энергия на то, чтобы отнять один атом Ca от $Ca_3(PO_4)_2$, заместить его водородом воды и превратить в $CaHPO_4$, а отнятый Ca оставить в соединении с двумя гидроксилами. Фосфат Пальмера отличается высокой растворимостью в лимоннокислом аммиаке и усвояемостью.

Хорошо приготовленный преципитат близок по действию к суперфосфату, тем более что последний при внесении в почву реагирует и с углекислым и с поглощенным кальцием и все равно дает тот же $CaHPO_4$, который содержится в преципитате. Высказывались предположения о некоторой разнице в пользу суперфосфата, которая может получаться вследствие того, что при его внесении выделение $CaHPO_4$ происходит в самой почве по мере передвижения растворимой P_2O_5 с почвенной влагой; поэтому получается более тонкое распределение фосфата, чем при внесении готового $CaHPO_4$. Однако на почвах, энергично связывающих фосфорную кислоту, это обстоятельство может привести и к обратному результату, а именно снижению доступности фосфорной кислоты суперфосфата для растений, вследствие более полного взаимодействия его с почвой и перехода в менее усвояемые формы (особенно на почвах, богатых полуторными окислами). На почвах, не насыщенных основаниями, различие между действием суперфосфата и преципитата может складываться в пользу последнего еще и потому, что при нем избегается всякое подкисление почвенного раствора; на почвах же *сильно песчаных во влажном климате* при внесении преципитата отпадает риск вымывания, связанный с внесением растворимых форм P_2O_5. Также при местном удобрении (например, под клубни картофеля) преципитат безопаснее суперфосфата. В итоге преципитат, *будучи на севере несколько лучше, а на юге часто несколько уступая суперфосфату, близок к равноценности с суперфосфатом* (кроме случаев неправильного приготовления, например, сушки при повышенной температуре).

В работах НИУ находим следующие данные относительно прироста урожаев от преципитата и суперфосфата для разных почвенных зон на фоне сульфата аммония и калийной соли (в процентах от урожаев по бесфосфатному фону)[1]:

тического аммиака, открываются более широкие возможности для того, чтобы использовать HNO_3 вместо H_2SO_4 для разложения фосфорита. Опытные работы в этом направлении осуществляются в настоящее время в Научном институте по удобрениям (НИУИФ).

[1] Общие средние для опытов с различными растениями.

Удобрения	Приросты урожая				
	Подзолы	Серая лесная супесчаная	Черноземы		
			деградированный	мощный	обыкновенный
Суперфосфат	23	70	58	49	34
Преципитат	32	62	65	47	18

Таким образом, на фоне $(NH_4)_2SO_4$ преципитат выше суперфосфата на подзолах и деградированных черноземах, внутри же черноземной полосы преципитат несколько уступает суперфосфату.

При опытах на лессовых почвах (сероземах) с хлопчатником получены были такие сравнительные результаты (Каунчинская опытная станция):

	Суперфосфат	Преципитат	Фосфорит
Прибавка урожая (хлопок-сырец):			
в килограммах	411	412	273
в процентах	24,2	24,5	16,9

Но для окончательного установления среднего соотношения нехватает многолетних данных (кроме того, см. данные географической сети НИУ ниже, стр. 335).

ТОМАСОВ ШЛАК

Это фосфорное удобрение получается в качестве отхода при переработке чугуна на железо и сталь; при этом образуется шлак, довольно богатый фосфором, от которого стараются освободить сталь и железо как от вредной примеси.

Дело в том, что железные руды обыкновенно содержат P_2O_5, которая при выплавке чугуна восстанавливается в P; присутствие последнего в больших количествах делает невозможным получение стали и железа должного качества. Для процесса бессемерования до восьмидесятых годов прошлого столетия употреблялся чугун, содержащий не более 0,1% фосфора и 0,05% серы, но в 1879 г. Томас сделал возможной переработку чугуна, содержащего большое количество P, введя в употребление «основной процесс» («томасирование») в отличие от прежнего «кислого» (в смысле избытка SiO_2) бессемерования.

Попутно этот процесс доставил сельскому хозяйству крупный и хорошо используемый источник P_2O_5, как это и предвидел Томас[1].

В этом измененном процессе бессемерования реторта (конвертер), в которой производится плавление чугуна, имеет внутреннюю обкладку из доломитового известняка; сверх того, к сплавляемому металлу прибавляется известь (CaO) для связывания образующегося при окислении фосфора фосфорного ангидрида (P_2O_5).

Процесс окисления совершается при вдувании воздуха. Сперва окисляется Si, потом Mn, а при 1 800—2 000° P сгорает в фосфорный ангидрид (P_2O_5), который с CaO образует известковую соль, всплывающую наверх в виде шлака вместе с кремнекислым Ca и другими примесями. При наклонении конвертера шлак стекает и, охлаждаясь, дает черную кристаллическую пористую массу. О результатах процесса можно судить по следующим цифрам:

	C	Si	Mn	P	S
Чугун содержал	3%	1,3%	1,5%	2,5%	0,2%
Сталь из того же чугуна содержала	0,4%	следы	0,76%	0,02%	0,03%

[1] «Your enemy, our friend phosphorus», т. е «ваш (металлургов) враг, наш (земледельцев) друг—фосфор»—эти слова Томаса указывают, что он предвидел двойное значение своего открытия.

Полученный в данном случае шлак содержал (в процентах):

SiO_2	12
Окислы Fe и Mn	11
P_2O_5	16
$CaO+MgO$	54

Состав шлака изменяется в зависимости от состава чугуна, от количества извести, примеси к ней MgO и некоторых других обстоятельств. Колебания возможны в таких пределах (в процентах):

P_2O_5	16—20*	MnO	5—6
CaO	45—55	SiO_2	6—8
MgO	2—4	Al_2O_3	1—2
Fe (закись и окись)	12—16		

В томасовом шлаке, сверх ожидания, фосфорная кислота оказалась легко усвояемой; говорим «сверх ожидания», потому что удобрение это получается при очень высокой температуре и при наличности избытка извести, следовательно, можно было ожидать образования трехкальциевого фосфата, который в прокаленном состоянии отличается плохой усвояемостью.

Поэтому первые опыты применения томасова шлака (в 1884—1885 гг.) в Германии были поставлены на кислых почвах. Оказалось, что это удобрение на торфяных почвах вполне заменяет суперфосфат и преципитат, но затем были получены хорошие результаты и на других почвах, однако для равного эффекта с суперфосфатом в этих случаях часто нужно было вносить шлака в $1\frac{1}{2}$ раза больше (по расчету на P_2O_5). Но на песчаных и торфяных почвах равные количества могут давать тот же или даже больший эффект (см. пример на стр. 310).

Растворимость P_2O_5 томасова шлака в лимоннокислом аммиаке, в воде с углекислотой и в уксусной кислоте довольно велика. Так, слабая уксусная кислота за 72 часа растворила из 100 частей P_2O_5:

В томасовом шлаке (a)	58%
» (b)	54%
» (c)	36%
В фосфоритах разного происхождения	6—10,9%

При оценке томасова шлака обращают внимание: 1) на содержание P_2O_5; 2) на степень размола (чем мельче частицы, тем лучше); большинство частиц шлака должно проходить через сито № 100, диаметр отверстий которого равен приблизительно 0,17 мм; 3) на растворимость шлака в лимоннокислом аммиаке или 2% лимонной кислоте; эта растворимость колеблется у разных шлаков в широких пределах—от 8 до 22% P_2O_5 (в процентах от навески) или от 39 до 93% от всей P_2O_5 и иногда даже более.

Вообще *томасов шлак разного происхождения не представляет однообразного по растворимости и эффекту действия удобрения.*

Некоторые исследователи, например, Вагнер, считают степень растворимости шлака в водном растворе лимоннокислого аммиака хорошим показателем усвояемости P_2O_5 удобрения растениями. В опытах Вагнера это подтверждается следующей серией относительных чисел:

Растворимость	100	85	81	72	73	56	39	48	42	45	38
Удобрительное действие	100	80	72	72	66	63	40	38	38	31	3

На основании своих опытов Вагнер считает возможным оценивать шлаки разного происхождения по показаниям вытяжки лимоннокислым аммиаком или слабым раствором лимонной кислоты (теперь принято последнее).

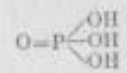
Но не все исследователи совершенно согласны с таким методом оценки; так, Грандо указывал, что лишь при резких разницах в растворимости фосфатов наблюдаются соответственные разницы и в урожаях, полного же параллелизма не наблюдается. Вот цифры для одного опыта Грандо:

Растворимость (процент от всей P_2O_5)	90	60	56	37
Прирост урожая фасоли	100	63	65	67
» » картофеля	100	82	75	64

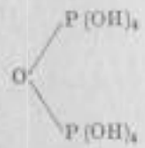
Но очевидно, что, например, градация по растворимости P_2O_5 разных шлаков, совпадающая (допустим) с усвояемостью для хлебов, не обнаружит этого совпадения для люпина, гремяка и пр.; этого обстоятельства не учитывали прежде. Еще более сильным является влияние почвы; так, на торфянистых почвах эффект выше, чем растворимость в 2% лимонной кислоте; весьма возможно, что если бы эти условия были приняты во внимание, то некоторые случаи несовпадения нашли бы свое объяснение. Во всяком случае определение растворимости P_2O_5 шлака позволяет разделить шлаки хотя бы на две группы—легко растворимых и трудно растворимых. В условиях капиталистических стран определение растворимости имеет практическое значение как указатель степени чистоты шлака при контрольных анализах; ими пренебрегать нельзя, вследствие часто встречающейся тем фальсификации томасова шлака путем примешивания к нему фосфорита, фосфорная кислота которого в лимоннокислом аммиаке малорастворима (при этом с целью придать фальсифицированному материалу черный цвет шлака смешивают его с углем или со шлаками, не имеющими ценности).

Ближайшая причина разного отношения к растворителям заключается в том, что в томасовом шлаке мы имеем дело не с одним каким-либо фосфатом, а со смесью соединений более растворимых и менее растворимых, причем в разных образцах эти два рода соединений представлены в разных соотношениях. Несмотря на избыток кальция, более растворимая часть напоминает по свойствам и усвояемости преципитат ($CaHPO_4$), именно она легко поддается действию лимоннокислого аммиака и 2% лимонной кислоты, другая же часть, подобная апатиту, чрезвычайно трудно поддается действию этих растворителей и разлагается только сильными кислотами.

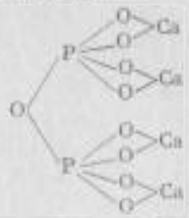
Что касается легко растворимой части, то полагают, что для томасова шлака характерно содержание особого соединения с избытком CaO против P_2O_5, именно тетракальциевого фосфата $4CaO \cdot P_2O_5 = Ca_4P_2O_9$, не встречающегося в фосфоритах и апатитах, но свойственного термофосфатам, т. е. фосфатам, получаемым при высоких температурах и избытке оснований. В этом соединении на то же количество P_2O_5 приходится не три атома кальция, а четыре, что объясняют следующим образом: это—соединение не обычной трехосновной фосфорной кислоты:



которая может связать только три эквивалента кальция, но это известковая соль дифосфорной кислоты; строение ее схематически можно представить так:



дифосфорная кислота
$H_4P_2O_7$



тетракальциевый фосфат
$Ca_4P_2O_9$

Приходя в соприкосновение с водой при внесении в почву, тетракальциевый фосфат должен распадаться, отщепляя избыток CaO (который связывается почвой) и образуя своеобразный трехкальциевый фосфат, который содержит кристаллизационную воду и хорошо усвояется растениями (в отличие от безводного трехкальциевого фосфата, который отличается плохой усвояемостью).

Но, кроме того, в томасовом шлаке заведомо находятся еще двойные соединения фосфорнокислого и кремнекислого кальция, отличающиеся также хорошей растворимостью в лимонной кислоте и лимоннокислом аммиаке, как и тетракальциевый фосфат[1].

Для выяснения ближайшего состава томасова шлака прибегали к методу разделения кристаллов медленно охлажденного шлака с помощью тяжелых жидкостей разного удельного веса. Некоторые авторы наблюдали при этом следующие три рода кристаллов: 1) минерал ромбической системы желтого цвета—тетракальциевый фосфат; растворимость в лимоннокислом аммиаке—88%; 2) минерал синего цвета моноклинической системы—двойная соль

* Иногда получаются шлаки и с меньшим содержанием фосфора (например, 7—8% P_2O_5), но они невыгодны для транспорта на значительные расстояния (сохраняя, однако, ценность в качестве местных удобрений).

[1] Некоторые авторы не выделяют тетракальциевого фосфата из общего известково-кремне-фосфатного комплекса, придавая последнему формулу $5CaO \cdot FeO \cdot SiO_2 \cdot P_2O_5$, причем частично Ca и Fe могут замещаться и другими основаниями.

кремневой и фосфорной кислот, состава $4Ca_3(PO_4)_2+3Ca_2SiO_4$ (растворимость около 95%); 2) кристаллы гексагональной системы, напоминающие апатит (состав не вполне определен ввиду трудности выделения), растворимость низкая.

Эти исследования позволяли установить связь растворимости P_2O_5 в томасовом шлаке с наличностью кристаллов первого и второго рода, причем оказалось возможным искусственно повысить количество кристаллов второго типа за счет третьего (трудно растворимого), введя кремнекислоту (кварц) в горячий шлак, чем и стали пользоваться на практике для повышения достоинства шлака. Наоборот, присутствие фтора действует неблагоприятно на растворимость P_2O_5 в шлаках, и утверждают, что достаточно 8 частей CaF_2, чтобы сделать нерастворимыми 100 частей $Ca_3(PO_4)_2$, вследствие образования соединения $CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4)_2$.

Ввиду неодинаковой растворимости шлаков разного происхождения нельзя дать общего коэфициента для сравнения действия шлака с суперфосфатом, а кроме того, чем кислее почва и чем меньше ее поглотительная способность, тем этот коэфициент выше, а *на бедных подзолах и моховых торфяниках часто наблюдается и абсолютный перевес действия шлака над действием суперфосфата* (то же нередко наблюдается при удобрении северных лугов, почва которых часто отличается кислыми свойствами). Вот два таких примера (урожай в центнерах с 1 га):

Культуры (в скобках фамилия исследователя)	Удобрения			
	NK	NK + суперфосфат	NK + томасов шлак	Почвенные условия
Картофель (Грандо)	88,3	262,1	278,9	Бедная песчаная почва
Вико-овсяная смесь (Толчинский) .	32,8	43,2	56,1	Болото переходного типа

Лучшее действие шлака сравнительно с суперфосфатом на песчаных и торфяных почвах может быть объяснено следующими главными причинами: если эти почвы имеют некоторую кислотность, то усвояемость фосфорной кислоты шлака возрастает и выравнивается с усвояемостью фосфора в суперфосфате; одновременно щелочность шлака способствует известному снижению вредного действия кислотности почвы (конечно, это зависит от дозы удобрения).

Так как в шлаке, помимо фосфора и кальция, содержатся и другие элементы (Mg, Mn), то в известных случаях (и особенно на бедных почвах, песчаных и торфяных) они могут иметь самостоятельное значение как питательные вещества.

Заметим, что при сравнительной оценке действия томасшлака и суперфосфата надо еще иметь в виду и то, что шлак обладает длительным последействием, значительно большим, нежели суперфосфат.

Значение томасова шлака в разных странах весьма различно, так как его производство нельзя организовать по заказу, а в зависимости от характера железных руд и развития металлургии получается то или иное его количество, независимо от структуры сельского хозяйства данной страны. Для сравнения относительного значения шлака и суперфосфата приведем следующие данные по применению того и другого в разных странах (в тысячах тонн):

	Супер-фосфат	Томасов шлак		Супер-фосфат	Томасов шлак
Германия 1913 г. . . .	1 637	2 419	США 1938 г.	3 244	*
Германия 1937 » . . .	950	2 312	Италия 1938 »	1 406	—
Франция 1913 » . . .	1 935	—	Япония 1936 »	1 437	—
Франция 1938 » . . .	1 168	860	СССР 1938 »	1 897**	40
Бельгия 1937 » . . .	288	673	Все страны в		
Англия 1936 » . . .	427	302	сумме (1937 г.)	16 100	5 630

* За 1938 г. нет сведений (в 1928 г.—18 тыс. т).
** В пересчете на американский стандарт.

Как видно, наибольшие количества шлака применяет Германия. Так как после войны 1914—1918 гг. для нее было трудно приобретать сырье для суперфосфата, то доля суперфосфата в снабжении Германии снизилась, а для томасова шлака относительно поднялась настолько, что на шлак приходится около 70%, а на P_2O_5 шлака—около 75% от всего снабжения страны фосфатами. Франция, получившая после войны 1914—1918 гг. руды Лотарингии, стала на второе место по применению шлака. В мировом применении фосфатов на томасов шлак приходится около 26%, на суперфосфат—74% (см. рис. 30).

В СССР главные месторождения железных руд, относительно богатых фосфором, находятся на Керченском полуострове; к ним примыкают Таманское, Хоперское и Лисичье месторождения (имеются указания и на другие месторождения, детально еще не исследованные). После запасов железных руд в Кривом Роге и в районе Курской аномалии Керченское месторождение является одним из крупнейших в Союзе (общий запас 2 700 млн. т).

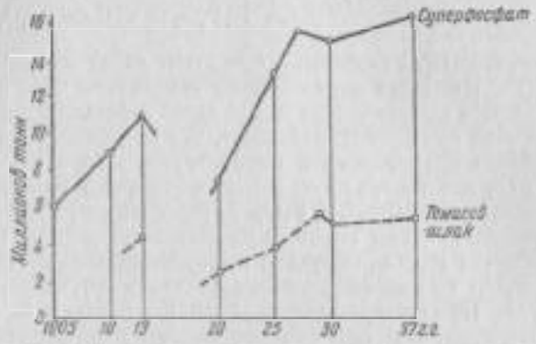


Рис. 30. Рост мирового производства главных фосфорнокислых удобрений.

Наличие в этих рудах фосфора в количестве около 1%, по подсчетам проф. Кантора, дает возможность при их плавке получить в итоге около 250 млн. т томасшлака. Однако степень использования этого потенциального богатства будет зависеть от направления и темпов развития металлургической промышленности.

Пока у нас имеется Керченский завод, способный дать около 100 тыс. т шлака в год, а затем строится гораздо более крупный завод в Мариуполе (Азовсталь), который должен давать около 1 млн. т шлака.

Кроме томасова шлака, есть еще некоторые виды шлаков, не столь богатые фосфором, но могущие служить для местного применения, таковы мартеновские шлаки (если они получены при введении извести, вообще избытка оснований). Мартенование отличается от томасирования (и бессемерования) тем, что при нем получают сталь из чугуна (т. е. понижают процент углерода) не столько путем окисления, сколько сплавлением чугуна с железом. Шлак при этом получается, вообще говоря, низкопроцентный, но можно некоторыми приемами сконцентрировать фосфор в одной части шлака и эту часть использовать на удобрение; именно рекомендуется «производить работу в двух мартеновских печах с основным подом, причем в первую вносить немного извести, не добиваясь полной дефосфорации, а во второй печи заканчивать дефосфорацию при избытке извести; тогда в первой печи будет получаться шлак со значительным содержанием фосфора»[1]. Усвояемость P_2O_5 в образцах мартеновских шлаков с Урала, по нашим предварительным опытам, оказалась довольно хорошею, а так как для подзолистых почв Приуралья нужна также и известь, то применение низкопроцентных шлаков, помимо обогащения почвы фосфором, может еще заменить и известкование.

В последнее время инж. Нерпиновым предложен способ получения удобрения типа томасшлака путем сплавления доменных шлаков с фосфоритом или апатитом (получаемые удобрения называют фосфат-шлаками). При взаимодействии фосфорита или апатита со шлаками при высокой температуре образуются продукты со значительным содержанием усвояемой фосфорной кислоты. Этот прием является частным случаем так называемой термической переработки фосфатов.

[1] Любавин, Техническая химия.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ФОСФАТОВ

На примере томасова шлака мы видели, что полурастворимые фосфаты значительной усвояемости могут образоваться даже при высоких температурах при избытке оснований, что объясняется неустойчивостью возникающих при этом соединений, которые в почве при действии воды переходят, с отщеплением избытка извести, в соли обычной (трехосновной) фосфорной кислоты; последние же в свежеосажденном состоянии все отличаются хорошей усвояемостью.

Отсюда возможность искусственного подражания этому процессу путем сплавления (спекания) фосфорита или апатита со щелочами, причем получаются, вероятно, тоже соединения, подобные тетракальциевому фосфату, но с замещением части кальция щелочами, при одновременном участии кремнекислого кальция по типу:

$$Ca_3Na_2P_2O_8 \text{ (или } Ca_3K_2P_2O_8) + CaSiO_3;$$

продукты, получаемые при этом, носят название *термофосфатов*.

Наиболее определенные результаты получаются при сплавлении с углекислыми щелочами; не входя здесь в рассмотрение случаев применения этих способов за границей, отметим, что применительно к нашему сырью первые опыты были произведены в лаборатории автора (начиная с 1908 г.). Они показали, что, например, костромские фосфориты при сплавлении с 25—50% соды дают продукт с 22—25% P_2O_5, из которых от 74 до 98% растворимо в лимоннокислом аммиаке. При сплавлении вятского фосфорита с золой подсолнечника, которая богата K_2CO_3, получено было калийно-фосфатное удобрение (19% K_2O и 17% P_2O_5; из них 85% лимоннорастворимы).

При этом способе переработки общее содержание P_2O_5 снижается не в такой степени, как при суперфосфатном производстве, во-первых, потому, что соды берется меньше, чем серной кислоты, во-вторых, потому, что при сплавлении происходит некоторое уменьшение веса, так как выделяется CO_2, вытесняемая кремнекислотой (обычно фосфориты содержат SiO_2 в виде кварца). Поэтому путем сплавления можно перерабатывать и не столь высокопроцентное сырье (например, 20—23% P_2O_5); кроме того, по этому способу могут перерабатываться и те фосфориты, в которых содержание железа и глинозема слишком велико, чтобы из них готовить суперфосфат.

У нас наиболее крупным источником сырья для приготовления термофосфатов может являться, как и в случае суперфосфатного производства, хибинская апатитово-нефелиновая порода (и отчасти фосфориты Кара-Тау и др., но в тех разностях, которые не столько богаты P_2O_5, чтобы итти на производство суперфосфата). Кроме предварительных опытов, проведенных в нашей лаборатории, более детальное изучение процесса разложения апатита содой (при разном участии нефелина в породе) было проведено в НИУ, причем установлено, что, в зависимости от исходного материала, можно получить термофосфаты с 16—29% лимоннорастворимой P_2O_5 (90—98% растворимости всей P_2O_5).

Получение термофосфатов требует применения соды, которая может оказаться дефицитной, поэтому весьма интересными являются пути использования щелочей, содержащихся в нефелине (нефелиновые хвосты получаются в Кировске при обогащении породы апатитом; помимо того, поблизости имеются целые горы нефелиновых пород, не содержащих апатита).

Кроме использования щелочей нефелина путем введения его в смесь (с добавкой $CaCO_3$), предвидится возможность получения из нефелина отходных щелочей при процессе выделения глинозема (для получения металлического алюминия); именно при нагревании нефелина с $CaCO_3$ кальций отнимает кремнекислоту, а щелочи соединяются с алюминием, давая алюминаты калия и натрия:

$$(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2CaCO_3 = 2CaSiO_3 + 2(Na, K)AlO_2 + 2CO_2.$$

При обработке водой в раствор переходит алюминаты, их разлагают углекислотой (которая имеется тут же); оседает глинозем, идущий на алюминиевый завод, а в растворе остается смесь Na_2CO_3 и K_2CO_3. Сгущая раствор (вымораживанием и выпариванием), можно

дальше, без разделения смеси, употреблять углекислые щелочи для производства термофосфатов.

Кроме нагревания с $CaCO_3$, имеется другой путь выделения Al_2O_3, именно с помощью сернистого газа, при котором отходом будут не углекислые, а сернистокислые щелочи, которые также могут быть использованы для приготовления термофосфатов.

По свойствам и характеру действия термофосфаты близки к томасшлаку.

Термофосфаты для кислых почв нашего севера явятся удобрением более подходящим, чем суперфосфат; кроме фосфора, они будут содержать некоторое количество калия, а их производство в то же время позволит разрешить задачу снабжения севера усвояемыми фосфатами без новых затрат на производство серной кислоты.

Кроме сплавления с содой есть способы, в которых применяется Na_2SO_4 или $NaHSO_4$, но так как при этом вводят уголь, то в конце концов дело сводится тоже к образованию Na_2CO_3 при самом процессе сплавления.

Если подвергают смесь фосфатов с углем действию высоких температур в кислой среде (избыток SiO_2), то процесс получает совершенно другое направление. При высоких температурах кремнекислота вытесняет фосфорную кислоту; под влиянием угля последняя восстанавливается до *свободного фосфора*, который возгоняется и может быть уловлен как таковой, или окислен и уловлен водой (производство фосфорной кислоты), или, наконец, продукты окисления могут быть уловлены мелом; так могут быть получены фосфорные удобрения высокой концентрации (тройной суперфосфат[1], или «гиперфосфат», и подобные ему продукты). Это осуществляется в электрических печах (электрическая термовозгонка), а кроме того, ведутся опыты по возгоне фосфора в доменных печах (способ Брицке), при благоприятном исходе которых можно было бы, например, из низкопроцентного курского самородка получать наиболее высокопроцентные фосфаты для применения в свеклосахарном районе без того, чтобы прибегать к транспорту апатитового концентрата из-за полярного круга в Украину. По электровозгонке построен теперь опытный завод в Кировске, а затем должен быть создан крупный завод в Кандалакше, где будет использована энергия реки Ниды. Таким образом, северный комбинат в его трех звеньях (Кировск, Монча-Тундра, Кандалакша) может давать не только апатитовый концентрат для суперфосфатных заводов юга и термофосфаты для удобрения почв севера, но частью и «сверхфосфаты» для дальнего транспорта (Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия) и экспорта; он же явится источником щелочей (в связи с получением металлического алюминия из нефелина) и серы (в связи с переработкой никелевых и железных руд Монча-Тундры), не говоря о ряде других ценных ископаемых, не имеющих прямого отношения к производству минеральных удобрений[2].

КОСТЯНАЯ МУКА

Кости представляют довольно видный источник фосфорной кислоты для сельского хозяйства. Размолотая кость была одним из первых (если не самым первым) проданным концентрированным удобрением, хотя лишь

[1] Так, при разложении технически чистой фосфорной кислотой апатитового концентрата получается тройной суперфосфат с 46—49% водорастворимой P_2O_5, а при улавливании паров фосфора мелом в опытах Брицке получались продукты с содержанием до 60% водорастворимой P_2O_5 в форме или однокальциевого фосфата, так частью и свободной H_3PO_4, в пределах сохранения продуктом хороших физических свойств.

[2] Кроме перечисленных выше способов переработки фосфоритов, укажем в заключение еще на один особый способ, который в настоящее время изучается—хлорирование фосфоритной муки. Опыты, проведенные в последнее время (В. В. Бутьевич, ВИУАА и др.), показали, что при обработке газообразным хлором происходят частичные изменения состава фосфоритной муки, сопровождающиеся некоторым повышением растворимости P_2O_5. Так как фосфоритная мука содержит органические вещества и влагу (влажность может быть повышена смачиванием), то при действии хлора получаются HClO и HCl, действующие на $CaCO_3$ и $Ca_3(PO_4)_2$; оказалось, что если искусственно повысить содержание органического вещества добавлением торфяного порошка, то образование солянной кислоты при хлорировании усиливается и усвояемость P_2O_5 фосфорита значительно повышается. Такой хлорированный фосфорит получил название «хлорофос».

в 1769 г. Шееле и Ган открыли фосфор в костях, но китайцы еще за несколько столетий до этого пользовались костью как удобрением. В Европе в 1775 г. James Hunter (Линкольншир) рекомендовал удобрять почву костями; первые фабрики для переработки кости на удобрение возникли в Шотландии, затем в Англии, причем Англия, увеличивая спрос на кости, стала ввозить их со всей Европы. В тридцатых годах появилась первая мельница в Силезии; под влиянием Либиха с 1850 г. Германия постепенно перестала вывозить кость в Англию; мало того, спрос на кость превысил ее наличность, и Германия начала ввозить кость из России.

Кости состоят из органических и минеральных веществ, преимущественно из $Ca_3(PO_4)_2$. Вот средний состав костей (в процентах):

$Ca_3(PO_4)_2$	58—62
$Mg_3(PO_4)_2$	1—2
$CaCO_3$	6—7
CaF_2	2
Органические вещества (жир и клей)	26—30
N (в клеевом веществе)	4—5

Органическая часть состоит главным образом из *жира* и *оссеина* (вещество, дающее клей с 18% N).

Фосфат, жир и оссеин лучше всего могут быть разделены в костях следующим образом: жир извлекается бензином (или сероуглеродом, эфиром), зольные вещества растворяются в кислотах; можно извлечь из костей минеральные вещества соляной кислотой; при этом остается мягкий остов кости из органического вещества—оссеина; оссеин, разваривaясь в воде при нагревании, дает желатину (клей). Но возможны разные переходы от применения костей целиком, что означает неполное использование их составных частей, до совершенного их разделения и использования порознь, что дает высшую оплату сырья.

Сырая кость трудно поддается измельчению, с трудом разлагается в почве.

В свое время Энгельгардт и Ильенков предложили хозяйственный способ обработки костей щелочами. При обработке костей едким кали KOH вследствие растворения клеевого вещества структура кости нарушается, и она распадается, причем трехкальциевый фосфат (химически неизмененный) получается в состоянии легко размельчающейся в порошок рыхлой массы. Но едкие щелочи—вещества дорогие и не удобны для обращения в хозяйстве, вследствие чего рекомендовался такой способ: в непроницаемый для воды резервуар (яму или яму, выложенную досками или кирпичом) накладываются грубо измельченные кости и пересыпаются гашеной известью; смесь поливается раствором поташа, реагируя с которым, $Ca(OH)_2$ освобождает KOH. Смесь по временам смачивается водой и недели через 2—3 перекладывается так, чтобы лежащие вверху кости легли низ; еще через 2—3 недели получается мягкая творожистая масса. На 12 пудов кости берут 2 пуда $Ca(OH)_2$ и 1 пуд поташу, растворенного в 20 ведрах воды (Энгельгардт).

Предлагали вместо поташа брать золу растений с соответствующим содержанием углекислых щелочей. Считают, что березовой золы нужно брать в количестве, приблизительно равном по весу массе костей, а гречишной—75% от последней. Известь берут в том же отношении, как сказано выше. Если зола бедна поташом (зола хвойных), то разложения не происходит. Можно значительно ускорить разложение, если подвергнуть смесь из костей, поташа и извести варке в котле в течение 3—4 часов.

Однако этот способ не получал промышленного значения, так как при нем остаются неиспользованными такие ценные составные части костей, как жир и клеевые вещества; поэтому компостирование костей с золой и известью может представлять интерес только в таких условиях, при которых более совершенная их переработка не осуществляется.

Простой, но грубый способ использования фосфата костей состоит в том, что органическое вещество сжигают, получая костяную золу. Для этого кости пережигают в печах или кучах. Иногда же костяная зола получается попутно: так, в Южной Америке древесный материал является сравнительно ценным, костей же получается много; поэтому (по некоторым сведениям) иногда там топят печи (вернее, топили) сухими костями, причем получается масса костяной золы (Ла-Плата). Промежуточным продуктом обжигания является костяной уголь, употребляемый на сахарных заводах для фильтрования и отчасти идущий и на удобрение. Оказывается, однако, что операции обжигания не является

безразличной для качества удобрения: усвояемость P_2O_5 костяной золы значительно меньше, чем у необожженной кости; в лимонной кислоте, например, растворилось P_2O_5 (в процентах от навески):

В костяной муке	17,7	18,1	17,8
В костяной золе (из той же муки)	7,2	8,0	6,2

Из 100 частей P_2O_5 растворялось (при хорошем измельчении) в случае костяной муки 74—93%, после же озоления—32—43%*. Конечно, в костяном угле (отброс сахарных заводов) растворимость не столь низка, как в костяной золе, но все же она ниже, чем в необожженной кости.

При других способах обработки кости стараются одновременно утилизировать содержащиеся в ней азотистые вещества и жиры, для чего кости обрабатывают кипящей водой, паром под давлением, экстрагируют соответствующими растворителями (бензином и др.), обрабатывают кислотами.

Смотря по способу обработки, получается сырая размолотая кость, пареная, обезжиренная костяная мука и пр.

Остановимся несколько на этих подготовительных процессах, чтобы составить себе понятие о самых продуктах.

Извлечение органических вещества из кости (для облегчения размола) достигается лишь отчасти варкой измельченной кости в открытых котлах. При этом жир всплывает наверх и может быть использован, но нельзя того же сказать относительно клея, так как при этом лишь часть оссеина переходит в раствор и последний является слишком жидким; это обстоятельство составляет существенный недостаток такого способа. Полученная из такого материала костяная мука является отчасти и азотистым удобрением, так как содержит еще 3—4% N.

Лишь при обработке паром под давлением оссеин сполна переходит в клей; но только часть этого клея извлекается конденсирующейся на костях водой; если кости после варки прямо измельчаются, то и получается пареная костяная мука, содержащая азотистые вещества, если же клей извлекается горячей водой (повторная обработка по принципу противотока, наподобие диффузоров в свеклосахарном производстве), то получается *обесклеенная* мука, содержащая уже мало азота. Однако нужно заметить, что чем полнее удалены клей и жир, тем костяная мука будет относительно богаче фосфорной кислотой.

Теперь для получения жира чаще употребляется экстракционный способ, при котором жир извлекается бензином; последний отгоняется и вновь употребляется на экстракцию; обезжиренная кость пропаривается для удаления бензина; в результате получается продукт, подобный пареной кости, но с более полным удалением жира, который препятствует разложению костей в почве, мешая смачиванию частиц водой; будучи же выделен, жир является продуктом более ценным, чем сама костяная мука. При возможно полном использовании всех составных частей кости можно организовать производство костяной муки дешевле, нежели в том случае, когда она является единственным поступающим в продажу продуктом.

Для обработки костей употребляют также и химические агенты—кислоты и щелочи.

Для получения костяного суперфосфата на кости, лишенные предыдущими обработками части органического вещества, действуют серной кислотой. Так как кость легко разлагается серной кислотой, то ее переработка возможна даже на заводах кустарного типа (но вследствие того, что на целом ряде почв

* В одном из наших опытов (песчаные культуры) прокаливание влияло на усвояемость фосфата кости следующим образом:

Урожай (в граммах)

Без P_2O_5	1,34
Костяная зола	9,26
» мука	31,14

костяная мука может применяться непосредственно, то правильнее на суперфосфат перерабатывать фосфориты).

Другой тип химической переработки костей связан с получением *желатины* и *преципитата*; для этого кости после предварительной подготовки (извлечения бензином) обрабатывают водой с HCl*, извлекающей ценные вещества; мягкий остов кости будет состоять из оссеина, который при нагревании с водой дает лучшие сорта клея (желатину). Солянокислый экстракт нейтрализуют $Ca(OH)_2$ и получают в осадке $CaHPO_4$ (преципитат), освобождаемый отмыванием от $CaCl_2$, остающегося в растворе.

Состав костяной муки зависит от ее происхождения и способа приготовления.

Содержание главных составных частей кости при разной обработке колеблется в следующих пределах (в процентах):

	N	Жир	P_2O_5
Сырая кость	3—5	8—10	15—20
Кость сваренная (не под давлением)	3,3—4,3	6—8	18—22
Паренная мука	4	4	20—24
Обезжиренная мука	0,7—1,2	1,2	29—34

По вопросу об удобрительном значении костяной муки высказывались весьма противоречивые мнения, что зависит от большой отзывчивости фосфата костей к условиям растворения его в почве. Здесь мы имеем дело с модификацией трехкальциевого фосфата, поддающейся действию растворителей гораздо легче, чем апатит и фосфориты, но растворимость фосфата костей подавляется в присутствии $CaCO_3$. Поэтому те исследователи, которые считали нужным сопровождать внесение удобрений предварительным внесением извести (что имеет смысл при внесении растворимых солей на почвах ненасыщенных), получали для костяной муки неизменно плохие результаты. При наших опытах, проведенных в песчаных культурах (с целью исключить растворяющее влияние почвы), внесение $CaCO_3$ в дозах от 0,3 до 1% от веса песка сказалось следующим образом на действии костяной муки:

	Растворимый фосфат	Костяная мука + $CaCO_3$			Без фосфора
		0%	0,3%	1%	
Урожай овса (в граммах)	19,2	8,3	3,9	1,7	0,9

Будучи чувствительна к подавляющему влиянию извести, костяная мука в то же время чрезвычайно отзывчива и к обратным влияниям; так, в нейтральной среде (чистый песок) переход от одного источника азота к другому сказывается резко на поведении костяной муки. Наши опыты, например, показали, что в песчаных культурах замена селитры не только сульфатом аммония, а даже аммиачной селитрой резко повышает усвояемость фосфата костей; вот результаты одного из вегетационных опытов (см. также рис. 31):

	Без фосфора	Костяная мука		Растворимый фосфат	
		$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3
Урожай овса (в граммах)	1,67	3,3	36,2	36,0	23,6

* В отличие от преципитатного производства из фосфоритов, где можно брать серную кислоту, здесь непременно нужна соляная, ибо при действии серной кислоты на неизвлекаемую кость образовалась бы корка гипса, мешающая проникновению кислоты вглубь, да и оссеин был бы загрязнен отложением в нем гипса.

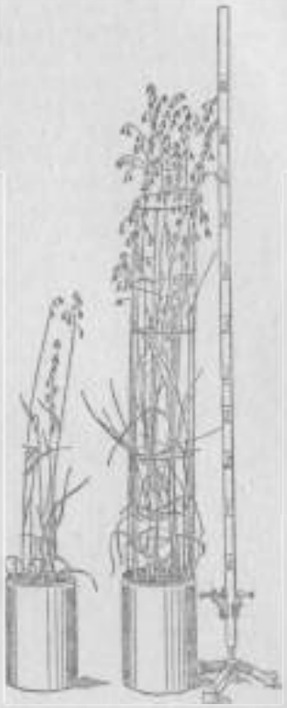
В полевой обстановке главная роль принадлежит почве; костяную муку не следует применять на почвах, богатых известью, но на почвах даже слабой кислотности она действует хорошо. Так разъяснились прежние противоречия, сталкивавшиеся не только в данных опытах разных авторов, но и такие факты, что, например, в одной из провинций Швеции крестьяне издавна предъявляли большой спрос на костяную муку, а в другой—совершенно не хотели ее брать; причина оказалась в том, что в первом случае почвы образовались на гранитных породах, в которых известь отсутствует, а во втором—на известняках[1].

Соответственно этому у нас *условия, благоприятные для применения костяной муки, имеются в районе подзолистых почв и деградированных черноземов*, конечно же не только суперфосфат и преципитат, но и томасов шлак будут иметь преимущество перед костяной мукой, так как названные фосфаты не так чувствительны к присутствию $CaCO_3$ в почве, как костяная и фосфоритная мука.

Данные опытов географической сети НИУ, в которых сравнивается действие костяной муки с другими фосфатами на фоне $(NH_4)_2SO_4$ и $NaNO_3$, приведены ниже (см. стр. 335).

О СРАВНИТЕЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФОСФАТОВ, ДОСТАВЛЯЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ, И ОБ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРИТНОЙ МУКИ

Все разнообразие форм фосфатов, встречающихся в удобрениях, может быть сведено по их отношению к растворителям к трем группам, хотя и состоящим иногда из неоднородных в других отношениях компонентов.



$Ca(NO_3)_2$ NH_4NO_3

Рис. 31. Влияние источника азота на использование фосфата костей (песчаные культуры).

1. *Растворимые фосфаты* (имеется в виду растворимость в воде). Сюда относится типичная составная часть суперфосфата, как простого, так и двойного, кислый одноазамещенный фосфат $Ca(H_2PO_4)_2$ (конечно, растворима и в воде и свободная H_3PO_4, в небольших количествах встречающаяся в суперфосфатах); эти формы сами по себе сполна усвояемы для растений, но при взаимодействии с почвой часть фосфорной кислоты вновь переходит в трудно доступные соединения.

2. *Полурастворимые фосфаты*, т. е. растворяющиеся в лимоннокислом аммиаке (так называемый реактив Петермана) и усвояемые растениями в меру этой растворимости. Сюда относятся два типа соединений: а) двухзамещенный или двухкальциевый фосфат $Ca_2H_2(PO_4)_2$ или $CaHPO_4$, главная составная часть преципитата, сполна растворяющаяся в реактиве Петермана; б) тетракальциевый фосфат томасова шлака (и искусственных термофосфатов) и те двойные соединения с кремнекислотой, от присутствия которых зависит доля «лимоннорастворимой» P_2O_5 в шлаках и термофосфатах.

* Этим же объясняются противоречия в оценке действия костей, которые имели место в конце прошлого столетия между такими видными авторами, как Ю. Кюн и Пасел Вагнер: первый преувеличивал превосходное действие костяной муки на песчаной почве, но он не вносил извести, а азот вносил в виде $(NH_4)_2SO_4$, второй, наоборот, нашел, что кость действует так же плохо, как и фосфорит, но он вносил в почву в качестве фона $CaCO_3$, а азот давал в виде $NaNO_3$.

3. *Фосфаты нерастворимые* ни в воде, ни в лимоннокислом аммиаке и неусвояемые непосредственно или плохо усвояемые главными растениями полевой культуры (зерновыми хлебами); сюда относятся безводный (например, прокаленный) трехкальциевый фосфат[1] $Ca_3(PO_4)_2$, фосфат костей, в особенности же комплексные соединения, в которые входит, кроме трехкальциевого фосфата, еще фтористый кальций CaF_2 (так называемое апатитовое ядро, встречающееся не только в самых апатитах, но и в фосфоритах в различных модификациях). Эти фосфаты могут быть переведены в усвояемые для всех растений соединения (1-я и 2-я группы) под действием сильных кислот (но фосфат костей при этом разлагается гораздо легче, чем фосфориты и апатиты).

По вопросу о непосредственном использовании *фосфоритной муки* на удобрение существует немало противоречий; так, с одной стороны, в Германии пришли к выводу, что для большинства почв «пора перестать считать фосфориты удобрением, так как они представляют лишь сырой материал для приготовления фосфорнокислых удобрений»; но, с другой стороны, во Франции еще в шестидесятых годах прошлого столетия фосфориты использовались с успехом для коренного улучшения вересковых пустошей в Бретани (Landes), правда, при внесении очень больших количеств. У нас еще в шестидесятых годах прошлого столетия, вскоре после того как Энгельгардт и Ермолов описали курские фосфориты, пробовали применять их размол на удобрение, но без результата; то же было с подольскими фосфоритами, но в восьмидесятых годах Энгельгардт имел успех с применением смоленских фосфоритов. Однако в то время было совершенно неясно, в чем лежала причина этой разницы: в различии ли климата между Смоленском и Курском (разное количество растворителя—воды), в различии ли почв или в свойствах фосфоритов; хотя ставилось большое количество полевых опытов, но довольно бессистемно, и когда к выставке 1895 г. Московским обществом сельского хозяйства издан был большой том по сводке этих опытов, определенных выводов сделать не удалось[2], настолько результаты опытов были противоречивы.

Рис. 32. Опыт с пшеницей (песчаные культуры).

С 1896 г. начаты были вегетационные опыты по фосфоритному вопросу автором настоящей книги, в целях расчленения его на отдельные части, а именно:

[1] Свежеприготовленный в лаборатории трехкальциевый фосфат, содержащий кристаллизационную воду, $Ca_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, существенно отличается от фосфата костей (и тем более фосфоритов) растворимостью в лимоннокислом аммиаке и усвояемостью, но при прокаливании он теряет эти свойства.

[2] «Труды комиссии по отделу искусственных удобрений МОСХ», под ред. Яновского, 1895 г.

1) как относятся растения сами по себе к фосфоритам;

2) какова роль почвы как посредника между удобрением и растением в данном случае;

3) какую роль играет природа фосфорита и 4) сопутствующие удобрения.

Рис. 33. Морковь и кукуруза в песчаных культурах.

Чтобы исключить сначала влияние почвы и учесть роль самого растения, были применены культуры в чистом кварцевом песке, промытом кислотой (и водой) для удаления последних следов P_2O_5.

Эти опыты показали, что хлебные злаки сами по себе почти совсем не используют P_2O_5 фосфорита независимо от происхождения последнего, например (урожай в граммах):

Культура (и год опыта)	Источник P_2O_5				
	Растворимая фосфорная кислота	Фосфориты			
		смоленский	костромской	рязанский	подольский
Лупин (1896 г.)	38,12	5,53	5,03	4,47	4,47

Такие же результаты получились и для многих других культур того года; растения выглядели совершенно подавленными в росте («предельные»), несмотря на то, что в виде фосфорита давалось в 2—5 раз больше P_2O_5, чем в растворимом фосфате. Когда нет растворяющего действия (почвенной кислотности), то дом вообще имеет мало значения.

Урожай (в граммах)	Без фосфорной кислоты	Фосфорит смоленский в количестве, кратном дозе P_2O_5 в $CaHPO_4$					$CaHPO_4$
		2	4	6	8	10	
Овса	1,40	2,50	3,59	3,90	6,05	5,33	20,9
Ячменя	1,43	—	4,00	3,70	5,00	6,20	24,9

Мы видим, что даже десятикратное количество P_2O_5 фосфорита не заменяет единицы усвояемой P_2O_5 в тех случаях, когда растение (злаковое) само должно справляться с фосфоритом (см. рис. 32 на стр. 318).

Такие же результаты получились не только для хлебов (пшеницы, овса, ячменя, ржи, как яровой, так и озимой), но и для ряда других растений (рис. 33 и 34), однако не для всех, а именно *люпин выделялся своей особенной способностью разлагать фосфорит*; то же в значительной мере наблюдается в отношении *гречихи*, *гороха* и *отчасти горчицы*.

Рис. 34. Белая акация (песчаные культуры).

С 1898 г. к нашим работам присоединились работы проф. Коссовича в Лесном институте, давшие вполне согласные результаты, причем, кроме учета урожаев, произведены были определения P_2O_5 в растениях. Эти определения установили с полной очевидностью, что растения 2-й группы способны разлагать фосфорит и усваивать из него значительные количества P_2O_5, например, 50—100 мг на сосуд, тогда как хлеба при тех же условиях содержали 5—10 мг, т. е. немногим больше того, сколько содержалось в семенах.

Приводим пример хорошего развития люпина на фосфорите из наших опытов (см. рис. 35).

	Без P_2O_5	Фосфориты				Растворимая P_2O_5
		казанский	постромской (пикшинский)			
			а) терпинин	б) пихтинин	в) глинцинский	
Урожай надземных частей люпина (в граммах на сосуд)	3,2	31,9	27,5	28,1	31,1	34,1

	Без P_2O_5	Фосфориты				Растворимая P_2O_5
		смоленский	рязанский	пермский	тульский	
То же, в другом ряде опытов (урожай в граммах на сосуд)	2,9	22,1	22,5	23,5	7,6	24,4

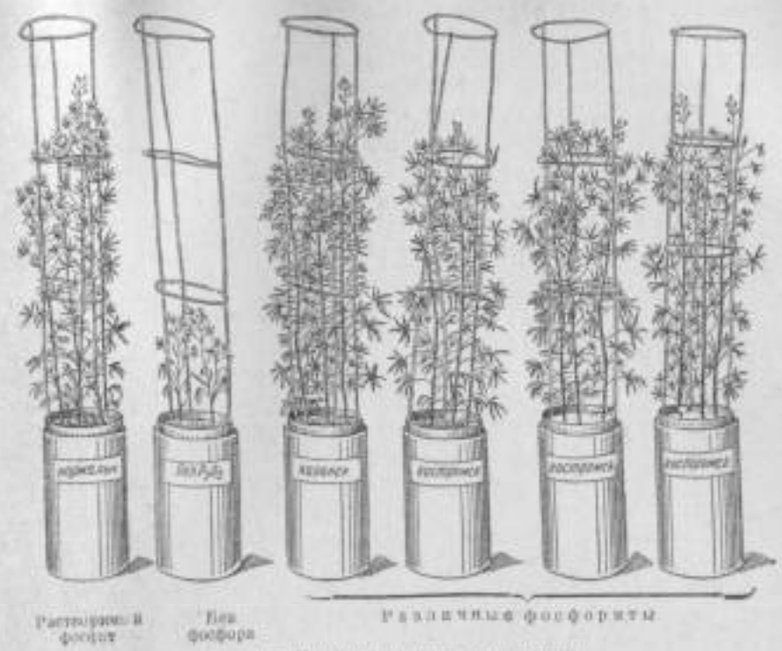


Рис. 35. Люпин (песчаные культуры).

Рис. 36. Опыт с гречихой (песчаные культуры).

Таким образом, все образцы фосфорита оказались для люпина хорошим источником P_2O_5, кроме подольского фосфорита.

Кроме люпина, из бобовых для гороха наблюдается известная способность разлагать фосфорит своими корневыми выделениями, хотя и не столь резко выраженная, как у люпина; так, в опытах проф. Коссовича были получены следующие результаты при сравнении гороха и овса:

Показатели	По фосфориту		По растворимой P_2O_5	
	Горох	Овес	Горох	Овес
Урожай (в граммах на сосуд)	30,0	40,1	57,0	42,0
P_2O_5 в урожае (на сосуд в миллиграммах)	47	54	147	136

Однако результаты для люпина и гороха не подлежат обобщению для всего семейства бобовых; так, например, клевер вовсе не отличается способностью хорошо использовать фосфорит, по крайней мере в первом году своей жизни (что не мешает успешному применению фосфорита для поднятия урожаев клевера, если почва обладает способностью разлагать фосфорит, о чем будет сказано ниже).

Из растений других семейств гречиха и горчица также отличаются значительной усвояющей способностью[1], хотя и уступают в этом отношении люпину, как и горох; но если повышать дозы фосфорита, как выше это было сделано для злаковых, то гречиха способна развиваться совершенно нормально, как видно из следующего примера (см. также рис. 36).

	Без P_2O_5	Фосфорит в количестве (кратном)			
		1	4	8	16
Вес урожая гречихи (в граммах)	2,0	9,5	13,5	16,8	18,6

В с.-х. литературе раньше неоднократно встречались попытки установить коэфициенты использования фосфорной кислоты того или иного фосфата; из вышеизложенного ясно, что такие коэфициенты не могут быть постоянными, они меняются в зависимости от рода почв и рода растения; нельзя, например, вообще утверждать, что фосфорная кислота такого-то фосфорита используется в 4 раза хуже, чем P_2O_5 суперфосфата; можно устанавливать эти нормы, лишь оговорив заранее, какие почвы и какие группы растений имеются в виду.

Поэтому уже показания песчаных культур с разными растениями дают более подвижную шкалу для сравнительной оценки различных фосфатов. Если иметь в виду пока только растения и при графическом изображении расположить на горизонтальной линии различные фосфаты в убывающем порядке по растворимости, а за ординаты взять относительные величины урожаев, то получим для разных растений различные кривые; для злаков такая кривая будет резко понижаться в сторону фосфорита.

[1] О возможных объяснениях причин неодинаковой усвояющей способности разных растений по отношению к таким трудно растворимым соединениям, как фосфат фосфоритной муки, см. сказанное на стр. 103 о неодинаковой способности различных растений усваивать питательные вещества из трудно растворимых соединений. Там же см. результаты опытов со смешанными посевами люпина со злаками и с «переливанием» растворов, ясно показывающих растворяющее действие корневой системы люпина на фосфоритную муку.

То же относится к другим растениям, корневая система которых обладает слабой растворяющей способностью, как это показывают, например, следующие данные опыта с табаком в песчаных культурах (см. также рис. 37).

Зола[1]	45,04 г на сосуд
Томасов шлак	35,35 » » »
Кость	25,92 » » »
Фосфорит	5,08 » » »
Без P_2O_5	0,67 » » »

Напротив, для люпина все фосфаты будут почти равноценны, а при графическом изображении кривая, быть может, приблизится к совершенно гори-

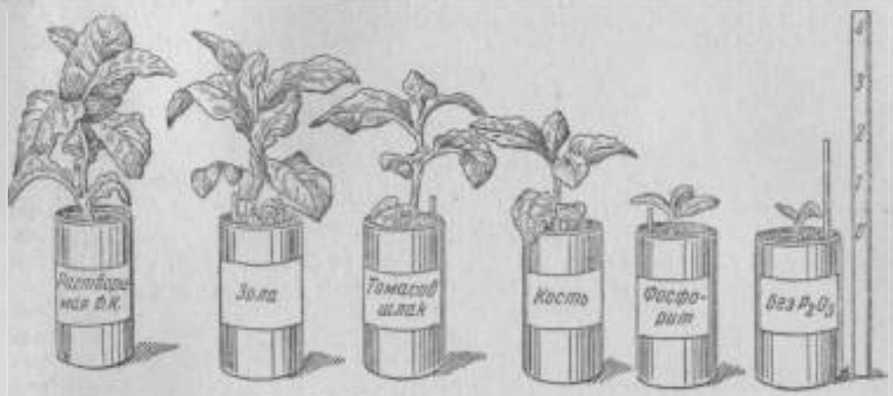


Рис. 37. Табак (песчаные культуры).

зонтальной линии; кривая для других растений должна расположиться между ними.

Примерными (в условиях песчаных культур) могут служить следующие величины урожаев (в процентах, урожай по суперфосфату принят за 100):

	Без P_2O_5	Фосфорит[2]	Костная мука	Томасов шлак	Суперфосфат
Для хлебов	5	5—10	30—40	70—80	100
» гороха	10	50—60	70	80—90	100
» гречихи	5	60	90	100	100
» люпина	10	100	100	100	100

Итак, *существует ряд растений, способных разлагать фосфорит своими корневыми выделениями*; однако это не относится к главным растениям полевой культуры, как хлеба, клевер[3], картофель, лен, для которых успех или неуспех удобрения фосфоритной мукой зависит целиком от свойств почвы, а не от самого растения.

Это было обнаружено нами одновременно с выяснением отношения различных растений к фосфориту, а именно параллельно с песчаными культурами

[1] Выщелоченная водой.

[2] Здесь разумеются фосфориты центральных областей (Московской, Рязанской и др.) и им подобные; но подольский фосфорит и апатит труднее переходят в усвояемые формы.

[3] Это относится по крайней мере к клеверу первого года жизни.

мы еще в том же 1896 г. провели *опыты с почвами различных типов; так как вегетационный опыт позволяет поставить все почвы в условия одинаковой влажности, температуры и освещения, то влияние климата здесь было исключено.* Вот результат первого опыта в этом направлении:

Урожай яровой ржи (в граммах на сосуд)

Почвы	Без удобрения	С фосфоритом	Повышение урожая (в процентах)
Чернозем	5,65	5,80	+ 3
Супесь	3,55	4,40	+ 24
Подзолистая (Петровско-Разумовская ферма)	3,30	10,75	+226
Заболоченный суглинок (Лесная дача)	2,35	11,10	+272

Таким образом, решающим фактором при опытах с хлебами оказалась почва: подзолы и кислые торфянистые почвы разлагают фосфорит, а чернозем — нет; в этом, следовательно, и лежала причина успеха опытов Энгельгардта на смоленских почвах и неудачи их применения на черноземах в период открытия курских и подольских фосфоритов.

Между прочим, в 1897 г. в наших опытах был испытан на подзоле и подольский фосфорит, труднее поддающийся действию растворителей, чем наши другие фосфориты; основные цифры были таковы (для яровой ржи на фоне KNO_3, урожай в процентах):

Без фосфорита	Фосфориты		
	подольский	смоленский	кингисеппский
100	168	234	235

Следовательно, и подольский фосфорит не совсем противостоит разлагающему действию подзолистой почвы, хотя и дает меньший эффект, чем северные фосфориты.

В согласии с этими позднейшими опытами доказана была возможность применения даже апатитовой муки на кислых торфяниках.

Вот, например, результаты опытов Хибинского опытного поля с овсом, проведенных на низинной (менее кислой) и переходной (более кислой) болотных почвах:

Удобрение	Низинное болото		Переходное болото	
	Урожай зерна (в центнерах с 1 га)	pH	Урожай зерна (в центнерах с 1 га)	pH
Селитра + сильвинит	11,4	6,0	3,2	4,7
Селитра + сильвинит + апатит	13,7	6,3	21,7	5,0

Для минеральных почв хорошее действие апатитовой муки (при достаточно тонком помоле) наблюдалось в одном из колхозов Ленинградской области (колхоз им. Калинина) на кислом суглинке (pH=4,5).

Результаты этого опыта, проведенного с озимой рожью, оказались следующими:

	Урожай зерна ржи (в центнерах с 1 га)
Навоз (18 т на гектар)	14,8
» + апатит	19,1

В итоге подзолистые почвы и моховые торфяники способны в сильной степени сближать действие различных фосфатов, как видно еще из одного вегетационного опыта на подзолистой почве (Петровско-Разумовское) (урожай зерна яровой ржи в процентах):

Без фосфора	100	Костяная мука	190
Фосфорит	166	Растворимый фосфат	202

Если же на таких почвах в виде фосфоритной муки дать двойную дозу P_2O_5, то получается полное выравнивание с суперфосфатом.

Во всех приведенных опытах давались азот и калий, поэтому все сказанное отвечает условиям в поле только в том случае, если почва обеспечена азотом, что чаще бывает в пару (даже и безнавозном, если в севообороте есть клевер) или при залежи; так, на Энгельгардтовской станции наблюдались следующие приросты урожая ржи (пар на «пустошной земле», т. е. на бывшей в залежи) (в процентах):

Без удобрения	100 (=8 ц)	Фосфорит[1]	184,9
Томасов шлак	177,1	Навоз (36 т)	189,1

Но нужно отметить, что без клевера и без залежи (и тем более при отсутствии чистых паров) фосфоритная мука (одна) может и не дать эффекта из-за того, что в минимуме будет находиться азот, — в этом чаще всего лежит объяснение неудач при применении фосфоритной муки даже в подзолистой зоне.

Степень обеспеченности азотом оказалась причиной и еще одного явления, замеченного Энгельгардтом и последующими авторами: удобрение фосфоритом имело успех при опытах под озимое, но не под яровое. Наши опыты с песчаными культурами показали, что физиологического различия между озимыми и яровыми хлебами по отношению к фосфориту нет; разница во времени соприкосновения с почвой фосфоритной муки, внесенной в пару под озимые и весной под яровое, которой раньше приписывали значение, тоже оказалась не имеющей решающего значения. Причина оказалась лежащей в перемещении минимума от фосфора к азоту; в паровых полях, где накопляются нитраты, фосфор оказывается в первом минимуме, при внесении же под яровое мы сталкиваемся уже с азотным минимумом, а потому фосфорит не действовал на овес, несмотря на то, что подзол обеспечивал и для него, как и для ржи, должную степень разложения фосфорита[2].

Таким образом, факты, констатированные для подзолистых почв Энгельгардтом еще в восьмидесятых годах прошлого столетия, получили должное объяснение, и теперь, когда промышленность дает азотистые удобрения (а потом будет давать и много больше), применение фосфоритной муки (как и других фосфатов) на подзолистых почвах не будет ограничено только клевером и залежью.

Но, помимо разъяснения наблюдений Энгельгардта, дальше достигнуто было и существенное расширение зоны применения фосфоритной муки; именно работами Лебединцева на Шатиловской опытной станции (и другими станциями) было доказано, что не только подзолы и торфяники, но и *переходные почвы*, которые характеризуют *северную часть черноземной полосы* (деградированные, выщелоченные и отчасти мощные черноземы), *тоже могут обладать способностью разлагать фосфорит.*

Приводим (по Лебединцеву) данные урожаев ржи на Шатиловской опытной станции в среднем за 9 лет (в центнерах с 1 га):

Без удобрения	16,9	Навоз	21,6
Фосфорит	21,9	Фосфорит и навоз	23,4
Суперфосфат	21,3		

Для выравнивания действия фосфорита с суперфосфатом и в этом районе достаточно двойной дозы P_2O_5 в фосфорите (например, 90 кг P_2O_5 на гектар вместо 45 кг).

[1] В фосфорите было дано больше P_2O_5, чем в шлаке.
[2] Опыты ИИУ (см. примеры ниже).

Надо заметить, что применение фосфоритной муки в этой новой «лебедянцевской» зоне в ряде случаев может давать результаты, не только не уступающие, но и превосходящие эффективность фосфоритной муки в ранее выявленной «энгельгардтовской» зоне фосфоритования (т. е. на подзолистых почвах севера). Так, например, действие фосфоритной муки, внесенной под озимую рожь, идущую по черному пару на деградированных черноземах, может оказаться более сильным вследствие лучшей обеспеченности азотом (которая на черноземах, особенно после черного пара, чаще всего бывает выше, чем на подзолистых почвах). Но вместе с тем и на черноземах улучшение азотного баланса путем расширения посевов клевера (и других бобовых) сопровождается, как правило, значительным повышением действия фосфоритной муки. Тем более это относится к подзолистым почвам, на которых недостаток азота в бесклеверных севооборотах выражен сильнее, чем на черноземах.

Что касается вопроса о механизме разложения фосфорита известными видами почв, то несомненно, что главная роль здесь принадлежит обменной кислотности; почвенные кислоты (ненасыщенные ацидоиды) разлагают фосфорит, отнимая кальций его трехкальциевого фосфата и отдавая взамен его водород, т. е. так же, как серная кислота в суперфосфатном производстве, однако с той разницей, что почвенные ацидоиды в воде почти нерастворимы и реакция происходит на поверхности частиц, поэтому важно увеличивать поверхность соприкосновения между частицами почвы и фосфорита должным размельчением его и хорошим смешением с почвой.

Схему этой реакции можно представить так:

$$\left(\text{почва}\right)^{\text{Ca}}_{\text{Mg}}{}_{\text{H}}{}_{\text{H}} + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = \left(\text{почва}\right)^{\text{Ca}}_{\text{Mg}}{}_{\text{Ca}} + 2\text{CaHPO}_4{}^{*}.$$

На сильнокислых почвах (например, на кислых торфяных почвах) возможно и дальнейшее замещение кальция на водород (в молекуле фосфата); тогда получится водорастворимый $Ca(H_2PO_4)_2$; однако это случай редкий, и чаще всего, повидимому, разложение далее образования $CaHPO_4$ не идет.

Если обменная кислотность почвы достаточно резко выражена (например, pH в солевой вытяжке ниже 4,9 и тем более ниже 4,5), то фосфоритная мука в двойной дозе может не только заменить суперфосфат, но даже действовать лучше суперфосфата, так как кальцием фосфорита несколько смягчается кислотность почвы. Так как обычно почвы с такой реакцией в то же время бедны фосфорной кислотой, то на них действие фосфорита обеспечивается не только их способностью разлагать фосфорит, но и явно выраженным недостатком фосфора.

Но, помимо обменной кислотности, в разложении фосфорита может отчасти принимать участие и гидролитическая кислотность. Это доказывается следующим опытом: если взять кислую почву или гуминовую кислоту и удалить обменный водород путем повторного промывания $CaCl_2$, то способность разлагать фосфорит уменьшается, но не исчезает; поэтому приходится принимать во внимание общую кислотность почвы с включением и гидролитической кислотности

* Здесь возможны и промежуточные реакции с участием кислотности почвенного раствора, например:

$$\text{I.}\ \ \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftarrows 2\text{CaHPO}_4 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2,$$

$$\text{II.}\ \left(\text{почва}\right)^{\text{H}}_{\text{H}} + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \left(\text{почва}\right)\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{CO}_3.$$

Вторая реакция, устраняя из почвенного раствора бикарбонат кальция, смещает течение первой реакции в правую сторону.

Лебедянцев указывал на то, что в разложении фосфоритной муки в почве может принимать участие азотная кислота, образующаяся в процессе нитрификации.

и, говоря о степени насыщения почвы основаниями, иметь в виду степень насыщенности (или ненасыщенности) не только в пределах емкости поглощения по Гедройцу (т. е. не свыше pH = 7,0), но и степень ненасыщенности почвы по отношению к пределу, установленному отношением почвы к раствору уксуснокислого натрия, для которого pH лежит около 8,2.

Поэтому если обменная кислотность слабо выражена (pH в солевой вытяжке выше 4,9), то о способности почвы реагировать на удобрение фосфоритом можно судить по степени насыщенности ее основаниями (при условии недостатка усвояемой P_2O_5 в ней) по указанному масштабу.

Работы, проведенные в нашей лаборатории Голубевым, показали, что почвы, имеющие гидролитическую кислотность в 2,5 м.-экв. на 100 г почвы, уже способны (хотя и очень слабо) разлагать фосфорит. При наличии кислотности выше указанной действие фосфоритной муки будет постепенно приближаться к действию растворимых фосфатов (если почва бедна P_2O_5).

Так как одной и той же абсолютной величине гидролитической кислотности (H), равной 2,5 м.-экв. на 100 г, у почв, имеющих разную емкость поглощения ($S+H=T$), отвечает разная величина степени насыщенности основаниями (V), то на почвах с большей емкостью поглощения (например, на черноземах) способность разлагать фосфорит проявляется при более высоких значениях V*.

Например, в случае песчаных почв поглощающий комплекс очень мал, и даже при большой относительной ненасыщенности (например, при $V = 70\%$) может случиться, что суммарная величина кислотности будет так мала, что ее нехватит для освобождения значительных количеств P_2O_5 из фосфорита, тогда как, например, на деградированном черноземе и при большей насыщенности, но и при большей величине емкости поглощения (T), гидролитическая кислотность может оказаться достаточной для хорошего разложения фосфорита.

Следует, однако, иметь в виду, что почвы малой емкости поглощения уже при размерах кислотности в 3—3,5 м.-экв. на 100 г почвы (при степени насыщенности около 50—60%) будут иметь достаточно кислую реакцию (pH = 5,0—5,5) и известные размеры обменной кислотности, несомненно, наиболее активной для разложения фосфорита. Вместе с тем почвы большой емкости поглощения даже и при наличии кислотности в 6—7 м.-экв. (степень насыщенности 75—85%) еще будут ближе к нейтральной реакции (pH = 6,0—6,5), и вся величина кислотности окажется гидролитической, так как при данной степени насыщенности обменная кислотность обычно не имеет места.

В соответствии с этим в опытах Голубева наблюдалось, что фосфоритная мука действовала не хуже суперфосфата (при двойной дозе по P_2O_5) на разных почвах при неодинаковой величине гидролитической кислотности (H), как это видно из таких данных:

а) почвы малой емкости поглощения ($T = 10$ м.-экв.)—при H около 3,0—3,5 м.-экв.
б) » средней » » ($T = 10$—30 м.-экв.)—при H около 4,0—6,0 м.-экв.
в) » большой » » ($T = 30$ м.-экв.)—при $H = 6,0$—$7,0$ м.-экв. на 100 г почвы.

Таким образом, если первые признаки разложения фосфорита проявляются примерно при одной и той же величине гидролитической кислотности (около 2,5 м.-экв.), то полный эффект от фосфоритной муки, близкий к действию суперфосфата, наблюдается при разных значениях H в зависимости от емкости поглощения (T) и степени насыщенности основаниями (V). Эта зависимость представлена графически на рис. 38, где по оси абсцисс отложены возрастающие (для разных почв) величины T, а по оси ординат—степень насыщенности (V). Верхняя кривая отвечает значениям V, при гидролитической кислотности равной примерно 2,6 м.-экв. (начало действия фосфорита), а нижняя—таким величинам V, при которых наблюдается полное действие фосфоритной муки, например[1]:

	$T =$ 10	20	30	40	50 м.-экв.
Начало частичного действия при V меньше чем	75	85	92	93	94% (или при $H > 2,6$ м.-экв.)
Полное действие фосфорита при V меньше чем	60	75	82	83	84%

* Так как $V = \frac{S \cdot 100}{S+H}$ или $V = \frac{(T-H) \cdot 100}{T}$, то при одной и той же величине H степень насыщенности (V) зависит от T. Так, например, если $H = 2,5$ м.-экв., то $V = 100 - \frac{250}{T}$; следовательно, при увеличении T возрастает и значение V, если величина H остается постоянной.

[1] T—все количество оснований, которое способна связать почва при полном насыщении (устранении гидролитической кислотности); V—степень насыщенности основаниями (см. стр. 156).

Таким путем способность почв разлагать фосфорит может быть довольно близко учтена уже при лабораторном исследовании.

Теперь, когда мы познакомились с возможным растворяющим влиянием на фосфориты не только некоторых растений, но и некоторых почв, мы можем вернуться к вопросу о сравнительной оценке различных фосфатов в несколько иной постановке, чем простое определение отношения фосфатов к тому или иному растворителю в лабораторных условиях.

Мы видели выше, что в условиях песчаных культур усвояемость фосфоритной муки и других фосфатов зависит от рода растения (см. примерные соотношения в таблице на стр. 323).

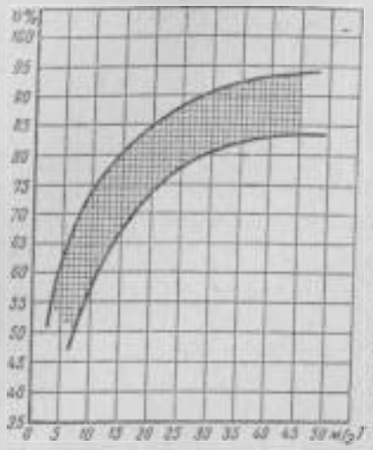


Рис. 38.

Но при переходе к почвам такие соотношения сохранятся только для очень бедных песчаных почв, притом совершенно лишенных кислой реакции; в большинстве же случаев приведенные величины будут изменяться под влиянием почв, а *на почвах кислых часто вся картина может быть затушевана благодаря выравниванию в действии всех фосфатов.*

Если бы мы пожелали сразу на одной схеме выразить отношения между фосфатами, почвами и растениями, то пришлось бы прибегнуть к изображению в пространстве и трем осям координат: на горизонтальной оси, например, расположить *фосфаты* в порядке их усвояемости, на вертикальной — *растения* в порядке по энергии усвоения ими P_2O_5 из малорастворимых источников, на третьей, перпендикулярной к плоскости двух первых, — *почвы*, тоже в известной последовательности — по способности растворяющим образом действовать на фосфаты (возьмем пока почвы, очень бедные P_2O_5). Если таким образом построить модель, сложенную из кубиков, и придать им окраску, по интенсивности отвечающую действию фосфата (в зависимости от совокупности его свойств, свойств почвы и свойств растения), то получим ряд оттенков, дающих известное понятие комбинированного действия растения и почв на фосфаты (см. рис. 39).

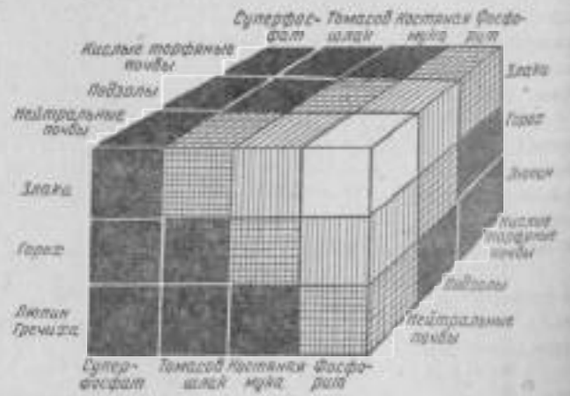


Рис. 39. Схема действия фосфатов в зависимости от свойств растений, почв и удобрений.

Однако и такая схема не охватывает еще затрагиваемых явлений сполна. Эта схема построена в предположении, что почвы, рассматриваемые нами, нуждаются в фосфорнокислом удобрении потому, что они бедны фосфорной кислотой вообще; между тем почвы могут содержать трудно усвояемые формы фосфорнокислых соединений, из которых одни растения могут использовать большие, другие — меньшие количества; поэтому на одной и той же почве разные растения могут или реагировать на фосфорнокислые удобрения или нет, смотря по тому, какое растение мы возьмем для опыта.

Так, в опытах Коссовича и Гедройца замечены были следующие различия в количестве фосфорной кислоты, усвоенной на одной и той же почве разными растениями (без внесения фосфатов) (в миллиграммах):

Люпин	114	Гречиха	65	Озимая рожь	32
Горох	87	Тимофеевка	31	Люцерна	38

Ясно, что если люпин (или гречиха) находит себе пищу в трудно растворимых соединениях почвы, то он не будет реагировать на внесение фосфорита; только когда ему нехватит этой пищи, тогда проявится способность люпина использовать фосфорит.

Вот пример разного отношения гречихи и злаковых к фосфорному удобрению на черноземе[1] (вес сухой массы в граммах на сосуд):

Пшеница		Гречиха	
Фосфорит	Растворимый фосфат	Фосфорит	Растворимый фосфат
4,7	28,0	18,7	19,0

Тот факт, что многие почвы, на которых злаки испытывают фосфатный голод, могут хорошо питать фосфором гречиху, люпин и горох, вносит отступления в ту простую (трехкоординатную) схему, которая была приведена выше.

Главные случаи, встречающиеся на практике, могут быть сведены к следующим пяти возможностям.

1. Никакие фосфорнокислые удобрения не действуют ни на какие культуры; очевидно, это имеет место в том случае, когда почва богата фосфорной кислотой в удобоусвояемой форме (например, девственные степи).

2. Растворимая фосфорная кислота удобрений действует на хлеба, но не действует на гречиху и люпин; это значит, что в почве мало легко усвояемой для злаков фосфорной кислоты, но ее много в таких формах, которые хорошо доступны для усвоения люпином или гречихой. Фосфорит в этом случае действует слабо или не действует вовсе на хлеба, потому что он им недоступен, а на гречиху и люпин потому, что эти растения и в почве находят готовый запас аналогичных малорастворимых соединений и не нуждаются в удобрении (например, черноземы, давно находящиеся в культуре).

3. На хлеба действуют как фосфорит, так и растворимые фосфаты, а на гречиху и люпин никакие фосфаты не действуют; это значит, что почва обладает известной ненасыщенностью основаниями и в то же время при недостатке легко усвояемой P_2O_5 содержит достаточное ее количество в трудно растворимых соединениях (деградированные или выщелоченные черноземы, многие суглинки и пр.).

4. Растворимая фосфорная кислота удобрений действует на все растения, а фосфорит только на гречиху, люпин и подобные культуры; это указывает на то, что в почве есть общий недостаток в фосфорной кислоте, но данная почва лишена кислых свойств (бедные пески вне подзолистой зоны).

5. Все фосфаты (в том числе и фосфорит) действуют на все культуры; очевидно, почва при общем недостатке в фосфорной кислоте обладает ясно выраженными кислыми свойствами (бедные подзолы и моховые торфяники).

Далее наша трехкоординатная схема не учитывает еще вот какого рода обстоятельства: влияние на растворимость фосфатов *сопутствующих удобрений*; еще наши опыты 1900 г. с ясностью показали, что *введение солей аммония в качестве источника азота в песчаные культуры существенно изменяет условия использования фосфатов*, делая даже фосфориты материалом, доступным для

[1] Одна и та же почва.

хлебных злаков. Можно думать, что и в почве соли аммиака должны способствовать растворению фосфатов той избыточной кислотой, которая остается после их использования растением, будет ли это использование непосредственным или оно будет сопровождаться предварительной нитрификацией (во втором случае количество действующей кислоты удваивается); но, конечно, в почве это растворяющее действие не будет направлено только на фосфаты, как это достигается в песчаных культурах,—оно может быть ослаблено наличностью других соединений, нейтрализующих кислоты. Насколько резко действие солей аммония в такой безбуферной среде, как песок, видно из следующего

Рис. 40. Влияние источника азота на использование фосфорита овсом (песчаные культуры).

опыта: если, взяв в качестве источника P_2O_5 фосфорит, постепенно во взятом ряде сосудов изменять источник азота, переходя от $NaNO_3$ или $Ca(NO_3)_2$ к смеси селитры и аммиачной соли и, наконец, к одному сернокислому аммонию, то вместе с введением солей аммония (по мере развития растений) повышается кислотность среды от причин физиологических (накопление избыточной серной кислоты) и фосфорит подвергается растворению, как бы на месте потребления превращаясь в суперфосфат.

Приведем относящиеся к этому опыту цифры (см. таблицу, а также рис. 40).

	$NaNO_3$	$^3/_4NaNO_3$ $^1/_4(NH_4)_2SO_4$	$^1/_2NaNO_3$ $^1/_2(NH_4)_2SO_4$	$^1/_4NaNO_3$ $^3/_4(NH_4)_2SO_4$	$(NH_4)_2SO_4$
Урожай овса на фосфорите (в граммах)	6,2	22,0	20,5	19,9	1,42
Процент P_2O_5 в урожае	0,09	0,30	0,57	0,92	1,46
Абсолютное количество P_2O_5 в урожае (в миллиграммах)	6,5	66,0	116,8	176,6	24,1

Как видим, растения, голодавшие от недостатка фосфорной кислоты при селитре, по мере введения аммония обильно ее воспринимали. Что касается последнего случая, когда введен был один $(NH_4)_2SO_4$, то здесь растения пострадали от слишком кислой реакции и дали малые урожаи, несмотря на избыток (относительный) воспринятой фосфорной кислоты.

Заметим, что и *азотнокислый аммоний также обладает растворяющей способностью*[1], хотя и смягченной по сравнению с сернокислым (рис. 41).

В почве влияние сульфата аммония, конечно, не может быть столь резким, как в песчаных культурах, однако оно все-таки сказывается. В качестве примера приведем средние данные географической сети НИУ из опытов по сравнению действия разных фосфатов на картофель на подзолистых почвах на фоне сульфата аммония и селитры (приросты урожая в центнерах с 1 га):

		По $NaNO_3$	По $(NH_4)_2SO_4$
Фосфорит	однократная доза	7,3	18,6
	двойная доза	22,4	30,5
Суперфосфат		31,1	32,3

Мы предлагали раньше (см. предыдущие издания этой книги) испытать рядковое внесение $(NH_4)_2SO_4$ с фосфоритной мукой (не под рядки растений, а между ними или поперек их), чтобы избежать смешения сульфата со всей массой почвы и направить его действие на фосфорит; возможно, что тогда растворяющее действие сульфата будет усилено и на тех почвах, которые не так бедны основаниями (последние при сплошном внесении играют защитную роль по отношению к фосфориту, мешая его разложению остаточной кислотой сульфата). Теперь несколько таких опытов проведено и с хорошими результатами. При этом обнаружено, что и при разбросном внесении растворяющее влияние физиологической кислотности $(NH_4)_2SO_4$ на фосфорит ясней обнаруживается в том случае, если оба удобрения (сульфат аммония и фосфоритная мука) заранее хорошо смешаны и вносятся совместно, чем если они вносятся порознь (опыты НИУИФ).

Рис. 41. Влияние NH_4NO_3 на использование фосфорита пшеницей (песчаные культуры).

Однако если одни из сопутствующих удобрений, как соли аммония, способны повышать действие малорастворимых фосфатов, то *другие способны его понижать; так во многих случаях действует углекислая известь*, что мы уже отмечали в случае кости. Но это действие не является одинаковым для всех фосфатов; мало отзывчивыми к внесению извести являются одно- и двухкальциевый фосфаты (следовательно, суперфосфат и преципитат), а также томасов шлак; наоборот, весьма чувствительны к присутствию избытка извести трехкальциевый фосфат, кость и фосфориты (см. следующие таблицы, а также рис. 42 и 43):

I. Фосфаты, мало чувствительные к внесению $CaCO_3$
(урожай надземной массы растений в граммах)

Фосфаты	Доза $CaCO_3$ (в процентах от веса почвы)					Культуры
	0	$^1/_4$%	$^1/_2$%	$^3/_4$%	1%	
$Ca(H_2PO_4)_2$	20,7	19,5	25,7	25,7	23,2	Гречиха
$CaHPO_4$	18,4	16,3	18,5	18,2	22,5	Ячмень
	21,8	—	25,7	24,9	24,2	Пшеница
Томасов шлак	22,7	24,4	25,1	23,1	25,5	Ячмень
	23,6	23,7	25,3	22,2	18,4	Гречиха

[1] В присутствии корней растений.

II. Фосфаты, очень чувствительные к извести
(урожай надземной массы растений в граммах)

Фосфаты	Дозы $CaCO_3$ (в процентах от веса песка)					Культуры
	0	1/4%	1/2%	3/4%	1%	
$Ca_3(PO_4)_2$	18,9	—	15,4	8,3	8,0	Овес
Кость	9,7	—	5,7	4,2	3,4	Пшеница
Фосфорит	13,0	4,3	1,0	0,9	0,5	Гречиха
	16,9	—	2,5	1,2	1,2	Гречиха

На основании этих опытов нужно было бы ожидать, что для почв, богатых известью, более пригодными удобрениями будут суперфосфат, преципитат и томасов шлак; это предположение, конечно, требует ближайшей проверки, например, для томасова шлака, так как наши опыты велись лишь в пределах до 1% $CaCO_3$ от веса песка. Возможно, что предел вредного действия извести на эти фосфаты хотя и лежит гораздо выше, чем для кости или фосфорита,

Рис. 42. Влияние возрастающих доз $CaCO_3$ на использование P_2O_5 томасова шлака (песчаные культуры).

но все же может быть перейден, если не при внесении извести как удобрения, то в случае присутствия избытка извести в самой почве (меловые, известковые почвы). Кроме того, опыты в песке не заменяют опытов с почвами еще и потому, что в песке нет растворителя для $CaCO_3$, в почвах же всегда много углекислоты, и потому в растворе будет больше кальция в виде $Ca(HCO_3)_2$. Поэтому нужны опыты по сравнению различных фосфатов на почвах, богатых известью.

Само собой разумеется, что подобные опыты должны производиться не с такими растениями, которые сами по себе чувствительны к избытку извести, независимо от рода фосфата (люпин, лен).

На основании всего изложенного можно уяснить, что *могут быть условия, которых наряду с суперфосфатом, преципитатом и томасовым шлаком можно применять и малорастворимые фосфаты*, почему, в частности, *у нас применение фосфоритной муки получает иное значение*, чем в Западной Европе.

Так как наше земледелие является более молодым, то у нас еще сильно выражены первичные свойства почвы («почвы как естественно-исторического тела», по выражению Докучаева), и ненасыщенность подзолов сохранилась в очень большой степени. В Западной же Европе почвы более окультурены, так как уже одно длительное применение навоза устраняет ненасыщенность подзолов (с 36 т навоза вносится 1,5 т зольных веществ); кроме того, там часто применяется известкование, и, например, в Дании процент заизвесткованной площади чрезвычайно велик.

Рис. 43. Влияние возрастающих доз $CaCO_3$ на использование P_2O_5 фосфорита гречихой (песчаные культуры).

При сильно развитой промышленности, дающей большие массы дешевых удобрений универсального действия, конечно, там мало стимулов отыскивать отдельные остатки неокультуренных подзолов, чтобы внести фосфоритную муку, которую часто нужно везти издалека, если нет местных фосфоритов (например, из Африки в Данию и Голландию).

Другое дело у нас: ненасыщенность, непровозженность неизвесткованных подзолистых почв на громадных площадях во многих случаях еще велика; используя их скрытую кислотность, мы можем разлагать фосфориты, не тратя серной кислоты.

Хотя по абсолютным размерам производства суперфосфата СССР уже вышел на второе место в мире, но все же по сравнению с огромными размерами нашей посевной площади обеспеченность фосфатами универсального действия (суперфосфатом, томасшлаком) не настолько высока, чтобы следовало отказываться от дальнейшего увеличения производства и применения фосфоритной муки. Суперфосфат (и томасшлак) должны быть направлены в первую очередь

в районы почв, насыщенных основаниями[1] (типичные черноземы европейской части Союза, Сибири, лессовые почвы Средней Азии). В районах же почв, реагирующих на фосфоритную муку, мы как раз располагаем фосфоритами (смоленские, брянские, калужские, рязанские и др.), менее пригодными для химической переработки.

Поэтому поле для использования фосфоритной муки у нас чрезвычайно обширно; мы можем с успехом значительно увеличить ее применение в ближайшие годы и тем самым существенно повысить приходную статью общего баланса фосфора в нашем земледелии.

В будущем, конечно, возможно, что на старопахотных землях подзолистой полосы применение фосфоритной муки придется сокращать в пользу суперфосфата, так как еще Энгельгардт заметил, что на приусадебных землях, более окультуренных, действие фосфоритной муки ослабевает. Но значит ли это, что после приведения в более культурное состояние имеющейся теперь посевной площади роль фосфоритной муки закончится? Никоим образом.

Если в пределах Московской области имеется лишь около 25% посевной площади, а в Ивановской, Ярославской—около 15%, тогда как в лежащей с ними на одной широте Дании имеется 80% культурной площади, то *резерв площадей, способных давать датские урожаи после заправки фосфоритной мукой, калийными солями, клевером* (и получаемым от него навозом), *громаден*, даже если иметь в виду пока только европейскую часть СССР, не говоря еще о Сибири.

Приведем средние данные из значительного числа опытов (1 086) различных сетей (географической сети НИУ, украинской сети и ряда прежних опытов), характеризующие действие фосфоритной муки, внесенной в пару под рожь, без других удобрений (подсчет А. Н. Лебединцева).

Почвы	Урожай ржи на контрольных делянках (в центнерах с 1 га)	Прибавки (в процентах)	
		Суперфосфат (45 кг P_2O_5)	Фосфоритная мука (90 кг P_2O_5)
Подзолистые почвы	9,3	37,6	33,3
Серые лесные почвы	11,0	22,6	19,0
Деградированные и выщелоченные черноземы	13,6	27,6	24,4
Мощные черноземы	16,0	25,4	16,5
Приазовские черноземы	14,7	—	12,3
Обыкновенные черноземы	15,2	23,8	8,4
Южные черноземы	17,8	7,0	3,6

Что касается действия фосфоритной муки на яровые культуры, то оно не так устойчиво, как под озимые, уже по одному тому, что для яровых, кроме фосфора, обычно нехватает еще и азота, которым озимые лучше обеспечиваются, благодаря накоплению нитратов в паровых полях.

Если же вносятся азотистые удобрения, то на почвах, способных разлагать фосфорит, действие его должно проявляться и в яровом клину; приводим средние данные из опытов НИУ с картофелем в разных почвенных зонах (см. табл. на стр. 335).

Из этих данных видно, что яровые культуры на подзолах реагируют на внесение фосфорита не хуже озимых, если дать одновременно азотистые удобрения; далее видно, что действие малорастворимых фосфатов тем более уступает действию суперфосфата, чем дальше мы будем продвигаться к югу, и что различия между фосфатами проявляются сильней на фоне $NaNO_3$, чем на фоне $(NH_4)_2SO_4$.

[1] Это не исключает, понятно, применения указанных фосфатов и в других районах под технические культуры, овощные и т. д. (например, лен, картофель и на подзолистых почвах должны получать, наряду с фосфоритной мукой, и растворимые фосфаты).

Сравнительное действие различных фосфатов
(прирост урожая картофеля в центнерах с 1 га)[1]

Почвы	Суперфосфат	Преципитат	Шлак	Костная мука	Фосфоритная мука I*	Фосфоритная мука II*
	1) фон: $(NH_4)_2SO_4$ и калийная соль					
Подзолистые почвы	32,3	35,4	25,0	21,7	18,6	30,5
Серые лесные земли	10,4	10,0	5,4	(10,5)	5,5	7,3
Деградированный чернозем	12,9	—	6,0	6,0	9,2	11,0
Мощный чернозем	20,6	21,5	16,8	17,6	6,0	10,3
	2) фон: $NaNO_3$ и калийная соль					
Подзолистые почвы	31,1	26,9	22,8	13,7	7,3	22,4
Серые лесные земли[2]	10,1	7,0	0,4	0,7	1,7	1,6
Деградированный чернозем	17,5	—	7,4	8,0	4,9	11,0
Мощный чернозем	25,9	22,8	22,4	9,5	8,3	4,6

Так как с фосфоритной мукой дается больше P_2O_5, чем в суперфосфате (в 2 или даже в 3 раза), то действие ее оказывается более длительным и не ограничивается одним севооборотом, как показали еще данные Энгельгардтовской опытной станции. Так же и на Долгопрудном опытном поле НИУ внесение фосфоритной муки увеличивало общую продуктивность всего шестипольного севооборота (с клевером) на 25—30%, кроме того, на ржи второй ротации (на 8-й год) действие было не меньшим, чем на ржи первой ротации.

Наиболее сильное действие наблюдалось на ржи и клевере, меньше—на овсе, льне и картофеле.

При движении к югу действие фосфорита ослабевает, и так как с юга (от Мариуполя) должна пойти встречная волна томасова шлака (кроме суперфосфата, который Константиновка, Одесса и Винница дают свекловичным солям), то рационально применение фосфоритной муки развивать именно там, где ему положено начало Энгельгардтом (подзолы) и Лебединцевым (деградированные черноземы). В этих районах не только фосфоритная мука в пару под рожь дает наилучшие результаты (даже без внесения азотистых удобрений), но и самые залежи низкопроцентных фосфоритов широко распространены; здесь фосфоритование не только поднимет урожаи ржи, но еще усилит и фиксацию азота воздуха клевером и люпином. А все это, вместе взятое, дает возможность значительно повысить обеспеченность почв и фосфором и азотом и поднять урожай на больших площадях подзолистой зоны и северной части черноземов без всякого ослабления снабжения технического азотом и растворимыми фосфатами хлопчатника, сахарной свеклы, новых и старых лубяных, масличных и других культур в таких районах, где фосфоритная мука не эффективна.

При замене растворимых фосфатов трудно растворимыми большое значение приобретает *степень измельчения их*, так как для успешного хода реакции между твердыми телами (почвенные ацидоиды и фосфорит) необходима большая поверхность соприкосновения.

[1] Средние урожаи без внесения фосфора (по NK) были таковы (в центнерах с 1 га):

	Подзолы	Серые лесные земли	Деградированные черноземы	Мощные черноземы
По сульфату аммония	123,3	149,2	112,6	198,8
» селитре	120,8	150,7	123,5	192,7

* I—45 кг, II—90 кг P_2O_5 на 1 га.

[2] Как видно, на серых лесных почвах в этих опытах и суперфосфат действовал слабо, а фосфоритная мука, шлак и костная мука вообще не дали сколько-нибудь заметной прибавки.

Для фосфоритной муки контролем измельчения служит сито № 100 с отверстиями 0,17 мм. Более грубые частицы остаются недействительными; более тонкий размол может быть еще более эффективным, но тогда сильно возрастет стоимость размола.

В опытах НИУ за 1927—1930 гг. проводилось сравнение трех видов помола: 1) грубый—0,5—0,17 мм; 2) нормальный—0,17—0,08 и 3) тонкий (сито № 200)—частицы ниже 0,08 мм. Результаты были следующие: грубый помол понижал (иногда сводил к нулю) действие фосфорита; средний позволял заменить 45 кг растворимой P_2O_5 двойным количеством P_2O_5 фосфорита, тонкий позволял снизить дозу фосфорита вдвое, т. е. приближал действие фосфорита к действию суперфосфата. Таким образом, на северных почвах от обычной двойной дозы P_2O_5 в фосфорите мы можем перейти к однократной или ценой повышенных затрат на измельчение или ценой применения серной кислоты и перехода к суперфосфату. Но, повидимому, выгоднее просто остаться при двойной дозе, тем более что не проявляющая своего действия в первые годы добавочная P_2O_5 все-таки повышает богатство почвы фосфором и постепенно будет оказывать свое действие.

Дальнейшим условием успешного применения фосфоритной муки в производственных условиях является предварительный анализ почв, на которых намечается проведение этого мероприятия. Как мы видели раньше, для большинства растений наших севооборотов решающим фактором, определяющим успешность фосфоритования, являются свойства почвы. Однако почвы, даже и близкие по генетическим признакам, в отношении их кислотности, а также обеспеченности другими питательными веществами, могут оказаться далеко не одинаковыми, хотя бы вследствие известной пестроты хозяйственных условий. Отсюда важность предварительного анализа почвы (кислотность, степень насыщенности, содержание подвижных питательных веществ) для успешного проведения мероприятий по фосфоритованию почв.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФАТОВ И ИХ ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ

Общее влияние фосфора на ход развития растений является обратным азоту: недостаток фосфора чаще всего вызывает замедление в прохождении отдельных фаз развития растений; в случае же азотистых удобрений это запоздание вызывается избытком азота. Поэтому внесение фосфора, помимо влияния на массу урожая, вызывает еще и ускорение созревания его (если, конечно, имел место недостаток фосфора).

Так, в Ротамстеде в одном опыте с ячменем было отмечено следующее влияние фосфатов на колошение:

	Без P_2O_5	Фосфорит	Томасов шлак низкой растворимости	Томасов шлак высокой растворимости	Суперфосфат
I. Число колосьев на сосуд к 1 июля	6	8	12	41	52
II. Число колосьев в конце опыта	48	65	68	84	92
I в процентах ко II .	12,5	12,5	17,6	48,8	56,1

Ускорение развития проявлялось параллельно усвояемости фосфата. В поле на делянках бессменной культуры, не получающих фосфора, ячмень созревал на 10 дней позднее, чем на делянках с полным удобрением; позднее появляющиеся колосья остаются в первом случае еще долго зелеными после того, как во втором они уже пожелтели; с этим связано сильное поражение растений на делянках без фосфора личинкой мухи-зеленоглазки (Chlorops taeniopus)[1]. В Северной Ирландии наблюдалась даже двухнедельная разница в созревании хлебов под влиянием устранения фосфатного голода.

Далее, обычно замечается, что при недостатке фосфора отношение зерна к соломе бывает пониженное, так как для образования зерна нужно больше фосфора, чем при развитии вегетативных органов; в этих случаях внесение фосфатов, восстановляя нормальное образование зерна, тем самым *повышает отношение зерна к соломе*; урожай соломы при этом тоже повышается, но урожай зерна повышается еще сильнее.

Корнеплоды чрезвычайно чувствительны к фосфорным удобрениям, а нередко бывает, что на черноземе на той стадии истощения (вызванного культурой без внесения удобрений), когда хлеба еще не реагируют на фосфор, свекла реагирует весьма четко, повышая не только количество, но и качество урожая.

Особенно же резко подчеркивается разница между хлебами и корнеплодами тогда, когда почва сильно истощена непрерывной культурой без внесения фосфора. Так, на одном из опытных учреждений Северной Ирландии наблюдались следующие соотношения (на фоне NK) (в процентах):

	Без фосфора	Суперфосфат
Урожай турнепса	100	736
» картофеля	100	209
» овса	100	171
» сена	100	118

Помимо большей массы, у корнеплодов повышается еще содержание сухого вещества, что для сахарной свеклы означает повышение процента сахара в соке, причем одновременно повышается и качественный показатель или так называемая доброкачественность сока (отношение сахара к сумме сухих веществ в соке), а это означает улучшение отношения между выходом кристаллического сахара на заводе и остатком сахара в патоке.

Одновременно с этим у свеклы замечается пониженное отношение веса листьев к весу корня, что является одним из признаков созревания; вообще можно сказать, что фосфаты если не ускоряют развитие растений против нормы, то *уменьшают риск запоздания в созревании*, вызываемый преобладанием азотистого питания. Часто можно видеть, проходя осенью мимо участков свекловицы, получивших разное удобрение, чередование желтеющих участков с зелеными; желтеют раньше других (указывая этим на окончание вегетационного периода и передвижение сахара в ткани корня) именно участки, получившие фосфорнокислое удобрение.

Поэтому фосфаты охотно вносят совместно с азотистыми удобрениями, чтобы парализовать понижающее влияние последних на качество свеклы. Приведем пример из одного опыта, сделанного во Франции еще тогда, когда селекция не подняла сахаристости свеклы до современной высоты:

Удобрения	Сахаристость	Доброкачественность
Селитра	14,85%	82,2%
Селитра и суперфосфат .	16,17%	85,5%

Благодаря этому сахарная свекловица явилась еще в довоенное время первым проводником суперфосфата в нашем хозяйстве. В работах киевской сети опытных полей в свеклосахарных хозяйствах, организованной Франкфуртом (а отчасти перед тем в опытах проф. Зайкевича в Харькове и Жукова на Ивановской станции), было доказано, что можно удешевить применение суперфосфата (тогда импортного и потому дорогого), применяя иной способ использования удобрений, нежели обычный в Западной Европе: именно *местное внесение* с помощью комбинированных сеялок. Эти сеялки имеют два ящика и два ряда

[1] Эти личинки, выводясь из яйца, положенного вверху влагалища верхнего листа, опускаются вниз и питаются молодыми зернами невыколосившегося ячменя. На участках же, удобряемых суперфосфатом, по времени появления личинок колосья вышли из влагалища, и потому в них зерна остались неповрежденными.

сошников: передние, идущие глубже,—для высева удобрения, задние—для высева семян в те же рядки, на несколько меньшую глубину; это позволяет значительно удешевить применение суперфосфата, так как здесь требуется для достижения того же эффекта меньшие количества удобрения, чем при сплошном внесении; так, 1,5 ц суперфосфата на 1 га позволяют обычно достигнуть полного эффекта, тогда как при разбросном внесении удобрения потребовалось бы не менее 3 ц; даже 1 ц 20% суперфосфата оказывает весьма значительное действие при рядковом внесении.

Что касается причин этого преимущества рядкового внесения суперфосфата, то здесь главную роль играет следующее обстоятельство: при рядковом способе внесения суперфосфат не смешивается со всей массой почвы, следовательно, не соприкасается с большими количествами соединений извести, а особенно железа и глиноземи, вызывающих ретроградацию фосфорной кислоты, переход ее в менее растворимое, а постепенно и в менее усвояемое состояние; оставаясь долее легко усвояемой, фосфорная кислота суперфосфата в этих условиях полнее используется, поэтому чем богаче почва полуторными окислами, тем больше можно ожидать преимуществ от местного внесения по сравнению со сплошным. Кроме того, и самая форма распределения не безразлична для растений, т. е. имеет значение нахождение запаса растворимой P_2O_5 на пути распространения корней в самый начальный период развития растения.

Однако в связи с заданием повышения урожаев и улучшением снабжения суперфосфатом и у нас выявилась *недостаточность одного только местного внесения удобрения* (в рядки при посеве) и необходимость внесения достаточных доз фосфата в виде основного удобрения, вносимого сплошь. Кроме того, в условиях засушливого климата имеет значение глубина внесения удобрений; при внесении комбинированной сеялкой удобрение только весной находится в достаточно влажном слое, а дальше в течение лета, когда корни ушли на значительную глубину, мелко заделанный суперфосфат может оказаться в настолько высохшем слое почвы, что будет плохо использован корнями. Поэтому важно, чтобы удобрение получили и более глубокие слои, что возможно при осенней запашке.

Действие фосфатов на *картофель* во многом подобно действию на свеклу, т. е. повышение урожая достигается без понижения качества, часто с его повышением; все сказанное об ускорении созревания относится также и к картофелю.

Но так как культура картофеля идет на север гораздо дальше, чем культура сахарной свеклы, то под картофель, в связи со свойствами почвы, могут применяться в более широком масштабе менее растворимые фосфаты до фосфорита включительно.

При культуре картофеля по навозу вообще потребность в добавлении фосфатов меньше, чем при культуре свеклы, так как усвояющая способность картофеля больше.

При удобрении *льна* отмечается с количественной стороны большее влияние фосфатов на урожай семян, чем волокна, однако имеются указания на повышение качества волокна.

Так, в одном случае Льняная станция в Петровско-Разумовском при исследовании качества волокна льна, полученного на опытном поле при различном удобрении, наблюдала следующие различия в номерности волокна (высокие номера отвечают более ценному, тонкому волокну):

Средний номер волокна

0	14,8	P	19,5
N	14,5	NP	19,2
K	16,3	KP	15,7
NK	13,6	NKP	19,5

Здесь ясно сказалось положительное влияние фосфора на качество волокна; но ввиду недостаточности подобного рода данных трудно сказать, насколько проявление этого влияния будет постоянным.

При удобрении *лугов* фосфорная кислота влияет на соотношение растений разных семейств в травяных смесях; опыты показывают, что при удобрении фосфатами процент бобовых частично увеличивается за счет злаковых. Такое изменение соотношения бобовых и злаковых понятно: злаковые способны отзываться на вносимую P_2O_5 лишь до предела, определяемого содержанием усвояемого N в почве, бобовые же этого предела не имеют, так что шансов в борьбе за существование у них становится больше по сравнению со злаками, чем было до внесения фосфатов. Приведем пример резкого действия P_2O_5 в указанном направлении из опытов Шретера и Штеблера в Швейцарии:

Содержание бобовых в смеси трав (в процентах)

Без удобрений	2,8	Азот	1,8
Фосфорная кислота	45,2	Калий	9,2

Ботанический анализ смеси в этом опыте был произведен через год после внесения удобрений.

Характер и размеры действия на ботанический состав смеси, конечно, сильно зависят от рода почвы. На лугах фосфаты вносятся поверхностно, с последующим боронованием в случае малорастворимых фосфатов; так как почва лугов часто имеет значительную кислотность, то нередко применение суперфосфата оказывает меньший эффект, чем применение томасова шлака, что видно из следующих средних данных (в центнерах с 1 га):

Прибавки сена	Типы лугов			
	болотные	заливные	низинные	суходольные
Прибавка от суперфосфата	5,1	5,7	5,1	17,9
Прибавка от шлака	8,7	8,8	8,8	8,7

Таким образом, только на суходольных лугах сказалось преимущество суперфосфата перед шлаком. Число опытов с применением фосфоритной муки на лугах пока недостаточно, желательно их расширить, особенно в комбинации с калийными солями (см. ниже). Случаи крайнего недостатка фосфора в почве и ненормально низкого содержания его в сене приводит Рессель в следующем сопоставлении (в процентах):

	P_2O_5
Хорошее сено (среднее из 24 анализов, Англия)	0,73
Сено из южной Африки	0,04
Сено из Африки: Molo	0,10
Сено из Африки: Kenya	0,19
Сено из Австралии	0,10—0,30

При кормлении таким сеном животные не могут нормально развивать костный скелет; в инстинктивной погоне за фосфором они поедают с большой жадностью даже гниющие кости, нередко заболевая от отравления птомаинами. Ввоз суперфосфата в такие местности Австралии не только вызвал улучшение качества сена, но сделал возможной культуру пшеницы там, где она до этого не росла.

Можно поставить вопрос, не встречаются ли у нас очаги такого недостатка фосфора в кормах; так, например, в том песчаном царстве, какое характеризует Шенкурский район, в селениях, где для удобрения пользуются исключительно навозом из мохового торфа с навозом, наблюдаются часто ломкость костей у животных, мягкость яичной скорлупы, рахит у детей. Обычно это объясняют недостатком только извести, но возможно, что в таких условиях имеется недостаток также и фосфора; введение фосфоритной муки в торфяной компост в этих случаях могло бы сыграть большую роль как для поднятия урожаев, так и для оздоровления состава растительной и животной пищи.

Помимо действия фосфатов в первый год, наблюдается еще большее или меньшее *последействие* их на второй и следующие годы; оно относительно больше

у малорастворимых фосфатов не только потому, что в первый год они менее используются, но еще и потому, что вносятся обычно в бо́льших количествах, чем растворимые.

Известен ряд случаев, когда действие фосфатов было заметно даже на трех последующих растениях; иногда оно растягивается на еще больший срок (при внесении значительных количеств).

Так, нам пришлось наблюдать на черноземе бывш. Воронежской губернии (Боринское хозяйство) действие удобрения костяным углем, внесенным в 1889 г., на третье растение по тому же удобрению (свеклу) в 1891 г.; приводим некоторые примеры:

	Без удобрения	С удобрением	Без удобрения	С удобрением
Урожай (в центнерах с 1 га)	122,5	166	108	152
Сахаристость (в процентах)	15,0	16,04	15,38	16,21

Здесь ясно влияние не только на урожай, но и на сахаристость, проявившееся в целом ряде случаев; правда, костяного угля дано было много (около 8 ц на гектар).

Вагнер приводит случаи многолетнего действия на луговую растительность томасова шлака, внесенного один раз (осенью 1889 г.) в количестве 8 ц (при повторном внесении каинита на всех участках). Укосы были следующие (в центнерах с 1 га):

	1890 г.	1891 г.	1892 г.	1893 г.	1894 г.	1895 г.	1896 г.	1897 г.	1898 г.
Без P_2O_5	17,5	17,4	16,8	14,0	33,1	28,8	25,5	26,7	25,9
Томасов шлак	25,5	40,4	42,8	28,4	62,4	41,9	36,1	35,9	31,6
Разность	7,0	23,0	26,0	14,4	29,3	13,1	10,6	9,2	5,7

Для нас наиболее интересно длительное действие фосфоритной муки: если ее внести в повышенных количествах на оподзоленной почве, бедной фосфором, то влияние этого внесения не заканчивается одной ротацией севооборота, а переходит и на следующую. Примеры такого длительного эффекта были даны Энгельгардтовской опытной станцией и Долгопрудным опытным полем НИУИФ.

В этом случае мы стоим уже на грани между удобрением в обычном смысле слова и коренным улучшением почвы, т. е. созданием в ней заново запаса фосфорной кислоты и одновременным смягчением кислотности почвы кальцием фосфорита.

О ДОЗАХ, СРОКАХ И СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ ФОСФАТОВ

При установлении доз фосфатов с учетом размеров выноса фосфора урожаями разных культур и разной высоты (см. табл. на стр. 285) следует учитывать сравнительно невысокий коэфициент использования P_2O_5 внесенных удобрений. В большинстве случаев он составляет всего 15—30% (для первой культуры, идущей по удобрению), но иногда оказывается еще более низким (например, на красноземах влажных субтропиков) и очень редко превосходит эти пределы. По сравнению с другими, наиболее часто применяемыми минеральными удобрениями (азотистыми, калийными) коэфициент использования фосфатов растениями является наиболее низким.

Так, например, по данным Кенига и Нейбауера, коэфициент использования минеральных удобрений в среднем составляет:

	N	P_2O_5*	K_2O
По Кенигу	80%	25%	66%
» Нейбауеру	—	15—33%	60%

Эти цифры показывают, что если при применении азотистых и калийных удобрений растения в первый же год используют $^2/_3$—$^4/_5$ от данного в удобрениях количества N и K_2O, то при внесении фосфатных удобрений в лучшем случае используется $^1/_{31}$ а то и $^1/_4$ внесенной P_2O_5. Остальное количество закрепляется почвой и в неопределенных количествах постепенно используется последующими посевами. Это обстоятельство отражается и на дозах применяемых фосфатных удобрений (приходится вносить больше удобрений) и на технике их внесения (поскольку этим путем возможно повысить коэфициент использования P_2O_5).

Обычно применяемые в практике дозы фосфатных удобрений изменяются примерно в следующих пределах: средней дозой для злаков считается 40—60 кг P_2O_5 на 1 га, для корне- и клубнеплодов, хлопчатника она несколько выше и составляет 60—90 кг P_2O_5 на 1 га (или даже 120—150 кг на 1 га). Для медленнее действующих фосфатных удобрений (томасшлак, термофосфаты и т. д.) часто применяют несколько увеличенные дозы (в 1,3—1,5 раза против P_2O_5 в суперфосфате). Для трудно растворимых удобрений (фосфоритная мука) доза обычно берется двойной (реже тройной) против количества P_2O_5 в суперфосфате.

При рядковом внесении фосфатов одинаковый прирост урожая чаще всего достигается при значительно сниженных дозах (в 2 и даже 3 раза), вследствие увеличения коэфициента использования фосфора в удобрении[1].

С другой стороны, в тех случаях, когда поставлена задача получения очень высокого урожая, дозировки фосфора иногда значительно превосходят обычные средние (для массового применения) нормы.

Понятно, что количество фосфора, которое растения могут взять из почвы (помимо внесенного в удобрении), на разных почвах неодинаково. Поэтому для более правильного установления доз удобрений, применяемых на разных почвах, полезно иметь данные о сравнительной обеспеченности почв фосфором. Кроме генетических почвенных разностей, на обеспеченности почв фосфором сильно сказывается предыдущая заправка почвы навозом и другими удобрениями, что опять-таки связано с невысоким коэфициентом использования фосфора растениями и продолжительным последействием ранее внесенных удобрений.

Наконец, известную роль играет и способ внесения удобрения, ибо при разных способах внесения наблюдается и неодинаковое использование питательных веществ растениями.

Приемы внесения удобрений могут быть весьма разнообразными, причем выбор того или другого из них должен преследовать в основном следующие задачи:

1) повышение коэфициента использования питательного вещества, содержащегося в удобрении[2], с тем, чтобы при меньших дозах удобрения получить достаточно высокую прибавку урожая;

2) предоставление растению питательных веществ в то время, когда повышение уровня питания наиболее необходимо для лучшего формирования урожая и получения должного качества его.

---

* В усвояемых фосфатах.

[1] Кроме того, при рядковом внесении (при посеве) вообще избегают вносить высокие дозы удобрений, чтобы не создавать слишком большого увеличения местной концентрации удобрения.

[2] Для той же цели можно вносить и различные сопутствующие удобрения, способствующие увеличению доступности питательного вещества или препятствующие его связыванию почвой.

Из предыдущего изложения мы знаем, что фосфаты достаточно сильно связываются почвой и, будучи внесены даже в водорастворимой форме (например, в виде суперфосфата простого или двойного), быстро переходят в такие соединения, которые в воде нерастворимы [например, $CaHPO_4$ или $Ca_3(PO_4)_2$, фосфаты железа, алюминия и др.]. Это приводит к тому, что фосфор удобрений почти не передвигается в почве и остается в том слое, куда он внесен или с которым он смешан (с этим же связано и ничтожное вымывание фосфорной кислоты из большинства почв).

Вместе с тем, так как корни растения по мере роста проникают в почву на значительную глубину, было бы весьма существенно вносимый в удобрениях фосфор иметь на разной глубине, в ближних к поверхности слоях почвы при ранних стадиях развития и в более глубоких позднее.

С другой стороны, некоторые фосфаты, именно трудно растворимые (или фосфорит и апатит), сами по себе недоступны большинству растений и должны предварительно быть разложены почвой. Естественно, что для этой цели их нужно хорошо смешать с почвой, чтобы реакции, приводящие к их разложению, могли происходить возможно полнее.

Что касается растворимых и полурастворимых фосфатов, то они вполне пригодны для усвоения растениями сразу же после внесения, и их наличие в почве без растений может привести лишь к уменьшению растворимости P_2O_5 вследствие ретроградации.

Растворимые фосфорнокислые удобрения, вообще говоря, могут применяться при всех способах внесения. Однако нужно отметить, что опытное дело и практика прошлого слишком много злоупотребляли мелкой их заделкой (это относится, в сущности, и к другим видам удобрений), тогда как различные варианты местного внесения (за исключением рядкового под сахарную свеклу) были крайне мало распространены (рядковое внесение под другие культуры, помимо сахарной свеклы, размещение вдоль рядков на то или иное расстояние и глубину, на дно борозды и т. д.).

Большое значение глубокой заделки растворимых фосфатов следует отчасти из многочисленных опытов по сравнительному изучению осеннего (глубокая заделка) и весеннего (под культиватор) внесения суперфосфата. Вот, например, результаты одного из таких опытов (прибавка урожая корней сахарной свеклы в центнерах с 1 га):

64 кг P_2O_5 на гектар в суперфосфате с осени перед вспашкой . . .	+35
То же удобрение весной под культиватор	+18

Аналогичные результаты были получены и с озимой пшеницей Украинским институтом социалистического земледелия (1936 г.) при сравнении внесения удобрений с осени и в весеннюю подкормку (урожай зерна пшеницы в центнерах с 1 га):

1. Без удобрений	10,2	5. K—осенью, PN—весной . .	21,6
2. NPK—осенью	30,8	6. NP—осенью, K—весной . .	32,7
3. NPK—весной (подкормка)	18,1	7. P—осенью, NK—весной . .	36,6
4. N—осенью, PK—весной .	16,7		

Как видно из этих данных, замена осеннего внесения фосфора весенней подкормкой во всех случаях сопровождалась понижением действия удобрения, тогда как NK, внесенные весной, в том же опыте дали лучший результат.

Несмотря на то, что при внесении с осени усвояемость P_2O_5 суперфосфата могла быть снижена (вследствие поглощения почвой), его эффективность в этом случае оказалась более высокой; это можно объяснить тем, что фосфор был дан здесь не только в поверхностные, но и в более глубокие слои почвы[1].

[1] Для озимых здесь имеет значение еще и влияние удобрений на зимостойкость. Отмечено, что повышение уровня фосфатного (и калийного) питания с осени сказывается в этом смысле благоприятно, тогда как избыточное снабжение азотом может понизить сопротивляемость к вымерзанию.

Поверхностное внесение растворимых фосфатов с последующей заделкой, например, боронованием не является хорошим способом их применения, но в известных случаях этот прием оказывается, в сущности, единственно возможным способом внесения удобрения. Сюда относится удобрение лугов (без коренной мелиорации) и клеверных полей[1]. Во всех этих случаях использование вносимого фосфора сильно зависит от свойств почв и вида культуры. Чем меньше почва связывает P_2O_5, чем больше корней находится у данной культуры в поверхностных слоях и чем лучше сложатся в дальнейшем погодные условия (выпадение осадков), тем полнее будут использованы поверхностно внесенные фосфаты.

Если удобрение вносится в качестве подкормки растениепитателем на известную глубину, его использование растениями может быть более полным.

Полурастворимые и нерастворимые фосфаты значительно более пригодны для заблаговременного внесения и смешивания со всем пахотным слоем почвы. Однако в случае почв, очень богатых полуторными окислами и жадно связывающих P_2O_5 (как красноземы), повидимому, уместно будет даже для фосфоритной муки смешивание не со всем объемом почвы, а лишь с ограниченной ее частью, чтобы избежать последующей [вслед за разложением $Ca_3(PO_4)_2$] ретроградации фосфорной кислоты.

[1] Поверхностное внесение имеет место и при внесении удобрений в качестве подкормки под культуры сплошного посева (например, при подкормке зерновых культур). Этот прием в отношении фосфатов может быть целесообразным в тех случаях, когда почему-либо не было обеспечено внесение фосфора в основном удобрении (которое, как правило, при глубокой заделке более эффективно), или же при таких условиях, когда для получения высокого урожая, обеспеченного достаточным количеством влаги (например, при орошении), лучшей агротехникой и т. д., необходимо внести подкормку в качестве дополнения к основному удобрению.

КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Калий является столь же необходимым элементом для жизни растений, как азот и фосфор; однако физиологическая равноценность элементов не означает еще равенства по значению того или иного элемента в деле внесения удобрений, так как тут замешивается ряд других факторов, как богатство почв тем или иным веществом, а также круговорот этого вещества в хозяйстве; поэтому необходимо ближе войти в рассмотрение этих обстоятельств.

Содержание и формы соединений калия в почвах. Калий распространен в природе больше, чем фосфор. Содержание калия в горных породах выражается не малыми долями процента, как для P_2O_5, а целыми процентами, например, 4—6% в гранитах и гнейсах, от 1 до 5% в базальтах, 3—5% в трахитах. В среднем считают, что в земной коре содержится 2,58% калия и лишь 0,12% фосфора.

При выветривании горных пород и разрушении силикатов калий отчасти вымывается (в виде углекислого и кремнекислого калия) и уходит в море (оттуда калий Стасфурта и Соликамска), отчасти же остается в почве в различных формах, преимущественно трудно растворимых в воде и лишь частью усвояемых для растения.

Общее содержание калия в почвах обычно бывает в пределах от 1 до 2,5% K_2O, но некоторые почвы содержат калия много меньше; так, в сильно песчаных почвах и в красноземах общее содержание калия падает до 0,2—0,3%, а в торфяных почвах—до 0,05—0,14% K_2O (особенно бедны калием верховые торфянники).

В общем замечается связь между содержанием глины в почве и богатством ее калием; так, при исследовании почв Швеции обнаруживалась в среднем такая закономерность:

	Пески	Супески	Легкие суглинки	Тяжелые суглинки	Глины
Содержание калия (в процентах K_2O), извлекаемого HCl-вытяжкой . .	0,08	0,11	0,14	0,20	0,27

Шнейдевинд (Германия) приводит такое сопоставление между процентом глинистых частиц в почве и калием солянокислой вытяжки:

	Песчаные почвы		Суглинки		Глинистая почва
Процент глинистых частиц	4,9	12,9	19,1	24,8	41,5
Калий солянокислой вытяжки (в процентах)	0,046	0,164	0,259	0,380	0,565

Параллелизм между механическим составом почв и содержанием калия нарушается, если сравнивать между собой почвы разных генетических типов. В пре-

делах почв одного типа обычно сохраняется связь между общим содержанием калия и количеством мелкодисперсной фракции в почве. В качестве примера можно привести такие данные для нескольких почв СССР (по Масловой):

	Подзолистые почвы			Черноземы		
Содержание илистой фракции (в процентах)	3,0	4,9	7,6	8,6	11,3	22,3
Общее содержание в почве K_2O (в процентах)	1,25	1,97	2,72	1,50	1,77	2,00

Делались неоднократные попытки установить, на основе анализов большого количества почв, границы «нормального» содержания калия для почв, различных по механическому составу, с тем, чтобы на основе подобных определений судить о возможной эффективности калийных удобрений. Однако ни данные валового анализа, ни солянокислая вытяжка не передают оттенков усвояемости почвенного калия, и показания эти больше говорят об общем богатстве почвы калием, чем о доступности его для растений.

Как было сказано, калий содержится в почве в различных формах, отличающихся по своей растворимости и усвояемости для растений. В этом отношении следует различать такие главнейшие формы соединений калия в почве:

1) *водорастворимый калий*,

2) *обменный (или поглощенный) калий*,

3) *калий, входящий в состав безводных силикатов* и не вытесняемый раствором нейтральной соли. Этот калий находится преимущественно в составе минералов, оставшихся от разрушения горных пород в процессе выветривания.

Несомненно, что наиболее усвояемым для растений является *водорастворимый калий*. В почвенном растворе калий находится в виде растворимых в воде солей азотной, фосфорной, угольной кислот, растворимых органических кислот и т. п.

Содержание калия в почвенном растворе, как правило, бывает небольшим. В качестве примера приведем здесь данные, полученные при определении содержания калия в почвенном растворе неудобренного парового поля опытной станции ТСХА (Соболев и Драчев).

Содержание калия в почвенном растворе

Сроки определения	5/IV	5/V	2/VI	14/VII	3/VIII	8/X
Калий (в миллиграммах на 1 кг почвы)	3,6	6,1	1,5	5,0	2,2	2,7

Если рассчитать содержание калия почвенного раствора в пахотном слое на 1 га, то для неудобренной почвы оно колебалось, по этим данным, от 4,5 до 18 кг калия. Это количество калия значительно ниже того, что выносит ежегодно растения с 1 га даже при невысоком урожае (см. приводимые ниже примерные величины выноса калия растениями, стр. 350).

Понятно поэтому, что содержание калия в почвенном растворе в тот или другой момент не может характеризовать размеров обеспеченности растений калийным питанием.

Ближайшим резервом для перехода в почвенный раствор и для усвоения растениями является калий, содержащийся в почве *в поглощенном состоянии (обменный калий)*. Между ионами калия, находящимися в почвенном растворе и в поглощающем комплексе, всегда устанавливается некоторое подвижное равновесие, зависящее также от содержания в растворе других катионов.

В общем при повышении концентрации калия в почвенном растворе и изменении вследствие этого соотношения между калием и другими катионами (как это имеет место, например, при внесении калийных удобрений) происходит переход части ионов калия из раствора в поглощенное состояние (в обмен глав-

ным образом на Ca). Наоборот, при уменьшении концентрации калия или повышении концентрации других катионов происходит частичное вытеснение обменного калия в почвенный раствор.

Поэтому по мере усвоения растениями калия из почвенного раствора и при наличии в почве обменного калия всегда будет иметь место частичное вытеснение калия из поглощающего комплекса и возобновление в какой-то степени его содержания в почвенном растворе.

В основном доступность растениям поглощенного калия может быть объяснена именно этой его способностью переходить в почвенный раствор; при этом здесь может иметь существенное значение *местное изменение концентрации почвенного раствора* в результате воздействия корневой системы растения (усвоение K, выделение H_2CO_3 и т. д.).

В последнее время в литературе появились данные, указывающие на возможность так называемого контактного обмена ионов K' на ионы H' между корнями и твердой фазой почвы, однако эти явления трудно изолировать от рассмотренного только что местного воздействия корней на состав почвенного раствора с одновременным вытеснением калия из поглощенного состояния в почвенный раствор.

Для определения содержания в почве обменного калия применяют чаще всего вытеснение его солевым раствором (например, NaCl, NH_4Cl, CH_3COONH_4 и др.) или же настолько разведенными кислотами, что они не разрушают поглощающего комплекса, как, например, 0,05-*н* HCl (по Гедройцу), и не затрагивают безводных силикатов.

Содержание обменного калия в почвах чаще всего находится в пределах от 5 до 20 мг K_2O на 100 г почвы (или что то же 0,1—0,4 м.-экв. на 100 г почвы).

Вот некоторые данные, характеризующие содержание обменного калия в почвах. Для сопоставления по некоторым из них мы приводим и общее содержание калия.

Почвы	Горизонт (в сантиметрах)	Обменный калий (в миллиграммах K_2O на 100 г почвы)	Общий калий (в процентах K_2O)	Обменный калий (в процентах от общего)
Суглинистая (подзолистая) почва Свердловской области	0—15	14,5	1,42	1,02
	30—40	8,5	1,57	0,54
	55—65	12,0	1,36	0,88
Выщелоченный чернозем Мироновской опытной станции (УССР)	0—20	12,7	—	—
	20—40	16,5	—	—
	40—60	15,2	—	—
Серозем Ташкентской области	Пахотный горизонт	18—27	1,68	1,07—1,6

Таким образом, на долю таких форм, как калий водорастворимый и обменный, приходится лишь очень небольшая часть от общего содержания калия в почве[1].

Большая часть общего запаса калия в почвах содержится в виде разнообразных *калийных силикатов*, представляющих главным образом остатки от разрушения горных пород в процессе выветривания. Эти формы калийных соединений почвы в общем характеризуются малой растворимостью и малой доступностью для растений. Именно этим и можно объяснить тот факт, что, несмотря

[1] Содержание обменного калия в одной серии образцов почв США (по данным Хогланда) колебалось в пределах от 2,5 до 39,5 мг на 100 г почвы. Сопоставление с содержанием общего калия дает аналогичную картину, например:

Общий калий (в процентах)	0,60	0,90	1,42	2,26	2,56
Обменный калий (в миллиграммах на 100 г почвы)	6,0	8,5	12,5	17,5	11,3
То же, в процентах от общего	1,0	0,94	0,90	0,77	0,45

на большое содержание общего калия, доходящее до 1,5—2 и более процентов от веса почвы[1], внесение сравнительно небольшого количества калия в виде удобрений часто дает значительный прирост урожая.

Однако *нельзя считать совершенно неусвояемым калий безводных силикатов*. Так, прямыми опытами с калийными силикатами в нашей лаборатории (Стольгаве, Смирнов, Чириков и др.) было показано, что калий таких минералов, как мусковит, биотит, нефелин, может усваиваться растениями в заметных количествах, если в окружающей среде присутствуют другие катионы, способные в какой-то части вытеснить в раствор калий силикатов[2]. В небольших же количествах калий силикатов усваивается растениями даже в среде, не содержащей посторонних солей, очевидно, за счет постепенного гидролиза силикатов.

Усвоение растениями калия почвенных силикатов довольно отчетливо наблюдалось в опытах Хогланда (США). При последовательном выращивании в сосудах восьми урожаев двух культур (в опытах чередовались ячмень и томаты) велись наблюдения за содержанием в почве обменного калия и определялось количество калия, усвоенного растениями. Оказалось, что первые четыре урожая покрывали свою потребность преимущественно за счет обменного калия, но когда содержание его было снижено, то следующие четыре урожая уже в значительной степени снабжались за счет необменного калия почвы (хотя количество обменного калия не опускалось до нуля).

Если калийного удобрения не было дано с самого начала опыта, то уже вторая культура (томаты) усваивала значительную часть калия за счет необменного калия почвы. Вот отдельные примеры (все данные в миллиграммах на 1 кг почвы):

	Почвы					
	I	II	III	IV	V	VI
Уменьшение обменного калия в почве	43	24	16	25	13	0
Взято калия растениями из почвы	69	52	47	87	66	14
В том числе из необменного калия почвы	26	28	31	62	53	14

Частичная мобилизация калия силикатов, повидимому, имеет место даже при приготовлении водных вытяжек из почвы. Содержание калия в водной вытяжке, при широком отношении «почва : вода», рассчитанное на 1 кг почвы, получается обычно выше, чем в почвенном растворе по такому же расчету. Так, в опытах Соболева и Драчева водная вытяжка извлекала из почвы калия в 2—6 раз больше, чем содержалось его в почвенном растворе. Правда, известную роль здесь может играть и обменный калий, так как при увеличении объема (разбавление водой), согласно уравнению обменной адсорбции, должно возрастать соотношение между одно- и двувалентными катионами в растворе (см. стр. 122).

В опытах нашей лаборатории наблюдались случаи, когда после полного насыщения почв кальцием и магнием (с целью вытеснения калия) и последующего длительного отмывания водой в почве снова обнаруживалось заметное количество обменного калия. При этом в больших размерах возобновление обменного калия (очевидно за счет гидролиза силикатов) наблюдалось у почв с повы-

[1] Что составляет около 50 т K_2O на 1 га только в пахотном слое.

[2] Увеличение способности к обмену калия обнаруживается у таких минералов, как мусковит и биотит, даже просто при тонком измельчении. Так, в опытах Келли и др. наблюдалось такое увеличение обменного калия у мусковита и биотита (в миллиэквивалентах на 100 г):

Подготовка	Обменный калий в мусковите	Обменный калий в биотите
Просеянные через сито № 100	9,1	8,2
Размолотые на шаровой мельнице	52,5	60,0

Аналогичные результаты наблюдались также при размалывании коллоидальной фракции, выделенной из почв.

шенным содержанием мелкодисперсных илистых частиц; на супесчаной почве это было выражено в меньшей степени, чем на суглинке и на черноземе[1].

Отсюда можно сделать заключение, что на почвах тяжелых (по механическому составу) растения должны быть в общем лучше обеспечены калийным питанием не только потому, что в них обычно бывает более высоким общее содержание калия, но и потому, что калий мелкодисперсных частиц способен к более быстрой мобилизации и переходу в усвояемые формы, чем калий, входящий в состав крупных механических элементов.

Иллюстрацией этого положения могут служить следующие данные относительно отзывчивости на калийные удобрения двух почв с одинаковым содержанием калия, но различных по механическому составу (Дюмон)[2].

Почва	Процент K_2O в почве	Отзывчивость на калийные удобрения	Процент глины	Процент K_2O в глине	Процентное распределение калия в почве (общее содержание K_2O = 100%)		
					крупный песок	мелкий песок	глина
Гриньон	0,85	Отсутствует	16,8	0,94	16,6	65,8	17,6
Ла-Крэз	0,89	Хорошая	4,5	0,51	70,9	26,4	2,7

Таким образом, чем больше содержалось калия в более тонких механических элементах, тем в большей степени было обеспечено на этих почвах питание растений калием.

То обстоятельство, что среди тяжелых почв чаще встречаются почвы, более обеспеченные калием, показывают и полевые опыты и аналитические данные, в частности, анализ почв методом проростков по Нейбауеру (выращивание в течение 17 дней 100 растений ржи на 100 г почвы и определение усвоенного проростками ржи калия). Так, в Германии Клинг и Энгель (1924—1927 гг.) определили калий по Нейбауеру в 1 422 образцах почв и получили такое распределение их (в процентах по каждой группе):

Образцы почв с содержанием усвояемого калия (на 100 г почвы)	Тяжелые почвы	Песчаные почвы
До 15 мг K_2O	4,8%	20,7%
От 15 до 24 мг K_2O	14,0%	32,5%
От 24 до 50 мг K_2O	58,8%	41,5%
Более 50 мг K_2O	22,4%	5,3%

Учитывая более высокую способность к переходу в усвояемые формы калия, входящего в состав мелкодисперсных частиц почвы, предлагалось для характеристики почвы в отношении калия определить, помимо обменного калия, также величину илистой фракции почвы и процент калия в ней.

О возможном разнообразии в этом отношении почв СССР дают представление следующие примеры (по Масловой):

[1] Вот результаты одного из таких опытов (Гунар и Федоровский):

Почвы	Содержание обменного калия в исходных почвах		Найдено в тех же почвах после полного вымывания их Ca + Mg и последующего отмывания водой	
	в миллиграммах	в процентах	в миллиграммах	в процентах
Супесь (Люберцы)	4,3	100	0,8	18,6
Суглинок (ТСХА)	7,8	100	2,4	30,8
Чернозем (Мироновская станция)	12,2	100	9,7	80,0

[2] Цитировано по Росселю. «Почвенные условия и рост растений». М., 1931, стр. 131.

Почвы	Валовое содержание K_2O в почве (в процентах)	Процент фракции <0,001 мм	Валовое содержание K_2O в илистой фракции (в процентах)	Содержится в илистой фракции K_2O (в процентах от всего калия почвы)	K_2O илистой фракции (в миллиграммах на 100 г почвы)
Подзолистая Смоленской области	1,25	3,0	1,56	2,2	47
Подзолистая Московской области	2,72	7,6	3,11	8,5	236
Серая лесная почва	1,38	4,7	3,08	9,2	144
Чернозем Каменно-Степной опытной станции	2,00	22,3	3,43	33,9	765
Серозем из Средней Азии	2,30	9,65	3,26	20,7	313

Для характеристики почв в пределах генетически однородных почвенных разностей считают возможным судить об относительной обеспеченности их калием по содержанию обменного калия.

Кроме перехода калия малорастворимых силикатов в более подвижные формы, в некоторых почвах обнаружено наличие процессов, идущих в обратном направлении, а именно переход калия при внесении удобрений в необменную форму. На таких почвах, несмотря на значительное валовое содержание калия, малые дозы калийных удобрений могут быть не эффективны, и только после известной степени насыщения почвы калием будет наблюдаться полное действие этих удобрений и на растение. Природа соединений, в которые переходит калий с потерей способности к обмену, точно не установлена. Некоторые авторы считают, что при этом калий вступает в состав новообразующихся почвенных минералов, другие же полагают, что поглощенный калий, как малогидратированный катион, с течением времени (или под действием повышенной температуры) перемещается в более глубокие адсорбционные слои, где и удерживается более прочно. Американский ученый Фольк наблюдал переход калия в необменную форму на многих почвах под влиянием попеременного увлажнения и высушивания почвы при 70°Ц*. При этом ему будто бы удалось обнаружить рентгенографическим методом соответственное увеличение в почвах калийной слюды—мусковита.

О круговороте калия в хозяйстве. Кроме большего (по сравнению с фосфором) богатства многих почв калием, круговорот веществ в хозяйстве складывается более благоприятно для калия, чем для фосфорной кислоты, вследствие иного распределения по органам растения, именно: калия больше содержится в соломе, чем в зерне. Вот более или менее типичные примеры (содержание K_2O в процентах):

	Зерно	Солома
Овес	0,42	0,97
Рожь	0,54	0,90
Гречиха	0,45	1,23

А так как и масса соломы больше, чем масса зерна, то большая часть калия возвращается полям вместе с навозом в отличие от фосфорной кислоты. Если же в хозяйстве имеются луга, то может оказаться, что поля получают даже больше калия, чем отдают,—происходит как бы перекачивание калия из почвы лугов в почву полей.

В Германии считают, что при отсутствии минеральных удобрений для возмещения выноса калия с полей достаточно иметь 8% площади под лугом, тогда как для компенсации выноса фосфора нужна площадь лугов в 45% от площади пашни.

* На наших почвах это наблюдение было подтверждено Горбуновым, причем переход калия в необменную форму под влиянием высушивания оказался более заметным на черноземе и каштановой почве, чем на почвах подзолистых.

Поэтому потребность в калийных удобрениях обычно наступает позднее, чем потребность в фосфоре и азоте, если навоз применяется в достаточном количестве. Однако благополучный баланс по калию далеко не всегда означает, что нет надобности вносить калийное удобрение, ибо на бедных калием почвах (подзолах и суглинках) баланс этот сводится при том низком уровне урожаев, который обусловливается общей бедностью этих почв; если мы хотим поднять урожаи на таких почвах внесением азота и фосфора, то на них одновременно может проявиться потребность в калии. В этих условиях придется учесть, что вообще урожаи уносят калия больше, чем фосфора, причем между отдельными культурами в отношении потребления калия существует значительное различие.

Для характеристики размеров выноса калия урожаями приведем здесь примерные (средние) данные для нескольких культур и для урожаев различной высоты.

Культура	Урожай (с 1 га)	Примерный вынос калия (K_2O) (в килограммах с 1 га)
Зерновые хлеба	15—20 ц зерна	40—60
	25—30 » »	60—90
Лен	20—30 » соломы	25—40
	40—60 » »	50—80
Клевер	20—30 » сена	40—50
	50—60 » »	60—90
Картофель	200—250 » клубней	140—230
	300—350 » »	200—320
Сахарная свекла	200—250 » корней	150—200
	400—500 » »	250—400
	600—700 » »	350—550
Хлопчатник	15—20 » сырца	90—120
	30—40 » »	160—200
	50—60 » »	240—270
	90—100 » »	360—400

Как видно, картофель и корнеплоды берут калия гораздо больше, чем хлеба; так как в их золе половина (и более) приходится на K_2O, то еще Либих назвал эти растения калийными; он даже высказал предположение, что свеклоутомление, проявлявшееся во многих хозяйствах Германии, зависит от истощения почвы калием вследствие часто повторяющейся культуры свеклы; когда были открыты залежи стассфуртских солей в Германии, то Либих думал, что найдено радикальное средство против свеклоутомления. Но это толкование оказалось слишком упрощенным[1], именно, кроме анализа растения, нужно считаться еще с различиями в усвояющей способности отдельных растений и с разной судьбой урожая в случае культур технических и кормовых.

Усвояющая способность по отношению к калию оказалась у некоторых из «калийных» растений повышенной по сравнению с хлебами, но, с другой стороны, встречаются растения, уносящие много калия и отличающиеся плохой усвояющей способностью по отношению к малорастворимым соединениям калия в почве; таков, например, табак; поэтому необходим индивидуальный подход к отдельным растениям (или по крайней мере к их группам) и приходится принимать во внимание, что отзывчивость растения к тому или иному удобрению зависит как от размеров потребления данного вещества, так и от той легкости, с какой растение усвоит его; в формуле (предположительной), выражающей потребность растения в удобрении, *первая величина должна стоять в числителе, а вторая—в знаменателе*; если знаменатель (усвояющая способность) велик, то растение будет мало отзывчиво к данному удобрению, хотя бы потребление (числитель) и достигало значительных размеров.

[1] То специфическое свеклоутомление, которое получается при частом возвращении свеклы на то же поле, вызывается причинами биологическими (поражение нематодами), недостаток же калия чаще всего сказывается простым недобором в урожае свеклы; в крайних случаях калийного голодания наблюдаются заболевания листьев, именно появление на них бурых пятен, затем отложение сахара в корне идет плохо; однако эти явления совсем не похожи на то свеклоутомление, которое вызывается нематодами, и применение калийных солей для борьбы с этим заболеванием было неудачным.

То обстоятельство, что некоторые из «калийных» растений отличаются способностью при тех же условиях заимствовать больше калия из почвы, чем другие, встретилось, между прочим, в опытах Вагнера при культуре разных растений на одной и той же почве; если принять за 100 количество калия, усвоенного свекловицей, то на той же почве другие растения взяли такие относительные количества K_2O:

Свекловица	100	Люцерна	64
Картофель	88	Рожь	57
Горох	70	Лен	54
Овес	67	Пшеница	51
Клевер	66	Ячмень	43

Понятно, что усвояющая способность может играть роль лишь там, где есть из чего усвоять, где значительная часть калия находится в элементах «богатства» почвы; на почве же, вообще бедной калием, будет наблюдаться больший параллелизм между размерами потребления калия тем или иным растением и отзывчивостью его к удобрению.

Затем ход истощения почвы при культуре «калийных» растений будет совершенно различен *в зависимости от их назначения*; так, при скармливании картофеля скоту в том же хозяйстве весь взятый из почвы калий будет возвращен в нее с навозом (при условии правильного хранения и использования навоза в навозной жижи), а при доставке картофеля на завод калий в почву не вернется, и потребность в калийных удобрениях проявится гораздо скорее.

Материалом для калийного удобрения служат: 1) калийные соли, раньше добывавшиеся почти исключительно в Стассфурте (Германия), а теперь и у нас в Соликамске; 2) отчасти для этой цели пригодны некоторые из калийных силикатов, как нефелин и другие; 3) зола, имеющая большое значение как местное удобрение.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ

Первыми были открыты залежи калийных солей в Стассфурте в Германии, в долгое время Германия принадлежала монополии снабжения калием мирового сельского хозяйства; после войны 1914—1918 гг. стали разрабатываться залежи в Эльзасе, отошедшем к Франции, и в восточной Галиции (ныне Станиславовская область, УССР) и еще позднее были открыты у нас мощные отложения калийных солей в Соликамске.

История открытия Стассфурта и Соликамска имеет общие черты. И тут и там добывалась раньше поваренная соль; в Стассфурте в сороковых годах прошлого столетия добыча остановилась вследствие казнущегося истощения запасов соли, но геологи настояли на пробном бурении; при этом, пройдя слой соленосных глин, нашли снова мощную толщу основных (первичных) отложений поваренной соли, а известные раньше слои оказались вторичными. Тогда добыча соли возобновилась; при этом приходилось снимать верхние слои этого первичного отложения, окрашенные в красноватые тона и имевшие горький вкус; их первоначально отбрасывали при добыче поваренной соли. Но эта отбросная, или съемочная, соль (Abraumsalz) и оказалась содержащей соединения калия и магния; тогда точнее определили залегание калийных солей, и с 1861 г. началась их добыча, которая затем возрастала таким образом (в тысячах тонн):

1861 г.	2	1910 г.	8 160
1870 г.	288	1920 г.	11 386
1880 г.	668	1929 г.	13 329
1890 г.	1 279	1930 г.	11 962
1900 г.	5 037	1937 г.	17 100

Из этого количества около 94% шло на нужды сельского хозяйства, и лишь около 6% потребляла химическая промышленность.

Состав стасфуртских солей довольно сложен; в них присутствуют хлористые и сернокислые соли калия, натрия, магния и кальция. Важнейшими минералами в этих залежах являются следующие:

Карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

Каинит $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$.

Полигалит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Твердая соль (Hartsalz) $NaCl \cdot KCl \cdot MgSO_4 \cdot H_2O$.

Сильвин KCl.

Сильвинит $KCl \cdot NaCl$.

В породе, кроме этих, содержащих калий, минералов, находится каменная соль ($NaCl$), кизерит ($MgSO_4 \cdot H_2O$), бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) и другие соли. Сырые стасфуртские соли (без переработки их на концентраты) содержат от 8 до 15% K_2O.

Первые опыты применения калийных солей в Германии были неудачны, частью вследствие излишне больших доз (без достаточных доз азота), частью потому, что руководились не свойствами почвы, а выбирали «калийные» растения, в частности, свеклу, которая возделывалась на лучших почвах. Но при том уровне культуры ясного действия калия на лучших почвах не получалось, и первый успех калийные удобрения имели лишь при культуре болот (Римпау), а затем—при культуре песков и люпиновых севооборотах (Шульц—Люпиц). Только несколько позднее, когда начался общий подъем урожаев в Германии под влиянием усиленного внесения фосфатов и азотистых удобрений, калийные удобрения проявили свое действие и на тех почвах, которые раньше в них не нуждались; тогда применение стасфуртских солей стало в Германии общераспространенным.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ СССР

До войны 1914—1918 гг. калийные соли ввозились к нам из Германии, это и был единственный источник калия на рынке удобрений (зола при большом ее количестве в стране на рынок не поступала). Только в 1925 г. у нас были открыты свои залежи калийных солей в Соликамске. Как в Стасфурте, так и у нас на Каме дело началось с добывания поваренной соли; начало промышленного солеварения было положено Строгановыми при Иване Грозном, затем «соли камские» играли видную роль в снабжении страны поваренной солью, но иногда рассолы имели горьковатый привкус, а соль—красноватую окраску (горький привкус придают соли магния, а магний входит в состав одного из распространеннейших калийных минералов—карналлита).

Указания на желательность разведки на калий и магний в этом районе делались неоднократно, но только прекращение связи с Германией во время войны 1914—1918 гг. заставило обратить внимание на этот вопрос. В 1916 г. акад. Курнаков показал, что образец красной соли, добытой при бурении одной из скважин еще в 1907 г. и сохранившийся у одного из старых работников соляного дела, представляет собой не что иное, как сильвинит. В 1917 г. анализ рассолов, взятых с разных глубин, показал возрастание примеси калия к поваренной соли с 0,17 до 0,49%. К этому присоединились соображения геологов о желательности глубокого бурения в целях поисков калийных солей, но дороговизна такого бурения и трудности периода гражданской войны, а затем последствия неурожая 1921 г. не позволили в те годы предпринять такую работу.

В 1924 г., в связи с вопросом о переходе от выварки рассолов к добыче поваренной соли горными работами, в Соликамский район был командирован проф. Преображенский, который в связи с этой задачей изучил все материалы по соляным месторождениям б. Пермского края и пришел к убеждению о несомненном присутствии калиеносных пластов в Соликамском районе. В начале сентября 1925 г. приступили к глубокому бурению, и 5 октября того же года разведочная скважина на глубине около 200 м вошла в толщу калийных солей.

Калиеносные пласты с прослойками каменной соли имеют общую толщину около 100 м; из них около 50% приходится на слои с таким содержанием калия, которое делает их пригодными для промышленной добычи. Подстилающая порода представлена мощным отложением поваренной соли.

Тогда было заложено еще несколько скважин в районе Соликамска, и оказалось, что та же картина повторилась на значительной площади (около 25 км²). Это уже обнаружило грандиозность размеров залежей и «спокойное залегание» пластов в отличие от Стасфурта, где пласты наклонны и быстро уходят на значительную глубину. По химическому составу отложений соликам-

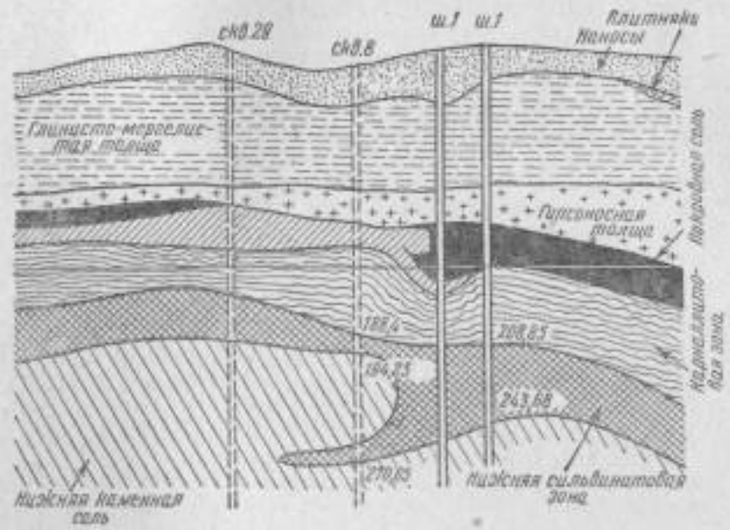


Рис. 44. Геологический профиль Соликамского месторождения калийных солей.

ские залежи характеризуются господством хлористых солей, тогда как в Стасфурте представлены и хлористые и сернокислые соли. Главными калийными минералами для Соликамска являются *карналлит* и *сильвинит*.

Карналлитовая зона образует верхнюю, наиболее мощную часть залежи. В чистом виде карналлит имеет состав, отвечающий формуле: $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, но в природных отложениях зерна карналлита перемешаны с зернами поваренной соли, а кроме того, соль образует прослойки; содержание K_2O в сырой соли колеблется чаще всего около 16—17%; благодаря примеси микроскопических чешуек железного блеска (Fe_2O_3) карналлитовые слои часто окрашены в красный или оранжево-красный цвет.

Для залегающей глубже *сильвинитовой зоны* характерно присутствие кристаллов KCl (сильвина), но опять-таки они тесно перемешаны с каменной солью, и эта смесь образует породу, называемую *сильвинитом*, в которой соотношение между KCl и $NaCl$ непостоянно ($mKCl + nNaCl$). Окраска слоев сильвинита меняется от темнокрасного (сургучного) до светлорозового цвета. Мощность пригодных для разработки слоев сильвинита составляет около 9—10 м, содержание K_2O—от 10 до 24%.

Кроме типичной последовательности, при которой сильвинит встречается на больших глубинах, чем карналлит (см. рис. 44), местами, кроме основной (нижней), сильвинитовой зоны, встречаются еще в верхней части залежи слои вторичного сильвинита, образовавшегося за счет действия воды на карналлит (удаление $MgCl_2$ и кристаллизация KCl).

Вслед за выяснением вертикального расположения калиеносных пластов возник вопрос, каково же протяжение залежей в горизонтальном направлении. После нескольких бурений у Соликамска буровые работы были перенесены на 35 км к югу, в район Березников, и тут повторилась та же картина залегания калийных солей, что и в Соликамске. Тот же результат получился при бурении к северу от Соликамска больше чем на 35 км и к востоку примерно на 20 км; западная граница месторождения менее обследована. Вся обследованная площадь превышает 1 500 км², и общие запасы K_2O в соликамском месторождении в границах, до сих пор имеющихся, измеряются гигантской величиной—*в 16 млрд. тонн* K_2O, что превосходит не только запасы Стассфурта, но почти *в шесть раз больше вместе взятых запасов* Германии, Франции (Эльзас), Испании и других известных до открытия соликамских залежей месторождений калия на земном шаре. *В настоящее время на долю СССР приходится около 85% мирового запаса калия.*

После открытия и изучения условий залегания карналлита и сильвинита предстояло решить нелегкую задачу—овладеть калийными солями и построить рудник.

Здесь имелись свои трудности, так как над калийными солями залегают водоносные породы (мергели, плывуны и пр.) и нужно (в отличие от угольных копей) пройти шахту, не допуская подхода воды к соленосным пластам[1]. Все эти трудности были преодолены; первый сильвинитовый рудник в Соликамске был готов к началу второго пятилетия и дает теперь около 1,5 млн. т сырых солей ежегодно.

Кроме создания и оборудования рудника со всеми приспособлениями для добычи и транспорта, построены мельница для измельчения солей и обогатительная фабрика, которая готовит из сырых солей 40% соль, как более пригодное для дальнейшего транспорта калийное удобрение, и хлористый калий, необходимый для химической промышленности и для приготовления сложных удобрений (о сложных удобрениях см. ниже, стр. 373).

Кроме соликамских солей, значительные запасы калия имеются *в западной части Украинской ССР*—на северном склоне Карпатских гор, южнее Львова. Калийные соли и здесь залегают, перемежаясь с каменной солью, на глубине порядка 300 м.

Промышленные запасы калийных солей ориентировочно[2] определяются в 100 млн. т с содержанием 18—20% K_2O в среднем.

Наиболее значительные месторождения находятся вблизи Калуша и Стебника. В Калуше они представлены вверху сильвинитом (12 м), затем каинитом и карналлитом (6—18 м) и вновь сильвинитом (4 м). В Стебнике калийные соли представлены в основном сернокислыми соединениями (каинит, лангбейнит

[1] Трудности в борьбе с водой при проходке шахт через водоносные горизонты преодолевались в Соликамске несколькими путями.

Первая шахта проходилась по способу *цементации*, при котором бурятся отходящие вкось от ствола шахты скважины и в них вгоняется под давлением полужидкая цементная масса, оттесняющая воду, а затем окаменевающая; вслед за этим пройденный участок шахты одевают чугунной крепью (массивными полукольцами, тюбингами) с водонепроницаемой прокладкой из свинца. Если немедленно не закреплять каждого шага цементацией и тюбингами, то в водоносных слоях могут получаться опасные (для шахты и людей) обвалы.

Вторая шахта строилась по способу *замораживания* грунта вокруг будущего ствола шахты с помощью циркуляции жидкостей, охлажденных до —20 или —40° Ц (последнее требуется, если нужно замораживать соленосные воды); этот способ разработан в Германии.

Третий способ, предложенный одним из наших инженеров, состоял в замене цементации *глинованием*, т. е. нагнетанием в скважины (тоже под давлением) полужидкой глинистой массы с последующим свертыванием глины раствором хлористого кальция и закреплением портландским цементом в целях образования пробки в путях проникновения воды в шахту. Комбинация этого способа с дополнительной цементацией позволяет сэкономить часть цемента, необходимого для прохождения каждого метра шахты через водоносные горизонты.

[2] Пласты здесь залегают наклонно и уходят на большую глубину, поэтому точный учет запасов затруднен.

$K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) на глубине до 150 м. На базе этих месторождений в 1937—1938 гг. вырабатывалось калийных удобрений около 100 тыс. т (в пересчете на K_2O).

На территории СССР известны еще два района распространения калийных месторождений: *Урало-Эмбенский* и *Средне-Азиатский* (Туркменская ССР). В этих районах продолжаются поисковые работы. В Озинках (недалеко от Саратова) было обнаружено наличие сернокислых калийных солей, но размер залежи и возможности организации добычи калия здесь еще полностью не выявлены.

В Туркменской ССР работами НИУИФ было выявлено несколько залежей калийной соли, расположенных главным образом вдоль долины Кугитанг-Дарьи и близ Гаурдакского серного месторождения. Наиболее значительным среди них является Окуз-Булакское месторождение. Калийная соль представлена здесь сильвинитом; общие запасы выявлены пока в размерах около 750 тыс. т сырых солей.

Что касается *процесса образования таких залежей, как соликамские и стассфуртские*, то при всей очевидности их морского происхождения недостаточно было бы думать, что вследствие разобщения с океаном образовалось внутреннее море, которое затем высохло и оставило отложения тех солей, которые были в растворе, так как если бы самая глубокая часть океана была так изолирована и подвергалась усыханию, то толща солей, которая могла бы при этом выделиться, далеко не могла бы итти в сравнение с солевыми массами, отложенными в Стассфурте и Соликамске. Необходимо допустить, что в этих бассейнах испарились все новые и новые массы соленой воды, притекавшие из океана, но не имевшие оттока в океан. Моделью такого механизма (хотя и в упрощенной форме) может служить то, что происходит теперь в заливе Кара-Богаз-Гол, который соединен с Каспийским морем мелководным проливом. В этом проливе существует одностороннее течение, причем из Каспия в Кара-Богаз-Гол вливаются большие массы воды (18 кубических километров в год), потому что сильное испарение (под влиянием сухих и горячих ветров из пустынь Средней Азии) вызывает постоянное снижение уровня воды в заливе; сгущенный раствор солей опускается вглубь, а сверху притекает снова менее соленая (а следовательно, более легкая) вода Каспийского моря, чтобы подвергнуться той же участи. Более тяжелый раствор на дне залива не уходит в Каспийское море, так как сообщение с последним имеется только для поверхностной воды. Поэтому в Кара-Богаз-Голе вода так насыщена солью, что рыба, загнанная туда бурей, погибает; на дне происходит кристаллизация солей, главным образом $CaSO_4$, NaCl и Na_2SO_4. Но если пролив будет занесен песком и приток из Каспия прекратится, то при высыхании сверху взвешенных солей отложатся соли калия и магния, тогда получится миниатюрное подобие Стассфурта и Соликамска.

Действительность сложнее набросанной схемы, так как замешиваются еще влияния температуры (от которой зависит состав кристаллизующейся смеси солей) и ряд вторичных процессов в геологические эпохи, следующие за периодом отложения солей[1]; сообщение с океаном в таких полуизолированных бассейнах может то прекращаться, то вновь восстанавливаться; если отложения солей будут покрыты сверху глинистой прослойкой, то при следующем наступлении моря они могут оказаться защищенными от размывающего действия морской воды и на них могут отлагаться осадочные породы самого разнообразного характера; от подобных обстоятельств зависит также и защищенность от действия атмосферных осадков в периоды отступления моря, хотя в этих случаях иногда сохранение солевых отложений зависит от сухости климата, как в пустынях Средней Азии и Южной Америки (Чили).

Другой *моделью будущего Стассфурта* является Мертвое море, в которое р. Иордан приносит соли, вымываемые осадками из окружающих долину реки солончаковых почв. Так как Мертвое море не имеет оттока и вся вода, приносимая рекой, уходит на покрытие потери от испарения, то и получился рассол большой плотности (известно, что в Мертвом море нельзя утонуть, как и у нас в ряде Сакского озера в Крыму), и на дне происходит кристаллизация ряда солей (Na и Ca), но калийные соли пока еще находятся в растворе. Если бы можно было отвести реку, то соли (калия и магния) отложились бы, как обычно, поверх хлористого натрия. Добыча калийных солей из воды Мертвого моря производилась английской компанией.

Мировое производство калийных солей достигло в 1937 г. 3,16 млн. т K_2O. По странам производство калия распределялось следующим образом (в тысячах тонн K_2O):

Германия	1 968,0	СССР	220,0
Франция	503,0	Польша	100,0
США	258,1		

[1] Так как в морской воде представлены как хлористые, так и сернокислые соли, то возникает вопрос о том, *что случилось с сульфатами при образовании соликамских отложений?* Возможно, что сульфаты еще будут найдены (если они не исчезли при каких-либо вторичных процессах, имевших место уже после выделения солей из морской воды).

ПЕРЕРАБОТКА КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Главным недостатком сырых калийных солей (как соликамские сильвинит и карналлит), с точки зрения применения их как непосредственного удобрения, является невысокое сравнительно содержание калия и наличие большого количества хлористых солей; последние при высоких дозах оказывают неблагоприятное действие на некоторые культуры. Карналлит, кроме того, обладает сильной гигроскопичностью и в качестве непосредственного удобрения не применяется. Физические свойства сильвинита лучше, чем у карналлита, и в ограниченных размерах сильвинит можно применить как удобрение после простого дробления и размола. То же относится и к так называемому каинниту, который добывается в западно-украинских месторождениях[1].

Переработка сильвинита имеет целью получение более высокопроцентных удобрений. Путем переработки сильвинита получают: 1) хлористый калий (50—60% K_2O); 2) 30% и 40% калийную соль (30—40% K_2O).

Для отделения хлористого калия от NaCl используется различная зависимость растворимости этих двух солей от температуры. Именно растворимость NaCl мало изменяется с температурой, тогда как растворимость KCl возрастает при повышении температуры и убывает при охлаждении.

Схема производства хлористого калия в основном состоит в следующем.

Сильвинит растворяют горячей водой и получают насыщенный раствор KCl+NaCl, затем этот раствор охлаждают. При этом KCl, растворимость которого понижается под влиянием охлаждения, выпадает из раствора, а NaCl, наоборот, остается в растворе, так как его растворимость с температурой почти не меняется. Полученный *маточный раствор, насыщенный на холоду* NaCl+ +KCl, *нагревают* до температуры, близкой к кипению, и *обрабатывают этим раствором сильвинит*. Нагревание почти не изменяет растворимость NaCl, поэтому *раствор остается насыщенным хлористым натрием и содержащийся в сильвините* NaCl *растворению больше уже не подвергается*. Хлористый же калий, наоборот, растворяется, так как при повышении температуры его растворимость сильно возрастает.

Полученный раствор отделяется от *оставшегося нерастворенным хлористого натрия* и подвергается затем охлаждению. При охлаждении происходит опять кристаллизация хлористого калия, который отделяется от маточного раствора центрифугированием, а маточный раствор идет снова на экстракцию хлористого калия из сильвинита и т. д.

Полученный таким путем продукт содержит около 85% KCl. Для получения более чистого продукта производят дополнительную обработку небольшим количеством воды (для растворения примеси NaCl); после такой вторичной очистки и сушки удается получить соль, содержащую до 98% KCl (что отвечает примерно 60% по расчету на K_2O).

30% и 40% калийные соли представляют собой смеси хлористого калия, полученного описанным путем, с размолотым сильвинитом (или с другой сырой калийной солью). В Германии одно время на рынок выпускалась калийная соль с содержанием 20% по расчету на K_2O.

Производство 30% или 40% калийных солей имеет целью, с одной стороны, увеличение общего количества калия в удобрениях более концентрированных, чем сильвинит, а с другой стороны, получение удобрения достаточно транспортабельного, но с меньшими затратами на производство каждой тонны K_2O, чем это имеет место в случае хлористого калия.

Кроме хлористых солей, представляет существенный интерес вопрос о производстве в СССР в качестве удобрения *сернокислого калия*.

Наряду с изысканием новых залежей, содержащих не только хлориды, но и сульфаты, разрабатываются способы производства K_2SO_4 из хлористого калия (кроме разложения серной кислотой, здесь возможны и другие варианты,

[1] Состав сырой соли, называемой в этом случае каинитом, не отвечает формуле минерала каинита ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$); в нем содержится в действительности большее количество хлористых солей.

как, например, разложение KCl при высокой температуре сернистым газом в присутствии кислорода воздуха, водяных паров и катализатора; этот вариант разрабатывается НИУИФ).

В Германии K_2SO_4 получают обменным разложением хлористого калия с сернокислым магнием.

ПРИМЕНЕНИЕ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ И ИХ ДЕЙСТВИЕ НА РАЗНЫЕ РАСТЕНИЯ

При внесении калийных удобрений следует иметь в виду как особенности различных с.-х. культур, так и почвенные условия. Помимо того, что среди почв одной и той же зоны (как, например, подзолистая зона) имеет место значительная пестрота в части содержания как общего, так и усвояемого для растений калия, надо еще учитывать и особенности взаимодействия калийных солей с почвами. Дело в том, что как раз на почвах, от природы бедных калием и наиболее нуждающихся в калийном удобрении, т. е. на подзолах, на песчаных и торфяных почвах, могут встречаться случаи неблагоприятного побочного действия калийных солей (особенно низкопроцентных, как сильвинит), обусловленного характером взаимодействия между удобрением и почвой.

Калийные соли хорошо растворимы в воде, так же как и содержащиеся в них примеси (NaCl, $MgCl_2$). Поэтому после внесения в почву происходит быстрое растворение внесенных солей в почвенной влаге, а вместе с тем и взаимодействие с поглощающим комплексом почвы. При этом значительная часть калия вступает в поглощенное состояние, а в почвенный раствор вытесняются другие катионы:

$$\begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\text{Ca} + 2\text{KCl} = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}\text{K}\\ \text{K}\end{matrix} + \text{CaCl}_2;$$

$$\begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\text{Ca} + 2\text{NaCl} = \begin{pmatrix}\text{поглощающий}\\ \text{комплекс}\end{pmatrix}\begin{matrix}\text{Na}\\ \text{Na}\end{matrix} + \text{CaCl}_2.$$

На почвах, насыщенных основаниями, это взаимодействие изменения реакции почвенного раствора не вызывает. Существенным здесь является то обстоятельство, что в результате поглощения большей части внесенного калия его способность к передвижению в почве сильно понижается. В основном калий поглощается в том слое почвы, куда было внесено удобрение. Лишь на почвах малой емкости поглощения и хорошо водопроницаемых (как песчаные почвы) происходит более заметное передвижение калия с почвенной влагой.

Важно и то, что ионы хлора, наоборот, в почвах, как правило, не поглощаются и сохраняют свою подвижность, передвигаясь (вместе с вытесненными ионами кальция) в направлении движения почвенной влаги. Так как *большие количества хлора* (при внесении низкопроцентных солей, как сильвинит) в некоторых случаях действуют неблагоприятно на урожай или на качество урожая, то, исходя из сказанного, рекомендуют вносить калийные соли не перед самым посевом, а *заблаговременно*, например, с осени (под яровые). Если почва обладает достаточной поглотительной способностью, то калий, как хорошо поглощаемый катион, задерживается почвой, а хлор, вступая в соединение с теми катионами, которые вытеснены калием, будет вымываться дождями в подпочву и уходить из сферы действия корней.

На почвах, не насыщенных основаниями, внесение калийных солей в большом количестве, особенно солей низкопроцентных, способно вызвать некоторое *изменение реакции почвенного раствора* и содержания в нем алюминия:

$$(\text{почва})\,\text{H} + \text{KCl} = (\text{почва})\,\text{K} + \text{HCl};\quad (\text{почва})\,\text{H} + \text{NaCl} = (\text{почва})\,\text{Na} + \text{HCl};$$

$$\begin{pmatrix}\text{почва}\end{pmatrix}\text{Al} + \text{KCl} + 2\text{NaCl} = \begin{pmatrix}\text{почва}\end{pmatrix}\begin{matrix}\text{Na}\\ \text{Na}\\ \text{K}\end{matrix} + \text{AlCl}_3.$$

Так как повышение кислотности сверх известного предела может вредить растениям (притом клеверу и льну больше, чем овсу), то в прежних опытах нередко наблюдалось, что на подзолистых почвах эффект от парной комбинации удобрений (NP) был выше, чем от полного удобрения (NPK). Поэтому на *сильнокислых почвах* применению калийных солей, особенно низкопроцентных, должно предшествовать *известкование*, а в случаях не очень острых следует сопровождать внесение калийных солей одновременным внесением достаточной дозы фосфоритной муки; тогда можно ожидать, что повышенная кислотность почвенного раствора будет смягчена кальцием фосфорита, а одновременно произойдет переход P_2O_5 фосфорита в усвояемую форму (при хорошем предварительном смешении обоих видов удобрения между собой можно ожидать лучшего эффекта, чем при внесении их порознь).

При повторном (из года в год) внесении низкопроцентных калийных солей происходит *постепенное вытеснение поглощенного кальция* калием и натрием, причем образующийся при обменном разложении $CaCl_2$ вымывается из почвы дождями; с годами от замещения (в поглощающем комплексе) кальция натрием может наступить *ухудшение физических свойств почвы*; известкование и в этом случае является средством предотвращения такого явления, но не следует пренебрегать и другими средствами введения в почву кальция, как, например, применение $Ca(NO_3)_2$ и $CaCN_2$ вместо аммиачных солей, предпочтение простого суперфосфата, содержащего примесь $CaSO_4$*, двойному суперфосфату и аммофосу, применение фосфоритной и костяной муки при почвах ненасыщенных и т. п.

Что касается *физиологической кислотности* калийных солей (KCl, K_2SO_4), на которую раньше больше всего ссылались как на причину, обусловливающую связь успешного применения калийных солей с обеспеченностью почвы должным содержанием кальция, то теперь можно сказать с уверенностью, что вышеназванные обстоятельства (вытеснение иона водорода и вымывание из почвы кальция в соединении с хлором) играют гораздо большую роль, чем физиологическая кислотность калийных солей[1].

Для эффективного действия калийных удобрений важным условием является *обеспеченность другими питательными веществами и, в частности, азотом*. В этом отношении надо *учитывать временные особенности*, при которых большие количества калия поступают на наши поля,—мы разумеем факт некоторого опережения калийной промышленностью строительства азотной промышленности; поэтому приходилось искать для внесения калия таких угодий и таких культур, которые обеспечены азотом независимо от азотной промышленности.

Сказанное усиливается еще и тем обстоятельством, что, пока азотная продукция была мала, она должна была направляться преимущественно не туда,

* Введение кальция, хотя бы и в виде таких солей, как $CaSO_4$ и $Ca(NO_3)_2$, помимо влияния на свойства почвы, полезно и с точки зрения физиологической, так как оно способствует уравновешению двухвалентным ионом кальция ряда одновалентных ионов, внесенных с удобрениями или переходящих в раствор (под влиянием удобрений) из поглощающего комплекса, как ионы калия, натрия, аммония и водорода.

[1] Физиологическая кислотность калийных солей (K_2SO_4, KCl) выражена резко (притом у KCl она наблюдается не для всех растений), так что в общей питательной смеси, содержащей $Ca(NO_3)_2$, она с избытком покрывается физиологической щелочностью этой соли; но если прибегнуть к методу изолированного питания (разделение солей в пространстве) или фракционированным растворам (разделение во времени), то для K_2SO_4, как правило, ясно обнаруживается физиологическая кислотность; у KCl она может быть констатирована для одних растений (как свекла, горох, кукуруза) и может отсутствовать или быть слабо выраженной для других (овес, ячмень).

Если в условиях водных и песчаных культур нужны особые приемы для обнаружения физиологической кислотности солей калия, то в нормальной почве, богатой поглощенными основаниями, эта кислотность тем более легко нейтрализуется в почве. Только на почвах сильнокислых, где главную опасность представляет обменная кислотность, физиологическая реакция калийных солей может явиться некоторым фактором, не ослабляющим эту кислотность (как это делают нитраты), но в какой-то мере усиливающим ее.

куда идет в первую очередь калий. Так, калием бедны прежде всего подзолистые почвы, а азот должен был итти преимущественно в Среднюю Азию (под хлопчатник).

В этих условиях обогащенные азотом поля, выходящие из-под клевера, являлись наиболее благоприятным фоном для применения калия, тем более что клевер оставляет почву более обедненной усвояемым калием, чем хлеба. Однако теперь уже, помимо хлопчатника, получают ежегодно возрастающие количества азота—свекла, конопля, лен и другие технические культуры. Кроме того, массовыми опытами ВИУАА, поставленными на полях колхозов, была обнаружена повышенная отзывчивость на калий почв, мало заправленных навозом или совсем не удобрявшихся навозом. Она оказалась значительно большей, чем этого можно было ожидать по предыдущим данным наших опытных учреждений и по данным западно-европейской практики, полученным в условиях почв, хорошо заправленных навозом. В итоге был выявлен такой размер потребности в калии ряда культур, что при наших обширных посевных площадях получается значительный перевес этой потребности над возможными цена размерами снабжения. Например, по весьма умеренным подсчетам ВИУАА (удобрение 10% от всей посевной площади) потребность на 1936 г. составляла 670 тыс. т K_2O, или 1675 тыс. т в переводе на 40% соль, причем эта потребность распределялась следующим образом (в тысячах тонн):

Лен	167,7	Кормовые культуры (без лугов и пастбищ)	298,4
Картофель	665,7	Овощные культуры	48,0
Сахарная свекла	165,0	Табак (и махорка)	9,0
Зерновые хлеба	254,1		
Конопля	77,9		

Всего же было отпущено в 1936 г. 388 тыс. т 41,6% соли, или 162 тыс. т K_2O. В подсчет потребности совсем не вошли луга и пастбища, площадь которых громадна.

Лен при должной обеспеченности азотом хорошо реагирует на калийное удобрение, при этом повышается не только урожай, но нередко отмечается положительное влияние калия на длину стеблей и выход волокна; при этом лен не является растением, чувствительным к форме калийного удобрения, есть даже указания, что сырые соли несколько превосходят по действию 40-процентную соль и хлористый калий.

Обратные случаи встречаются на почвах с большой ненасыщенностью основаниями, на которых переведение скрытой кислотности в активную может вредить льну сильнее при употреблении низкопроцентных солей, чем концентратов.

В опытах ВИУАА для отдельных почвенных разностей подзолистой полосы получились такие средние приросты льняной соломы (при дозах 40—45 кг K_2O на 1 га по клеверищу—сводка Афанасьева):

Почвы	Прибавки (в центнерах с 1 га)				
	K	P	PK	K на фоне P	NPK[1]
Тяжелые суглинки	1,7	1,9	2,6	0,7	5,0
Средние »	2,2	2,3	3,3	1,0	6,7
Легкие »	2,1	1,4	3,2	1,8	7,4
Супесчаные почвы	1,5	1,0	2,0	1,0	4,1

Может казаться своеобразным, что прирост урожая от калия и фосфора, примененных вместе, меньше, чем сумма приростов от тех же удобрений, внесенных порознь (или K на фоне P дает меньший прирост, чем K один; то же относится и к фосфору). Объяснение этого явления нужно искать в следующем. Как известно, суперфосфат содержит и $Ca(H_2PO_4)_2$ и $CaSO_4$;

[1] Размер действия калия в этой комбинации не может быть учтен, так как делянки NP, к сожалению, отсутствовали.

при этом кальций этих солей вытесняет калий из поглощающего комплекса, поэтому, также суперфосфат, мы одновременно с обогащением почвенного раствора фосфором обогащаем его в какой-то мере и степени и растворимыми соединениями калия. В свою очередь калийные соли (особенно сильвинит), вытесняя ионы водорода из поглощающего комплекса, могут при известных условиях, снижая pH почвы, способствовать разложению части почвенных фосфатов; таким образом, фосфаты могут частично мобилизовать почвенный калий, а калийные соли — почвенный фосфор; при совместном их внесении это косвенное действие каждого из удобрений, взятых в отдельности, аннулируется прямым эффектом второго компонента первой комбинации.

В этих средних цифрах (из 261 опыта) соединены вместе данные опытов, проводившихся в весьма разнообразных условиях, на деле же размер прибавок сильно колеблется в зависимости от истории того или иного поля и от состояния агротехники к моменту постановки опыта. Вот пример из опытов ВИУАА в 6. Западной области (урожаи и прибавки льняной соломы в центнерах с гектара):

	Без удобрения	Прирост от сильвинита
Низкая агротехника	12	2,3
Более высокая агротехника	18	4,3

Кроме увеличения урожая соломы, повышается еще и качество волокна (на 1,5—2 номера).

В опытах географической сети НИУИФ за 1931—1937 гг. по сравнению разных форм калийных удобрений под лен на подзолистых почвах были получены такие данные:

	Удобрение				
	Без калия	40% калийная соль	Хлористый калий	Сильвинит	K_2SO_4
Урожай льноволокна (в центнерах с 1 га)	5,2	6,4	6,6	5,9	6,8
Прибавка льноволокна (в центнерах на 1 га)	—	+1,2	+1,4	+0,7	+1,6

Конопля при одновременном внесении азота и фосфора наиболее сильно реагирует на калий на оподзоленных почвах, как видно из следующих средних цифр (географическая сеть НИУ):

Прибавка урожая соломы от К на фоне NP (в центнерах на 1 га)

Подзолистые почвы	11,4	Деградированный чернозем	6,3
Серые лесные земли	3,6	Черноземы	3,4

Высокие прибавки урожая от калия конопля дает при культуре на торфяных почвах; вот один из примеров (Рудня-Радовельская станция УССР):

	Без удобрения	NP	NPK	Прибавка от калия
Урожай соломы (в центнерах с 1 га)	9,0	14,2	36,2	+22,0
Урожай семян (в центнерах с 1 га)	1,8	2,0	10,4	+ 8,4

Резких различий в действии на коноплю разных форм калийных удобрений не обнаружено. В ряде опытов от сырых солей (каинит, сильвинит) получались даже более высокие прибавки, чем от хлористого или сернокислого калия.

Картофель является типичным «калийным» растением, обычно хорошо реагирующим на калийное удобрение; при этом на песчаных почвах калий для картофеля может оказываться даже в первом минимуме; в то же время *картофель*

чрезвычайно чувствителен к форме вносимых калийных удобрений—он обнаруживает снижение крахмалистости от хлористых солей, поэтому применение *низкопроцентных* солей (как карналлита, каинита и сильвинита), содержащих большую примесь NaCl, является невыгодным для картофеля, если дорожить не сырым весом урожая, а урожаем сухого вещества, в особенности крахмала. Так, по данным германских опытов (Реми), действие разных калийных солей на крахмалистость было таково (снижение или повышение процента содержания крахмала):

Каинит	—2,2%	K_2SO_4	+0,2%
40% калийная соль	—1,3%	Сернокислый калий и натрий	+0,3%

При этом 1 кг калия оплачивался в приросте урожая так:

	Каинит	40% соль	K_2SO_4	$K_2SO_4+MgSO_4$
Картофеля (в килограммах)	23	35	35	36
Крахмала » »	1,0	3,9	5,6	6,0

В наших условиях сказанное относительно каинита приложимо к сильвиниту.

Так, в опытах Солинамской станции (1936—1939 гг.) наблюдались такие различия в содержании крахмала (на фоне NP):

	Процент крахмала	Прибавка (+) или снижение (—)
Без калия	18,6	
KCl	18,0	— 0,6
K_2SO_4	20,0	+ 1,4
40% соль (KCl и сильвинит)	17,0	— 1,6
Сильвинит	16,4	— 2,2
60% соль (KCl и карналлит)	17,6	— 1,0
Карналлит	16,0	— 2,6
KNO_3	20,0	+ 1,4
NaCl	17,2	— 1,4

Таким образом, снижение крахмалистости под влиянием избытка хлористых солей проявляется, как правило, в самых разнообразных условиях.

Что же касается влияния на массу урожая, то не всегда концентрированные соли действительнее низкопроцентных; на бедных основаниями почвах встречается и обратное.

Так, в среднем из опытов НИУ имеем такие приросты урожая картофеля (на фоне NP) (в центнерах на гектар):

Почвы	KCl	K_2SO_4	40% соль	Сильвинит
Подзолы	17,5	16,6	19,3	20,1
Черноземы	14,3	13,8	14,5	10,7
Болотные почвы	68,5	53,7	—	31,6

Можно думать, что на не очень кислых подзолах примеси, содержащиеся в низкопроцентных солях (Na, Mg), могут быть полезны как противовес одностороннему преобладанию калия в растворе; в случае же значительной ненасыщенности они вредят вытеснением поглощенного водорода, а на юге, в засушливом климате, они вредят, повышая концентрацию почвенного раствора.

Но так как снижение крахмалистости является общим явлением, то непосредственно под картофель низкопроцентные соли лучше вовсе не применять.

или применять заблаговременно, например, с осени, тогда избыток хлористых солей вымывается, а калий хорошо поглощается почвой (кроме бедных песков). Кроме того, низкопроцентные соли (сильвинит) можно вносить в пару под озимь, предшествующую картофелю; тогда калием будет обогащаться навоз (через солому озимых), часть же калия поглотится почвой, а хлористые соли будут вымыты дождями за тот почти двухгодичный срок, который пройдет между внесением калийных солей и посадкой картофеля. В конце концов внесение калийной соли в любом клину севооборота, удаленном от картофеля (например, клевером), и даже на лугах будет повышать калийное питание всех культур через навоз благодаря возрастанию его количества и содержанию калия в нем. По этому поводу в Германии говорят, что «лучшая форма калийного удобрения для картофеля—это навоз» (но такой же формой является в нечерноземной полосе зола, а на севере—нефелин, о которых будет сказано ниже). 40-процентную соль тоже рекомендуют вносить не при посадке картофеля, а недели за четыре или с осени (кроме песчаных почв во влажном климате, где возможны потери калия от вымывания).

Не следует думать, что все сказанное относится только к заводскому картофелю; для кормового картофеля также важен не валовой урожай, а и крахмальные эквиваленты; для столового картофеля способность разваариваться и вкус также связаны с содержанием крахмала. Избыток хлора понижает развариваемость картофеля; при сравнительной оценке в Англии высший балл (по развариваемости, цвету и запаху в вареном виде) получил картофель, удобренный K_2SO_4; за ним очень близко шел KCl (но некоторые клубни после охлаждения обнаруживали потемнение), хуже всего был картофель по каиниту; 40% соль занимала среднее положение между KCl и каинитом.

Сахарная свекла является таким же «калийным растением», как картофель; она, однако, обладает большей усвояющей способностью по отношению к калию почвы, чем картофель; кроме того, сахарная свекла обычно не попадает на такие бедные почвы, как картофель, и удобряется навозом более регулярно; поэтому действие калийных солей на сахарную свеклу при невысоком уровне урожаев было менее рельефным, чем на картофель. У нас сахарная свекла в основном является культурой черноземных почв, которые вообще не бедны калием (кроме районов с почвами переходного характера), поэтому раньше считали, что при правильном применении навоза нет четкой реакции на калий. Совершенно другое получается, если навоза нехватает, а урожаи поднимаются как за счет лучшей агротехники, так и применения азотистых и фосфорнокислых удобрений,—тогда может быстро возникать потребность в калии. В опытах Мироновской станции был случай, когда через 10 лет культуры без навоза, при внесении только селитры и суперфосфата при севообороте с 40% свеклы *черноземом обнаружила резкую реакцию на калий*, тогда как раньше, при навозе, заметного действия калия не проявлялось. Таким образом, чем больше будут входить в употребление азотистые и фосфорнокислые удобрения в целях поднятия урожаев, тем все более и более будет проявляться потребность и в калийных удобрениях на черноземах (особенно при недостатке навоза в свекловичных севооборотах).

Что касается *формы калийных удобрений*, то прежние опасения относительно понижающего влияния примесей в низкопроцентных солях на доброкачественность свеклы не во всем подтверждаются; в то же время констатирован ряд случаев *лучшего действия сильвинита по сравнению с сернокислым или хлористым калием* на величину урожая корней свеклы. Это объясняется положительным действием *хлористого натрия*, содержащегося в сырых солях. В одном из опытов Мироновской опытной станции были получены такие результаты:

Удобрения	Урожай корней (в центнерах с 1 га)	Процент сахара
NP	201	17,8
NP+40% калийная соль	226	19,0
NP+сильвинит	237	19,1

В опытах географической сети НИУИФ по сравнению форм калийных удобрений под сахарную свеклу на черноземах (за 1931—1937 гг.) прибавки урожая по сильвиниту были заметно выше, чем по другим калийным удобрениям (см. таблицу).

	Без K	K_2SO_4	KCl	40% соль	Сильвинит
Урожай корней (в центнерах с 1 га)	280,0	314,0	320,0	328,0	354,0
Прибавка (в центнерах на 1 га)	—	+ 34,0	+ 40,0	+ 48,0	+ 74,0

Резкое преимущество сильвинита по сравнению с другими калийными солями наблюдалось также в опытах *с кормовой свеклой*. Так, в одном из опытов на подзолистом суглинке Долгопрудного опытного поля, при чередовании: картофель—кормовая свекла, в среднем за 1934—1937 гг. были получены такие результаты[1]:

Культура	Без K	K_2SO_4	40% соль	Сильвинит
Картофель				
Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	265,2	331,3	307,6	278,9
Процент крахмала	20,4	20,9	19,7	17,8
Кормовая свекла				
Урожай корней (в центнерах с 1 га)	175,9	376,8	383,8	538,8
Прибавка (в центнерах на 1 га)	—	+200,9	+207,9	+362,9

Вот еще один из опытов с кормовой свеклой на низинном торфянике (торфяная опытная станция):

	Без K	K_2SO_4	40% соль	Сильвинит
Урожай корней (в центнерах с 1 га)	53,4	170,0	175,4	246,0
Прибавка (в центнерах на 1 га)	—	+116,6	+122,0	+192,6

Вообще *кормовые корнеплоды*, поскольку их культура распространена и в нечерноземной полосе, могут проявлять на почвах, не столь богатых калием, еще большую отзывчивость, чем сахарная свекла, культивируемая в черноземной полосе.

В опытах Горецкой опытной станции на среднеоподзоленном суглинке наблюдались такие прибавки урожая от калия (в центнерах на 1 га):

Культуры	Все удобрения	NP	Прибавка против NP					
			от сильвинита			от 40% соли		
			2 н	4 н	6 н	1,5 н	2,0 н	3,0 н
Турнепс	283	446	57	62	70	99	—	45
Брюква	213	273	47	146	72	136	111	20
Свекла	138	215	61,4	117,5	103,2	76	96,3	65

[1] В этом опыте весьма рельефно выявилось различное отношение к формам калийных удобрений таких культур, как картофель, с одной стороны, и свекла—с другой.

Здесь первые две дозы были большей частью продуктивными, третья была уже избыточной.

Насколько действие калия является сопряженным с одновременным внесением азота (при обеспечении фосфором), показывают следующие данные одного опыта с кормовой свеклой в Ротамстеде (см. также рис. 45):

При дозе азота (в килограммах на акр)		0	43	92
Урожай корней (в тоннах на акр)	без калия	4,0	6,5	9,1
	с калием	4,7	14,0	23,5

Табак потребляет много калия, но еще больше, чем в случае картофеля, противопоказуются здесь богатые хлором калийные соли; не только низкопроцентные соли, но и KCl считают нужным при культуре высших сортов заменять K_2SO_4 и K_2CO_3. В данном случае причины этого опасения хлористых соединений совсем другие, чем в случае картофеля; здесь играет роль влияние состава золы на полноту сгорания табака, именно: если зола богата хлоридами (NaCl, $MgCl_2$, KCl), то она легкоплавка и вследствие облегания золой непрогоревших частичек получается затрудненный доступ воздуха к ним, а отсюда—обилие тяжело пахнущих продуктов сухой перегонки (зола получается черная). Если же зола бедна хлоридами и калий в ней содержится в виде K_2CO_3, то наблюдается большая тугоплавкость золы и более полное сгорание, зола получается белая; один и тот же сорт табака, в зависимости от удобрения, может дать продукт весьма различного качества. Поэтому для лучших сортов табака более пригодны K_2SO_4 и K_2CO_3, чем KCl (и тем более такие соли, где содержатся другие хлориды, кроме KCl); зола является для табака таким же хорошим источником калия (помимо других ее составных частей), как и для картофеля. В Западной Европе удобрению табака калийными солями придается большое значение, но на примере табака еще раз можно убедиться, что по растению, без учета особенностей почвы, нельзя установить нормы удобрения, и, например, на Кубани вопреки всему западно-европейскому опыту потребность во внесении фосфорных удобрений под табак выявилась более резко, чем в удобрениях калийных.

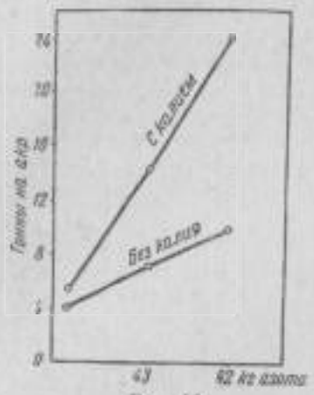


Рис. 45.

Подсолнечник уносит много калия, но пока он возделывался в районе богатых черноземов, где удобрения вообще раньше мало применялись (например, Кубань), то достаточных материалов по вопросу о действии калийных солей на подсолнечник не было. Однако имеются ясные указания, что при бессменной культуре подсолнечника в районе Воронежа содержание калия в золе падает вместе с падением урожаев. При культуре подсолнечника на силос в подзолистой зоне действие калия проявляется достаточно рельефно, в особенности на почвах торфяных. Вот некоторые данные из последней сводки (прибавки урожая зеленой массы подсолнечника в центнерах на гектар)[1]:

	I	II	III
На суглинках	22,5	34,0	18,2
На торфяных почвах	96,3	129,8	130,9

Зерновые хлеба. Опыт Германии показывает, что рожь и овес чаще реагируют на калийные соли, чем пшеница, но это объясняется только тем, что пшеница возделывается на лучших почвах и получает больше навоза, а рожь и овес часто возделываются на бедных почвах, производящих мало кормов и потому страдающих от хронического безнавозья. Хлебные злаки нечувствительны к внесению хлористых солей, поэтому низкопроцентные соли могут здесь найти применение. Таким образом, удобрение калийными солями ржи, предшествующей картофелю, может иметь значение как способ использования дешевых (низкопроцентных) калийных солей не только для поднятия урожаев самой ржи, но и для обогащения калием почвы (и навоза) в целях поднятия урожаев картофеля без риска понижения крахмалистости от непосредственного влияния хлористых солей.

[1] З. О. Сиденко. Удобрение кормовых культур. 1940. [Опыты в западной (I), центральной (II) и восточной (III) частях подзолистой зоны].

При культуре ячменя калийное удобрение считается особенно желательным, если ячмень культивируется для пивоварения.

В наших условиях, пока у нас относительно мало азотистых удобрений, наиболее целесообразно будет вносить калий под хлеба так, чтобы от этого выиграл и подсеваемый под них *клевер*[1], а от обогащения почвы азотом и калием выиграли все последующие культуры в севообороте.

В массовых опытах ВИУАА калий (без NP) давал приросты в 1,3—2,2 ц зерна яровой пшеницы (подзолистая зона) и 1,9—2,2 ц озимой пшеницы.

В Германии, несмотря на то, что почвы заправлены калием гораздо сильнее, чем наши, прибавка от внесения калия выше; например, для ячменя она составляет от 2,5 до 4,5 ц зерна и от 2 до 4 ц соломы с 1 га. По мере того как у нас хлеба будут получать больше азотистых удобрений, клевер станет играть большую роль и будет повышаться уровень агротехники, оплата калия хлебами должна подниматься выше.

Люпины обычно сильнее других бобовых реагируют на калий: при высокой усвояющей способности люпина по отношению к фосфору, при большой энергии усвоения свободного азота это растение, названное в Германии «благословением песчаных почв», в первую очередь реагирует на калий; исторически известное хозяйство Шульца в Люпице было тем первым очагом, откуда стала распространяться культура люпина на зеленое удобрение по калийно-фосфатному удобрению (безнавозное хозяйство на песках), и успех калийных удобрений в люпиновом хозяйстве был одним из важных этапов в развитии Стассфурта. У Шульца был, между прочим, участок с беспрерывной культурой люпина (на корм овцам), на котором через несколько лет проявилось люпиноутомление, т. е. урожаи стали падать; лекарство было найдено в каините—6 ц каинита на гектар восстановили пышный рост люпина на этой делянке, и культура могла продолжаться дальше. У нас культура люпина подлежит расширению, при этом имеются опыты Новозыбковской станции, специально изучающей культуру ресков, обнаружившие, что и в наших условиях при повторении культуры люпина он в первую очередь проявляет нужду в калийном удобрении. Кроме люпина, *горох* и *чечевица* при культуре на легких почвах также хорошо реагируют на калийное удобрение.

И для этой группы растений там, где позволяет транспорт, могут итти низкопроцентные соли (избыток хлора здесь не имеет значения сам по себе, а подкисление почвенного раствора за счет поглощенного водорода люпин переносит в большей мере, чем другие культуры).

Клевер уносит при хорошем урожае больше калия, чем хлебные злаки, поэтому он на почвах подзолистой полосы обычно хорошо реагирует на калий (а если он не получает калийного удобрения, то после него поле обнаруживает повышенную реакцию на калий). Характерные наблюдения по действию минеральных удобрений на клевер в подзолистой зоне принадлежат еще Энгельгардту, который писал (в 1892 г.) о почвах, раньше удобрявшихся только фосфоритной мукой, следующее: «Стоит только на чахлую, пожелтевшую отаву, отросшую после уборки клевера, бросить горсть каинита, чтобы через месяц на этом месте появились роскошные, сочные, темнозеленые кусты клевера» (а сказанное о каините относится и к сильвиниту). Так же как и на лугах, здесь

[1] Если же клевер не получил калийного удобрения, то после него хлеба часто нуждаются в калии, так как клевер, истощая почву калием, в то же время улучшает азотный фон и тем способствует успеху применения калийных удобрений.

возможно применение низкопроцентных солей, если только они вносятся с осени или ранней весной, до появления молодых листочков (исключение составляют почвы большой ненасыщенности, но и в этом случае может вредить клеверу не присутствие хлористых солей самих по себе, а мобилизация обменного водорода или алюминия). В ряде опытов (бывш. Пермская, Костромская, Нижегородская, Калужская губернии) от калийных удобрений получались приросты в 10—16 ц клеверного сена с 1 га, и при этом разница в действии между 30—40% калийной солью и 13% каинитом или сильвинитом не наблюдалась. В сравнительно недавних опытах Горьковской станции испытание разных доз сильвинита (на фоне фосфоритной муки) дало такие результаты:

Внесено сильвинита (в центнерах на 1 га)	1,5	3	6
Прибавка урожая клеверного сена (в центнерах на 1 га)	16	20	17
То же (в процентах)	55	68	60

Повышение урожая клевера означает большее накопление азота как в кормах (и навозе), так и в корневых остатках, что скажется на урожае следующих культур. Еще больше, чем клевер, реагирует на калий *серадела* как одно из немногих кормовых бобовых, способных расти на песчаных почвах.

Люцерна возделывается в основном на почвах, относительно более обеспеченных калием, чем почвы районов клеверосеяния. Однако в связи с большой потребностью в калии (урожай сена люцерны в 100 ц выносит около 150 кг K_2O) внесение калийных удобрений под люцерну необходимо и на почвах Средней Азии. Вообще надо заметить, что *при получении высоких урожаев в условиях орошения*, как это имеет место при чередовании *хлопчатника и люцерны* в районах орошаемого хлопководства (и при малом количестве навоза), прежнее представление о ненужности калийных удобрений на средне-азиатских почвах должно быть совершенно оставлено как несостоятельное. Ряд опытов, проведенных за последние годы, доказывает целесообразность применения калийных солей под хлопчатник.

Вот, например, средние данные за несколько лет (1931—1937 гг.) из опытов НИУИФ по сравнению форм калийных удобрений:

	Без K	K_2SO_4	KCl	40% соль
Урожай хлопка-сырца (в центнерах с 1 га) на сероземах после люцерны, при внесении высоких доз N и P_2O_5	32,2	37,0	36,2	36,0
Прибавка (в центнерах на 1 га)	—	+ 4,8	+ 4,0	+ 3,8

В опытах с дозами калия на сероземной почве Ташкентской области в 1939 г. были получены такие результаты[1]:

Дозы калия (в килограммах на 1 га) (на фоне NP)	0	50	75	100	125
Урожай хлопка-сырца (в центнерах с 1 га) по старопашню	32,3	37,1	36,6	35,4	—
То же, после люцерны	38,3	—	39,3	—	44,4

Потребность во внесении калийных удобрений под хлопчатник зависит от уровня урожайности (более определенно выявляется при высоких урожаях) и неодинакова на разных почвах. В опытах на засоленных почвах (Голодная степь) внесение калия при урожаях порядка 30—35 ц с 1 га не давало эффекта.

Луга представляют в большинстве случаев благоприятный фон для применения калийных солей по ряду причин, а именно: 1) так как вегетативные органы вообще богаче калием, чем фосфором, то вынос калия на лугах гораздо больше, чем вынос фосфора, например, урожай сена в 40 ц с 1 га берет около

[1] Жориков. «Химизация социалистического земледелия», № 6, 1940 г.

60 кг K_2O и лишь около 15 кг P_2O_5; 2) этот калий, поступая в навоз, обогащает почву полей, а не возвращается лугам, поэтому истощение калием должно раньше наступать на лугах, чем на полях; 3) форма соединения калия (хлориды или сульфаты), примесь хлористого натрия—все это не имеет особенного значения для качества сена; можно большей частью применять самые дешевые формы калийных солей, т. е. вблизи от залежей или вдоль водных артерий—низкопроцентные соли.

Больше всего заметно действие калия на заболоченных лугах после их осушки; при этом не только повышается урожай, но меняется и характер растительности: под влиянием калийных солей исчезают мхи, осоки (Carex, Juncus, Phragmites), получают преобладание ценные злаки (тимофеевка, ежа, лисохвост, овсяница, мятлики), выигрывают бобовые (клевер красный и белый, виды Vicia, Lathyrus, Lotus). В среднем получаются от внесения калийных солей такие прибавки:

Луга	Урожай без калия (в центнерах с 1 га)	Прибавка от калия	
		в центнерах на гектар	в процентах
Болотные	19,8	13,2	67
Низинные	17,6	6,3	36
Заливные	24,8	4,3	17
Суходольные	16,4	5,3	32

При совместном внесении калия с фосфором эффект от применения калия на лугах повышается. Так как площадь лугов в Союзе измеряется цифрой свыше 50 млн. га (не считая пастбищ), то при удобрении только 10% от общей площади луга способны были бы потребить всю годичную продукцию первого солигамского рудника. Нужно не упускать из виду, что, давая калий лугам, мы тем самым давали бы его постепенно и полям (в виде навоза); при этом поля получают калий уже освобожденным от большей части примесей (хлористых солей Na и др.), которые будут вымываться из почвы лугов как менее поглощаемые, чем калийные соли.

НЕФЕЛИН И ДРУГИЕ КАЛИЙНЫЕ СИЛИКАТЫ КАК КАЛИЙНОЕ УДОБРЕНИЕ

На основании отрицательных опытов с полевым шпатом прежде думали, что калий безводных силикатов вообще трудно усвояем для растений. Но наши опыты (начиная с 1901 г.) показали, что нельзя переносить заключение о полевом шпате вообще на все силикаты, что слюда в нескольких модификациях (мусковит, биотит) оказалась содержащей калий в гораздо более усвояемой форме, чем полевой шпат; нефелиновая порода с берегов Белого моря, доставленная нам проф. Федоровым в 1905 г., оказалась содержащей калий в весьма усвояемой форме (см. рис. 46); вот несколько данных из наших опытов 1906—1907 гг. (песчаные культуры, урожай в граммах на сосуд):

Растения		Без K_2O	Полевой шпат	Слюда	Нефелиновая порода	KCl
Гречиха	1906 г.	2,5	—	—	16,0	19,4
	1907 г.	1,7	3,2	6,5	15,9	17,3
Пшеница		2,6	3,7	4,7	20,9	—
Овес		2,5	—	—	13,1	16,1
Горчица		2,7	5,8	11,2	12,7	13,9

После того как в Кировске начала работать апатитовая обогатительная фабрика, она дает в качестве отхода от производства апатитового концентрата около 2 млн. т тонкоизмельченных нефелиновых хвостов. Отходы эти загрязняют воды реки Белой и образуют наносы ниже—по течению этой реки, проникая даже в Имандру и вызывая на большом протяжении помутнение прозрачных вод этого красивого озера[1].

Состав нефелиновых хвостов следующий (в процентах):

K_2O	Na_2O	CaO	P_2O_5	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
5—6	10—13	8—10	2—4	38—42	20—24	5—6,5

В небольшом количестве в нефелине содержатся, кроме того, титан, стронций, редкие земли. Состав нефелина можно выразить такой формулой: $(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_4$. Помимо того, что нефелиновые отходы содержат 5—6% окиси калия, опытами Хибинской станции (руководимой И. Г. Эйхфельдом) было установлено, что измельченный нефелин представляет еще и хороший материал для мелиорации кислых торфяных почв. Так как общая сумма оснований в нефелине раза в четыре больше, чем содержание одного калия, то он способен нейтрализовать органические кислоты торфяных почв благодаря своей легкой разлагаемости. Поэтому на моховых торфяниках, обладающих значительной кислотностью, действие нефелина, при внесении достаточного его количества, превышает действие калийных солей. Как известно, последние могут усиливать активную кислотность почвенного раствора (за счет обменной кислотности), нефелин же, наоборот, смягчает эту кислотность, и одновременно растения снабжаются калием в достаточно усвояемой форме. Благодаря совместному действию этих двух обстоятельств внесение нефелина дает хорошие результаты, особенно при внесении на сильнокислых торфяных почвах.

Рис. 46.

Вегетационные опыты, проведенные на Хибинской опытной станции, дали в 1930 г. такой результат (урожай сухой массы овса в граммах):

[1] Местами эти наносы заставляют прибрежных жителей рыть колодцы для получения чистой питьевой воды и вносят нежелательные изменения в рыбное хозяйство южной части озера Имандры.

	NP	NP+			
		калийная соль	нефелин (однократная доза)	нефелин (десятикратная доза)	полевой шпат
Луговой торф	8,9	98,1	64,6	135,7	8,1
Моховой „	0,3	0,9	45,2	96,2	0,3

Положительное действие нефелина было обнаружено и в полевых опытах, проведенных как в условиях торфяных почв Севера, так и на минеральных подзолистых почвах. В ряде случаев при удобрении картофеля, льна и овса получен значительный прирост урожая—в особенности на легких почвах, причем иногда действие нефелина превышало действие 40% калийной соли. Следует только иметь в виду, что для внесения одинаковой дозы калия нефелина надо внести примерно в 3 раза больше, чем сильвинита, или в 8 раз больше, чем 40% калийной соли.

Вот результаты одного из многочисленных опытов, проведенных в 1935 г. ВИУАА[1].

	Без удобрения	NP	NP+			
			40% калийная соль 1,5 п на 1 га	нефелинные хвосты		
				5 п на 1 га	10 п на 1 га	20 п на 1 га
Урожай картофеля на среднеподзолистой почве колхоза «Перемога», БССР (в центнерах с 1 га)	149	181	230	205	242	233
Прибавка урожая от калия (в центнерах на 1 га)	—	—	+ 49	+ 24	+ 31	+ 52

Может явиться вопрос, следует ли вообще интересоваться нефелином теперь, когда мы имеем мощные залежи соликамских калийных солей? Кроме высказанных выше соображений о значении «нефелинования» как средства борьбы с почвенной кислотностью, следует учесть, что размеры добычи калийных солей еще не покрывают всей потребности сельского хозяйства СССР в калийных удобрениях[2]; с применением не больших количеств азота и фосфора потребность в калии будет возрастать. Поэтому применение нефелина как удобрения на Севере и впредь должно найти себе место, конечно, в тех пределах расстояния от Хибин, за которыми будут становиться слишком большими издержки на транспорт нефелина как удобрения низкопроцентного.

Кроме Кольского полуострова, нефелиновые породы обнаружены в других местах, как Мариупольский район (УССР) и Ильменские горы (Южный Урал), в Средней Азии (верховья р. Зеравшана) и в Сибири (Боготольские горы, по р. Июсу в Минусинском районе, а также на Сахалине). Кроме того, в Сибири имеются залежи слюдяных сланцев. Такие породы для местностей, удаленных от Соликамска, представляют интерес как материал для удобрения (или коренного улучшения) бедных калием почв и как способ обогащать почву калием, не вводя в нее ионов ни Cl, ни SO_4.

ЗОЛА КАК КАЛИЙНО-ФОСФАТНО-ИЗВЕСТКОВОЕ УДОБРЕНИЕ

Обычно золу рассматривают как калийное удобрение, так как она содержит значительные количества калия в виде поташа (K_2CO_3); однако зола одновременно содержит и фосфорную кислоту (хотя в количествах меньших, чем калий), а также известь, причем содержание последней может значительно превышать содержание калия. Иногда золу применяют в количествах, рассчи-

[1] См. брошюру С. П. Молчанов, Нефелин как удобрение, Ленинград, 1936.

[2] Дело здесь не в размерах залежей, которые громадны, а в возможной производительности действующего калийного рудника.

таниных не столько по содержанию калия, сколько по содержанию фосфора или извести, поэтому рассмотрение вопроса о действии золы и нормах ее внесения не укладывается в рамки главы об удобрениях исключительно калийных.

Для состава *древесной золы* считаются средними следующие числа (в процентах):

	Калия (K_2O)	Фосфорной кислоты (P_2O_5)	Извести (CaO)
Зола лиственных пород	10,0	3,5	30,0
Зола хвойных пород	6,0	2,5	35,0

Кроме того, в золе содержатся Mg и другие основания в небольших количествах, а из кислот представлены, кроме фосфорной, прежде всего угольная, затем кремниевая (остальные в небольших и переменных количествах).

От средних данных возможны значительные отступления, зависящие частью от свойств почвы (на богатых почвах растения дают золу с большим содержанием калия), отчасти от возраста дерева; молодые деревья (или ветви старых) содержат больше золы, чем старые стволы, а, кроме того, зола их богаче деятельными элементами (сопутствующими белкам в распределении по органам), как K, Mg, P, чем зола устаревших органов, где относительно больше Ca и Si.

Еще *более богаты калием* виды золы, доставляемой стеблями многих растений полевой культуры, как *зола ржаной соломы*, которой топят печи в безлесных местностях, или *зола стеблей подсолнечника и гречихи*, служащая материалом для добывания поташа (таково поташное производство на Кубани, являющееся спутником культуры подсолнечника).

Зола ржаной соломы содержит около 20% K_2O при 5% P_2O_5, гречишная и подсолнечная золы еще больше богаты калием; для гречишной золы обычно приводит 25% K_2O, для подсолнечника это содержание колеблется от 15 до 40% K_2O (последняя цифра получена при анализе золы[1] подсолнечника с богатых калием почв Кубани). Таким образом, в золе соломы ржи и гречихи и стеблей подсолнечника мы имеем материал более высокопроцентный, чем сырые калийные соли, а главное—вместо ненелательных примесей содержаний важные для растений (P_2O_5) или для улучшения почвы (CaO) вещества[2].

Иногда в приморских районах для удобрения пользуются золой морских растений, водорослей, содержащей около 18% K_2O (Fucus). На Мурманском побережье водоросли, содержащие иод, дают золу с содержанием K_2O до 30%, т. е. заслуживающую перевозки не менее (скорее—более), чем 30% соль, приготовляемая в Стассфурте для экспорта.

Приведенные цифры относятся к золе, *не подвергшейся действию дождевых вод* или выщелачиванию намеренному, в целях получения K_2CO_3.

Зола же, *подвергнутая выщелачиванию, теряет свою ценность как источник калия*, но сохраняет известное удобрительное значение, так как весь фосфор и кальций в ней остаются.

Такой «отход» является, конечно, низкопроцентным фосфорнокислым удобрением (2—5% P_2O_5), но если его вносят 16—17 ц, то получается умеренное известкование и хорошая доза в 30—80 кг P_2O_5; при этом, как оказалось по нашим опытам, в этой форме фосфорная кислота отличается большой доступностью, превосходя в некоторых случаях томасов шлак; например, в песчаных культурах[3] табак дал такие результаты (урожай в граммах):

P_2O_5 в виде				Без P_2O_5
выщелоченной золы	томасова шлака	костной муки	фосфорита	
45,0	30,3	25,9	5,1	0,7

[1] Зола, получаемая при анализе растительных веществ в лаборатории, отличается от печной золы отсутствием несгоревших продуктов (частицы угля и т. п.), примесь которых понятно, сказываются на процентном содержании K и других элементов.

[2] Заметим, однако, что зола соломы содержит гораздо меньше кальция, чем древесная зола.

[3] При внесении всей питательной смеси (кроме фосфатов) в растворимой форме и при равной дозе P_2O_5 в разных источниках.

Повидимому, разные виды золы обнаруживают различия в этом отношении; так, еще в 1902 г. у нас получились такие результаты:

	Без P_2O_5	Зола		
		еловых дров	березовых дров	ржаной соломы
Урожай овса (в граммах) 1)	1,25	16,2	20,1	34,0
2)	1,23	19,5	18,9	24,6
3)	3,30	20,9	24,7	33,7

Таким образом, зола ржаной соломы содержит фосфорную кислоту в наиболее доступной форме; но и в остальных случаях усвояемость P_2O_5 является значительной. С золой вышеназванных материалов не может сравниваться зола торфа и каменного угля.

Применяемый на топливо торф обычно беден зольными веществами (не говоря о механических примесях) и калием в особенности. При сжигании торфа в топках получается торфяной шлак, который содержит продукты неполного сгорания торфа (до 30% органического вещества) и стекловидные сплавления минеральных веществ. В таком шлаке мало не только калия и фосфора, но и кальция, по сравнению с обычной печной золой, содержится меньше. Вот пример, характеризующий состав подобного шлака (анализ М. Бахулина):

Органическое вещество	27,6%	MgO	1,74%
Нерастворимый остаток (SiO_2)	29,5%	P_2O_5	1,08%
R_2O_3	21,8%	K_2O	1,16%
CaO	15,6%		

Зола каменного угля также отличается ничтожным содержанием калия и фосфора. Если и получается иногда результат от внесения больших количеств золы подобного состава, то его скорее приходится отнести на счет соединений Ca.

При применении золы (невыщелоченной) нужно различать три случая:

1. Если желают дать в виде золы только достаточную дозу калия, имея возможность прямым путем обеспечить почве должное количество фосфора, то количества золы могут быть небольшими (например, на 1 га 4 ц золы ржаной соломы, 7 ц березовой золы, 10 ц золы хвойных; попутно фосфор будет дан примерно в половинном размере против обычных норм).

2. Если имеют в виду одновременно дать почве в виде золы также и достаточное количество фосфора, то предыдущие количества нужно удвоить.

3. Если к предыдущим целям присоединяется еще задача устранить кислотность почвы или бедность ее основаниями и мобилизовать азот органических веществ, то нормы могут быть еще более повышены: в этом случае может итти речь о 3—4 т золы на гектар, что уместно для многих почв нечерноземной полосы, часто оподзоленных и заболоченных, т. е. бедных основаниями или кислых (но при таких больших количествах, когда имеется в виду больше всего внесение кальция, экономичнее брать выщелоченную древесную золу).

Нередко ставился вопрос, не действует ли щелочность золы вредно на физические свойства почвы, причем предполагалось, что действие K_2CO_3 золы аналогично действию соды (злой солонець характеризуется присутствием углекислых щелочей). Как выясняли работы Гедройца, причиной плохих физических свойств солонцов является удаление поглощенной извести (а образование соды есть вторичное следствие этого); с золой же мы одновременно вносим известь, поэтому даже значительные дозы древесной золы могут не действовать на почву аналогично соде.

Во всяком случае опыт показывает, что нечерноземные почвы хорошо реагируют на значительные количества невыщелоченной золы; мало того, даже при желании поставить опыт так, чтобы заведомо можно было наблюдать вредное действие золы, нам пришлось итти столь далеко в сторону повышения дозы золы, что этот предел оказался лежащим вне хозяйственных возможностей.

Так, в 1911 г. на почве Батищевской опытной станции (бывш. Смоленской губ.) нам пришлось наблюдать полезное действие золы при 50 ц по расчету на гектар (опыт проведен в сосудах, при оптимальной влажности; в качестве опытного растения взято просо):

	Без удобрения	Зола в виде (центнеров на 1 га)				
		3	6	12	25	50
Урожай на сосуд (в граммах)	22,5	30,6	35,5	40,1	42,9	57,3

Только при чрезвычайно высоких дозах золы (невозможных на практике) удалось впоследствии наблюдать проявление вредного действия золы; вот пример из опытов 1917 г.:

	Без удобрения	Зола[1] в дозе (центнеров на 1 га)						
		60	170	250	400	500	600	800
Урожай на сосуд (в граммах)	18,5	24,2	29,5	31,1	30,4	28,3	6,9	0,7

Опыты эти были повторены в полевой обстановке на ферме Сельскохозяйственной академии с количеством золы до 70 ц на 1 га, причем наблюдалось только положительное влияние. Это показывает, что северные почвы реагируют положительно не только на калий и фосфор золы, но и на внесение оснований; при этом нужно допустить благоприятное влияние последних на ход превращения органических веществ и накопления растворимых азотистых соединений (резкий пример влияния на азотистое питание был у нас получен при опыте с коноплей на торфе—удалось вызвать пышное развитие растений при удобрении одной золой, без внесения азота со стороны).

Север давно знает удобрение золой; при культуре льна на «палах» (по выжженному лесу) в подсечном хозяйстве сжигали не только лес, росший на месте, но еще привозили древесный материал со стороны, чтобы увеличить количество золы, видя в ней «соль земли».

Но, например, на юго-востоке с золой надо быть более осторожным, так как там почва изобилует солями, климат же способствует тому, что почвенный раствор имеет значительную концентрацию, а нередко и наклонность к щелочности; вообще нормы внесения золы должны устанавливаться с учетом местных условий, так же как и наиболее целесообразные сроки ее внесения. За последние годы, в связи с развернувшимся в социалистическом сельском хозяйстве стахановским движением, сбору золы и ее применению (как и других местных удобрений) было уделено значительно больше внимания, чем раньше[2].

По некоторым подсчетам (включая золу соломы и кизяка, идущих на отопление), в СССР получается в год около 1,5 млн. т (а по другим расчетам и до 3 млн. т), что отвечает годовой продукции первого соликамского рудника.

Организация во всех колхозах полного сбора золы является важным мероприятием в деле использования местных ресурсов для удобрения. Особенную ценность зола представляет в зоне *подзолистых почв*, так как ее применение позволяет *дать растениям калий, одновременно уменьшая кислотность почвенного раствора* (а не увеличивая его, как это могут делать калийные соли). Кроме того, *в форме золы очень удобно давать калий картофелю, не вводя в почву хлористых соединений*. Это последнее обстоятельство сохраняет свое значение для любых почв, независимо от их кислотности.

[1] Зола смешанных дров.

[2] До войны (1914—1918 гг.) у нас имел место такой абсурдный факт: через Новороссийск мы вывозили поташ, добытый из золы подсолнечника, а через гавани Балтийского моря ввозили калийные соли из Германии. Непереработанная зола подсолнечника на Кубани содержит 30% калия (K_2O), между тем для удобрения псковского или смоленского льна возили 30% соль из Стассфурта, а не золу с Кубани [причем, кроме равной ценности по содержанию калия, эта зола содержит другие полезные составные части (P_2O_5 и CaO) и не содержит избытка тех нежелательных примесей ($NaCl$, $MgCl_2$), которые содержатся в стассфуртских солях].

СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Вопрос о сложных удобрениях связан, с одной стороны, с задачей удешевления транспорта (а в некоторых случаях и удешевления производства удобрений), с другой же стороны, он должен быть рассмотрен с точки зрения потребления удобрений на местах.

Что касается транспорта, то, особенно при дальних расстояниях (или при безрельсовом транспорте), нецелесообразна перевозка большого количества балласта, содержащегося в обычных удобрениях; так, например, в сульфате аммония, чтобы доставить те 25% аммиака, которые в нем заключаются, перевозят и те 75% серной кислоты, с которой этот аммиак связан и которая для целей удобрения не нужна.

Нередко говорят, что в сульфате аммония ценны только 20% N, в суперфосфате—15% P_2O_5, а остальное—балласт; это, конечно, не точно, потому что растение воспринимает не азот, а аммиак или азотную кислоту, а не P_2O_5, а H_3PO_4 или $Ca(H_2PO_4)_2$, но в этом, несмотря на неточность цифры, выражается в общем верная мысль, хотя частные выводы не для всех случаев совпадают (например, гипс в простом суперфосфате не всегда можно считать ненужным балластом; так, при удобрении суперфосфатом клевера полезное действие оказывает $CaSO_4$).

Если в случае сульфата аммония или хлористого аммония мы имеем дело только с ненужным анионом, то в случае «сырых» калийных солей, кроме хлора, связанного с калием, мы имеем еще примеси избыточных количеств таких солей, как $NaCl$. Если мы не только избавимся от этих примесей путем дробной кристаллизации, но еще скомбинируем калий или аммоний не со случайными анионами, а с наиболее необходимыми для растения, то мы избавим транспорт от напрасной нагрузки и часто выиграем и в применении удобрения, устранив необходимость вводить в почву хлор из-за того, что мы хотим ее удобрить калием.

Отсюда возникает целесообразность производства парных комбинаций, вовсе не содержащих излишних анионов и катионов, а только два наиболее необходимых элемента, как, например, KNO_3, KH_2PO_4, $NH_4H_2PO_4$; тогда транспорт будет иметь дело с товаром, на 100% состоящим из необходимых для растений составных частей, тогда как смеси селитры с калийной солью или сульфата аммония с суперфосфатом содержат много ненужных, а часто прямо нежелательных компонентов.

Нужно отметить, что не всегда принцип наибольшей концентрации приводит к присутствию двух элементов: именно азот в этом отношении находится в ином положении, чем калий и фосфор: так как он может входить и в состав катиона (NH_4) и в состав аниона (NO_3), то в случае NH_4NO_3 мы имеем дело с солью, абсолютно свободной от балласта и в то же время содержащей только один элемент, важный с точки зрения внесения удобрений. Это представляет большое удобство в том отношении, что такие парные комбинации, как KNO_3 и $NH_4H_2PO_4$, содержат значительно меньше азота, чем сопутствующего ему компонента, и *добавление* NH_4NO_3 *позволяет повысить содержание азота в смеси без нарушения принципа наибольшей концентрации*, как это случилось бы, если бы мы для поднятия доли азота стали добавлять NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$.

Приготовление концентратов взамен простых удобрений является делом новым и для Западной Европы; и там главная роль принадлежит обычным удобрениям (суперфосфат, томасов шлак, калийные и аммиачные соли), применяемым в каждом хозяйстве под каждое растение в переменных соотношениях; сложным концентратам принадлежит сравнительно небольшая роль. Не только

парные или тройные, но даже односторонние удобрения повышенной концентрации (как двойной суперфосфат) нередко готовятся лишь для экспорта в тропические страны (например, в Голландии—для удобрения кофейных плантаций на Яве и пр.), и только NH_4NO_3 производится в больших размерах.

У нас имеются свои основания теперь же отнести известную часть общей продукции туков на долю парных комбинаций, позволяющих исключить лишние катионы и анионы, а именно: 1) мы имеем дело с транспортом на большие расстояния, притом не водным, а сухим путем, вследствие чего расходы по транспорту могут быть у нас более обременительными, чем при морском пути, например, от Амстердама до Явы; 2) особенности значительной части нашего фосфатного сырья (брянские, курские, рязанские, актюбинские залежи) часто требуют переработки не по способу простого смешения с серной кислотой, а по способу экстракции, т. е. приготовления раствора фосфорной кислоты, от которого остается только один шаг до получения парных комбинаций; 3) масштаб нашей общей продукции настолько велик, что если относительная доля парных комбинаций будет и не так высока, то абсолютно она будет вполне достаточной для установки в нескольких пунктах производства концентратов того или иного типа сообразно имеющимся сырьевым запасам.

Не все парные (NP, KP, NK) комбинации имеют, конечно, одинаковое для нас значение. Из того, что было сказано выше о потребности наших почв в удобрении, видно, что значительная часть наших почв чаще всего нуждается в азоте и фосфоре,—это громадная область влажной подзолистой зоны, с одной стороны, и если не столь обширная по размерам, то в первую очередь требующая химизации площадь орошаемых культур в области лессовых почв (Средняя Азия и Закавказье); между тем потребность в калийном удобрении не является столь общей и зависит от вида растений; например, свекла, картофель, табак, травы, ряд овощных культур, которые потребляют большое количество калия, в большинстве случаев наряду с азотистыми и фосфорнокислыми нуждаются во внесении и калийных удобрений.

Наличие указанных растений в севообороте при обеспеченности их азотистыми и фосфорнокислыми удобрениями довольно быстро вызывает потребность в калийных удобрениях всех культур севооборота, в том числе и мало потребляющих калия.

Кроме того, *потребность во внесении калия будет зависеть от высоты урожая*; при повышенных урожаях под целый ряд культур наряду с азотистыми и фосфорнокислыми необходимо вносить калийные удобрения. Однако следует придать бо́льшие размеры производству комбинации NP, а к ней добавлять калий лишь в той мере и там, где он будет нужен. В то же время соображения технологического порядка приводят к комбинации азота с фосфором, а именно, кроме особенностей нашего фосфатного сырья, здесь замешан еще вопрос об экономии серной кислоты. По совокупности этих соображений наиболее важным является вопрос о производстве *аммофоса*, т. е. *однозамещенного и двузамещенного фосфорнокислого аммония* (обычно смесь той и другой соли), которое удобно осуществляется там, где вблизи аммиачных заводов имеются залежи фосфоритов.

При производстве аммофоса сначала готовится с помощью серной кислоты экстракт фосфорной кислоты из какого-либо фосфорита, хотя бы по низкопроцентности не пригодного для переработки в суперфосфат, совершенно таким же образом, как в первой стадии производства двойного суперфосфата или преципитата, но дальше эта фосфорная кислота нейтрализуется аммиаком (причем теплота нейтрализации используется для частичного удаления воды через испарение). Одновременно избегается трата серной кислоты на связывание аммиака (как это потребовалось бы в случае приготовления сульфата аммония, с одной стороны, и разложения фосфата—с другой, при отдельных производствах); таким образом, здесь одна молекула серной кислоты выполняет двойную задачу—сначала ее водород переходит к фосфорной кислоте, вытесняемой при раз-

ложении фосфорита, а затем этот же водород участвует в связывании аммиака при образовании фосфата аммония[1]:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 2H_3PO_4 + 3CaSO_4;$$
$$H_3PO_4 + NH_3 = NH_4H_2PO_4;$$
$$H_3PO_4 + 2NH_3 = (NH_4)_2HPO_4.$$

При связывании одной части аммиака получается $NH_4H_2PO_4$ с 12% N и 61% P_2O_5, при связывании двух частиц—$(NH_4)_2HPO_4$, двухзамещенный фосфат, или *диаммофос*, с 21% N и 53,4% P_2O_5; таким образом, 1 т диаммофоса заменяет 3,5 т простого суперфосфата и 1 т сульфата аммония, в итоге транспорт имеет дело с одной тонной вместо четырех с половиной, причем продукт на 100% состоит из необходимых для растения веществ без всякого балласта (нужно иметь в виду облегчение не только железнодорожного транспорта, но и развозу от станций железных дорог по совхозам и колхозам).

На деле чаще готовят смесь одно- и двухзамещенного фосфата; отсюда следующий недостаток: уже в диаммофосе отношение азота к фосфору таково, что, например, для Средней Азии требуется добавка азота, тем более это относится к смеси одно- и двухзамещенного фосфата.

Приведение к равному содержанию азота и фосфора возможно несколькими путями:

1. Если строго соблюдать требование отсутствия ненужных анионов, то надо к аммофосу добавить аммселитру—NH_4NO_3; так как такая смесь содержит азот уже в двух формах, то она не должна называться ни аммофосом, ни нитрофосом, но подходит под более общий термин—*азофос*. Здесь требуется еще дополнительная работа по вопросу о борьбе с гигроскопичностью NH_4NO_3. Кроме прибавления NH_4NO_3, возможно исправить отношение N : P в аммофосе также прибавкой карбамида (синтетической мочевины).

2. Если допускать отступления от строгого соблюдения упомянутого требования, то удобно смешивать аммофос с сульфатом аммония; смесь может быть обозначена как фосфосульфат аммония; неправильно переносить к нам, как это часто делают, немецкое название этой смеси «лейнафос», потому что у нас она будет готовиться на Бобриковском и Березниковском комбинатах, а не привозиться из Лейна; если название «фосфосульфат аммония» кажется длинным, можно найти сокращения (например, «аммосульфос» или просто говорить «азофос» номер такой-то). Дальше можно поставить вопрос, что если уже вводить добавочные компоненты, то целесообразнее вводить соли кальция как полезного антагониста аммония, например, прибегая к смеси $(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + CaSO_4$. Кальций присутствует также в смеси NH_4NO_3 с фосфоритом, которая пригодна для подзолистых почв и тоже может быть обозначена как один из вариантов «азофоса» (но не нитрофоса, как пишется в рекламах).

Но то же самое достигается, если парная комбинация NP осуществляется не через производство аммофоса, а через смешение отдельных концентратов, например, $CO(NH_2)_2 + CaHPO_4$ или $NH_4NO_3 + CaHPO_4$. Полезность присутствия кальция в таких «азофосах» доказана опытами в Америке (Нью-Джерсей), при которых был обнаружен на легких почвах вред для всходов хлопчатника от аммофоса, устраненный введением $CaSO_4$ (конечно, это относится или к почвам, недостаточно богатым кальцием, или к рядковому внесению, когда создается частый перевес ионов NH_4 над ионами Ca).

В некоторых случаях производство парных комбинаций NP (тип «азофоса») будет вызываться не стремлением к максимальной концентрации продуктов, предназначенных для дальнего транспорта, а *задачей наибольшего удешевления удобрений для местного потребления* при одновременном стремлении использовать химическую энергию азотной кислоты, с тем, чтобы вместо непосредственной ее нейтрализации кальцием или аммонием произвести сначала разложение фосфора азотной кислотой и лишь после этого ввести аммиак. Мысль о предварительном использовании азотной кислоты для целей разложения была высказана автором еще в 1908 г., но тогда не было синтетического аммиака (и получаемой его окислением азотной кислоты), теперь же разрабатывается в НИУИФ следующий вариант этого способа: если разлагать фосфорит азотной

[1] Использование той же молекулы серной кислоты может этим еще не заканчиваться; после того как к ней водород заместился кальцием и получился гипс (оставшийся в остатке от выделывания P_2O_5), последний может быть употреблен на получение сульфата аммония, по уравнению: $CaSO_4 + 2NH_3 + H_2CO_3 = (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3$ (см. подробности в отчетах НИУ, работы Вельфовича с сотрудниками).

кислотой до образования $Ca(H_2PO_4)_2$ или H_3PO_4 и $Ca(NO_3)_2$, а затем, не прибегая к фильтрации, нейтрализовать смесь аммиаком, то образуется NH_4NO_3 и $CaHPO_4$ (преципитат); если всю смесь выпарить и высушить, то получается удобрение, содержащее NH_4NO_3, $Ca(NO_3)_2$ и $CaHPO_4$, а также и примеси, бывшие в фосфоритах; поэтому здесь не получается концентрата, однако гораздо больший процент питательных веществ, чем в смеси простых удобрений, при значительном удешевлении производства.

Особый случай получения той же парной комбинации (NP) представляет приготовление *аммонизированного суперфосфата*, причем главным мотивом является удешевление связывания аммиака (без затрат на серную кислоту), но продукт, конечно, не может быть высокопроцентным по азоту.

Аммонизированный суперфосфат получается путем насыщения суперфосфата аммиаком[1]. Так как при этом происходит связывание аммиака за счет $Ca(H_2PO_4)_2$ (и содержащейся в суперфосфате свободной H_3PO_4), то в результате получается фосфат аммония, с одной стороны, и двухкальциевый фосфат — с другой:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + NH_3 = NH_4H_2PO_4 + CaHPO_4.$$

При большем количестве введенного аммиака может образоваться трехкальциевый фосфат:

$$2CaHPO_4 + CaSO_4 + 2NH_3 = Ca_3(PO_4)_2 + (NH_4)_2SO_4.$$

Это ведет к падению растворимости P_2O_5 в суперфосфате, что можно видеть на таком примере:

Процент азота в аммонизированном суперфосфате	Процент P_2O_5				Отношение $N : P_2O_5$
	общая P_2O_5	лимоннорастворимая	цитратнорастворимая	водорастворимая	
3,05	18,76	18,34	16,50	14,30	1 : 6,1
6,28	18,75	15,99	7,90	2,63	1 : 3,0
7,49	18,49	14,46	6,50	2,48	1 : 2,5

Обычно вводят лишь столько аммиака, чтобы не снизить лимоннорастворимости P_2O_5, поэтому при аммонизации простого суперфосфата доводят содержание азота до 2—3%, при двойном же суперфосфате — до 7 или 8%.

Физические свойства аммонизированного суперфосфата улучшаются; при аммонизации происходит частичное подсушивание суперфосфата, так как часть влаги связывается химически [$CaHPO_4$ связывает две молекулы кристаллизационной воды, а $Ca(H_2PO_4)_2$ — одну]:

$$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + NH_3 + H_2O = CaHPO_4 \cdot 2H_2O + NH_4H_2PO_4.$$

Наряду с этим нейтрализуется свободная фосфорная кислота суперфосфата:

$$H_3PO_4 + NH_3 = NH_4H_2PO_4.$$

Это также имеет положительное значение, ибо наличие свободной фосфорной кислоты в суперфосфате ухудшает его физические свойства вследствие повышения гигроскопичности и слеживаемости. Действие P_2O_5 аммонизированного суперфосфата обычно не уступает действию простого (неаммонизированного) суперфосфата, если аммиака введено не слишком много. На подзолистых почвах действие аммонизированного суперфосфата часто бывает выше, чем неаммонизированного суперфосфата. В опытах НИУ получены, например, такие данные:

[1] Кроме того, разрабатываются способы обработки суперфосфата *аммиакатами* (растворами аммиачных солей в жидком NH_3), что дает возможность получения продукта с бо́льшим содержанием азота.

Удобрение[2]	Урожай корнеплодов сахарной свеклы на выщелоченном суглинке Диагородненского оп. поля (в центнерах с 1 га)	Урожай кагальной свеклы на мощном черноземе Грановского оп. поля (в центнерах с 1 га)
NK + простой суперфосфат	235,1	178,4
NK + аммонизированный суперфосфат (3,05% N)	256,1	179,0
NK + то же (6,28% N)	262,1	162,6
NK + то же (7,49% N)	281,9	161,5

В этих опытах на подзолистой почве действие аммонизированного суперфосфата увеличивалось с повышением насыщения его аммиаком, тогда как на черноземной почве, по понятным причинам (понижение растворимости P_2O_5), слишком сильная аммонизация (до 6—7,5% N) сказалась неблагоприятно.

От аммонизированного суперфосфата следует отличать так называемый *аммиачный суперфосфат*, который получается смешением простого суперфосфата с сульфатом аммония:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + (NH_4)_2SO_4 = 2NH_4H_2PO_4 + CaSO_4.$$

Получающийся при этом $CaSO_4$ кристаллизуется, связывая воду (образуя $CaSO_4 \cdot 2H_2O$); таким образом ускоряется подсушивание суперфосфата, и он приобретает лучшую консистенцию (при больших количествах аммиачной соли затвердение под влиянием гипса может итти слишком далеко, затем нужно считаться с течением реакции во времени, но эти технологические детали не подлежат здесь рассмотрению).

Если суперфосфат приготовлен из сырья, содержащего больше соединений Fe и Al, чем полагается по норме, при хранении имеется наклонность к ретроградации (т. е. переходу части P_2O_5 в соединения, в воде нерастворимые). В этих случаях смешивание с сульфатом аммония полезно еще и потому, что здесь имеет место следующая реакция:

$$2FeH_3(PO_4)_2 + 3(NH_4)_2SO_4 = 6NH_4H_2PO_4 + Fe_2(SO_4)_3.$$

Благодаря этому наклонность суперфосфата к ретроградации понижается.

Другие парные комбинации (KP, NK) не имеют того значения, как комбинация NP, по крайней мере, для непосредственного применения. Так, комбинация KP могла бы применяться для удобрения клевера и мелиорируемых лугов, но эти культуры, во-первых, не представляют той ценности, как культуры технические, потому применять под них дорогие концентраты менее целесообразно; во-вторых, эти культуры не чувствительны к хлоридам и могут быть удобряемы смесью калийных солей с фосфатами и, в-третьих, культуры эти в значительной степени распространены в районах, куда калийные соли можно доставить водой (Кама, Средняя и Верхняя Волга и их притоки). Таким образом, вопрос о производстве такой парной комбинации не является первоочередным. Особо стоит и тоже не в первой очереди вопрос о фосфате калия как базе для создания тройной комбинации путем смешения с $CO(NH_2)_2$ или NH_4NO_3.

Что касается *комбинации* NK, то она не имеет общего значения для прямого применения потому, что случаи применения азота (и калия) без внесения фосфора являются исключением, а не правилом; но эта комбинация может представить ступень к получению тройной комбинации (или на заводах, или путем одновременного внесения фосфатов при применении на местах).

Единственным представителем свободной от балласта парной комбинации этого типа является KNO_3, о возможности производства которой в Березниках

[2] Общая доза азота во всех вариантах одинакова.

немало говорилось; недостатком этого соединения является резкое преобладание калия над азотом (46% против 13 с дробью), которое, конечно, может быть устранено добавкой мочевины или амселитры. Если KNO_3 будет служить материалом для перехода к тройной комбинации на самом заводе, то для этого достаточно прибавки аммофоса (или преципитата) с добавкой $CO(NH_2)_2$, NH_4NO_3 и т. п.

Как в случае комбинации NP, так и здесь иногда мотивы технологического порядка могут побудить агрономов мириться отчасти не с наиболее желательными комбинациями, но лишь с допустимыми при известных условиях, если эти комбинации дают более дешевый азот и калий, чем другие. Такой случай намечается в проекте производить так называемый *поталоп* (хлористый калий-аммоний—смесь KCl и NH_4Cl*) как побочный продукт содового производства. Как выше было отмечено, при производстве соды по Сольвею из NaCl с участием NH_4HCO_3 получается в качестве побочного продукта NH_4Cl; но если вместо NaCl взять сильвинит, содержащий, кроме NaCl, также и KCl, то в растворе после выпадения соды останется смесь $NH_4Cl+KCl$.

При помощи соответствующего подбора соотношений NH_3, CO_2, NaCl, KCl процесс можно вести в две стадии. В первой стадии будет выпадать сода, а смесь хлористого калия и хлористого аммония оставаться в растворе:

$$\text{I. } NH_3 + CO_2 + H_2O + NaCl + KCl = \underset{\text{в осадке}}{NaHCO_3} + \underset{\text{в растворе}}{NH_4Cl + KCl}.$$

В следующей стадии, при избытке аммиака, в осадок будет выпадать смесь $KCl+NH_4Cl$

$$\text{II. } 2NH_3+CO_2+H_2O+2NaCl+KCl=\underset{\text{в осадке}}{2NH_4Cl+KCl} + \underset{\text{в растворе}}{Na_2CO_3}.$$

Получающаяся в результате такого процесса смесь хлористых солей калия и аммония является дешевым источником азота и калия, так как значительная часть общих расходов ложится на содовое производство. Нужно сказать, что найти подходящее место для этого удобрения не так-то легко, так как оно содержит свыше 50% хлора, а отношение $N : K_2O = 1 : 2$**; при внесении 45 кг азота вносится на гектар около 180 кг хлора.

Поэтому нужно выбирать для применения этого удобрения культуры, нечувствительные к большому избытку хлора; таковы, например, хлеба. Для льна есть риск, что на подзолистых почвах, если не применять известкования, и без того неблагоприятное действие NH_4Cl (по сравнению с сульфатом) будет усилено действием KCl. Однако можно думать, что применение меньших доз одновременно с фосфоритной мукой может смягчить нежелательное действие этого удобрения на реакцию почвы и на развитие растений, особенно если часть азота дать в виде NH_4NO_3.

С бо́льшим успехом смесь $NH_4Cl+KCl$ может применяться на черноземных почвах (под свеклу и другие культуры) при сплошном внесении, а также на лессовых почвах под хлопчатник. Под картофель применение такой смеси, или $NH_4Cl+KCl$ почти совершенно исключается, потому что сам по себе NH_4Cl уже вызывает снижение крахмалистости, а в комбинации с KCl это влияние должно усиливаться. Под лучшие сорта табака применение удобрений, содержащих в составе свыше 50% хлора, также совершенно исключается. Ввиду этого нужно желать, чтобы промышленность давала в этой форме настолько умеренную долю от всей азотной продукции, чтобы нетрудно было ее разместить на таких почвах и под такие культуры, которыми этот высокопроцентный концентрат (по хлору) переносился бы без ущерба для качества урожая (нужно надеяться, что производство соды будет постепенно переходить к использованию

* «Потазот»—французское название этого удобрения; это название имеет рекламный характер, ибо умалчивает о главном его компоненте—хлоре; так как французское слово «potasse» (поташ) не отвечает нашей химической терминологии, то нужно признать перенесение этого термина к нам очень неудачным, и если название хлористый калий-аммоний является слишком длинным, то нужно было бы создавать свои сокращения, однако с отметкой всех трех компонентов этой смеси, т. е. азота, калия и хлора (например, «азокалхлор» или «аммокалхлор»).

** Таков французский фабрикат; но есть возможность сдвинуть это соотношение.

Na_2SO_4 вместо NaCl и, таким образом, количество хлора в получаемых при этом азотистых удобрениях будет уменьшаться за счет увеличения количества SO_4, а последнее является уже меньшим злом).

Другой случай комбинирования азота с калием предвидится при переработке нефелина на алюминий путем обработки его азотной кислотой; при этом в раствор переходит Al, K и Na в виде нитратов (в осадке SiO_2); при нейтрализации отделенного раствора аммиаком выпадает глинозем (сырье для производства алюминия)[1], в растворе остаются NH_4NO_3, KNO_3 и $NaNO_3$, и при выпаривании без разделения получится смесь трех селитр; такая «хибинская» или «кольская» селитра была бы очень ценным удобрением (например, для рядового удобрения сахарной свеклы).

Все такие способы, в которых азотная кислота заменяет серную, интересны тем, что они удешевляют нитратный азот, так как расходы по окислению аммиака в азотную кислоту компенсируются экономией на серной кислоте; а так как применение нитратного азота проще и универсальнее, чем азота аммиачного, а устранение излишнего аниона (SO_4) тоже является плюсом, то *подобные варианты технологических процессов заслуживают внимания.*

Концентраты тройного действия (тип азофоска). Если производство парных комбинаций логически вытекает из стремления избавиться от ненужных анионов и катионов в солях, служащих для удобрения, то при производстве тройных комбинаций играла роль другая мысль—это дать полное удобрение универсального действия, чтобы потребитель, не рассуждая и не прибегая к самостоятельному комбинированию, таким образом избежал ошибок, снижающих эффект от удобрений. Это направление получило особенное развитие в Америке, где еще до того, как промышленность стала производить концентраты, распространились смеси простых удобрений, содержащих, по крайней мере, три главных элемента пищи растений (а раз смешиваются простые удобрения, то в них обычно присутствуют также Ca, Mg и S и некоторое количество таких элементов, как бор и марганец); при этом заводы готовят разные марки удобрений: «для кукурузы», «для хлопка» и т. д., чему верят простодушные фермеры, упускающие из виду, что потребность в удобрении зависит не только от рода растения, но и от свойств почвы.

Например, картофель может на легких почвах нуждаться больше всего в калии, а на черноземе—в фосфоре; мало того, на той же почве картофель, идущий по навозу, будет скорее требовать добавки фосфора и азота, чем калия, в отличие от картофеля, не получающего навоза; степень участия клевера и люцерны в севообороте кладет тоже свой отпечаток и т. д. Поэтому *должна быть сохранена также и возможность маневрирования на местах*; но в районах, где применение всех трех удобрений является обычным, возможно значительную часть удобрений дать в виде тройной комбинации, *однако не только путем смешения простых удобрений, но и смешением двух парных концентратов*, как аммофос и «калийная селитра», или одной парной и одной простой (как фосфат калия и мочевина или амселитра), чтобы совместить выгодные стороны парных комбинаций с наличностью всех трех элементов. Это избавляет от работы смешения на местах, если все равно нужно применять полное удобрение (если же этого нет, то, конечно, получится напрасная трата, например, калия там, где нужны только азот и фосфор, чем и пользуются в Америке торговцы удобрениями, чтобы сбывать в общей смеси и то, что нужно покупателю, и то, без чего он мог бы обойтись).

Кроме *громадной* (при наших условиях) *экономии на транспорте, применение таких концентратов имеет особое преимущество еще в тех случаях, когда при интенсивной культуре приходится применять большие количества азота, фосфора и калия под растения, чувствительные к избытку хлора* (который способен понижать качество продукта) или вообще к избыточной концентрации; *такова культура овощей*, где важны, помимо урожая, еще и вкусовые особенности. Если же эта культура ведется под стеклом, то отсутствие хлори-

[1] Здесь опускаются подробности, связанные с освобождением глинозема от соединений железа.

стых (и вообще ненужных) солей во вносимых удобрениях приобретает особое значение; при этом нельзя рассчитывать на вымывание ненужных солей осенними и зимними осадками, о чем говорилось выше по поводу удобрения картофеля калийными солями при культуре в поле, когда такое вымывание имеет место при внесении с осени (или под предыдущее растение).

Такого рода полные удобрения могут иметь различный состав как по соотношению между азотом, фосфором и калием, так и по формам соединений, в которые входят эти элементы. Если бы для введения трех элементов ограничиваться двумя солями и ставить задачей полное изгнание ненужных элементов из смеси, то главная роль принадлежала бы немногим комбинациям, например:

1) $NH_4H_2PO_4$ и KNO_3;
2) KH_2PO_4 и $CO(NH_2)_2$;
3) KH_2PO_4 и NH_4NO_3*.

Но так как на деле приходится говорить о наибольшей концентрации, возможной при наименьших затратах производства, то известное участие балласта все же допускается, и потому разнообразие возможных компонентов для получения концентратов тройного действия сильно возрастает; отметим следующие комбинации, частью уже использованные промышленностью Запада, частью представляющие интерес в дальнейшем:

4) $(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$**;
5) $NH_4NO_3 + CaHPO_4 + K_2SO_4$***;
6) $NH_4NO_3 + (NH_4)_2SO_4 + CaHPO_4 + KCl$;
7) $CO(NH_2)_2 + CaHPO_4 + KCl$;
8) $CO(NH_2)_2 + KCl$ + тройной суперфосфат и т. д.

Нужно отметить, что при разнообразии продуктов, выпускаемых промышленностью разных стран, вопрос о терминологии является нелегким, и следовало бы принять меры против внедрения в обиход под видом научных терминов ряда названий, взятых из прейскурантов фирм, торгующих удобрениями и часто имеющих целью скрыть истинный состав продукта (подобно тому, как мы видели выше в случае «клейненской селитры», которая на три четверти представляет «клейненский аммиак»).

В данном случае удобным общим обозначением для концентратов тройного действия, независимо от того, какую форму азота они содержат, является термин *«азофоска»*, образованный сокращением слов: азот—фосфор—калий.

Кроме общего названия концентратов типа NPK именем «азофоска», приложимого независимо от того, преобладает в продукте аммиачный или нитратный азот, допустимы специализированные названия продуктов, для которых характерна какая-либо одна форма азота; если бы появился продукт, содержащий только нитратный азот (чего пока не было), то он заслуживал бы названия «нитрофоска», если же азот представлен только аммиаком (что встречается), то подходящим термином будет «аммофоска».

Однако на Западе торговые фирмы иногда злоупотребляют этой терминологией и для привлечения покупателя стараются и в этом виде продать аммиачные соли под именем нитратов. Такова немецкая «нитрофоска», выпущенная азотной компанией (I. G.) и содержащая на деле три четверти азота аммиачного и одну только четверть азота нитратного, поэтому ее следовало скорее назвать «аммофоска» или общим названием «азофоска». Но, помимо названия, также и по существу нитрофоска является детищем коммерчески заинтересованных трестов, и это наложило отпечаток на ее состав, который определялся вовсе не агрономическими соображениями, а согласованием интересов трех

* Не касаемся здесь вопроса о гигроскопичности NH_4NO_3, для обезвреживания которой находят различные пути.

** Германский тип «нитрофоска».

*** Французский стандарт.

крупнейших немецких синдикатов, в особенности же синдиката калийного; отношение калия к фосфору в нитрофоске совершенно ненормально, а именно: калия (K_2O) содержится 22—26%, P_2O_5—11—13%; тогда как на деле обычно фосфора требуется больше, чем калия. Объясняется это тем, что в Германии после войны 1914—1918 гг. получился дефицит фосфора, так как по валютным соображениям приходилось экономить на импортном фосфоритном сырье, количество же потребляемого калия возросло благодаря дешевизне его и искусной пропаганде калийного синдиката. Когда азотный трест решил выпустить комбинированное удобрение и возник вопрос о соотношении азота, калия и фосфора, то, чтобы не нарушать интересов калийного синдиката, решено было взять отношение, отвечающее фактическому сбыту трех видов удобрений в отдельности, а для утешения доверчивого потребителя было сказано, что это соотношение отвечает и соотношению питательных элементов в навозе. Но ведь *цель применения минеральных удобрений вовсе не воспроизведение недостатков навоза*[1]. В действительности недостаток фосфора в нем и явился первой причиной введения минеральных удобрений—так возникла суперфосфатная промышленность во времена Либиха.

Не имеет отношения к делу также указание, что в некоторых вариантах нитрофоски соотношение N : P : K близко к их соотношению в том или ином растении, так как мы вносим удобрение вовсе не столько по составу растения, а принимая во внимание еще и круговорот веществ в хозяйстве (например, калий возвращается с навозом полнее, чем фосфор), а также и состав почвы, подлежащей удобрению.

Неверно также утверждение, будто для корней растения важно в каждой крупинке найти сразу азот, фосфор и калий; опыты с разделением корней показывают, что можно получить вполне нормальное растение, питая одну прядь корней азотом, другую фосфором (верно только, что, например, для мочевины благоприятно, что в каждой крупинке она разбавлена соединениями калия и фосфора, значит риск вреда от избытка образующегося аммиака меньше, чем от крупинки чистой мочевины при неравномерном ее распределении). Точно так же неверно, будто нитрофоска хороша тем, что она содержит как нитратный азот, «быстро действующий», так и аммиачный, «медленно поступающий в растение». Физиологическими опытами доказано, что нормальное (ассимилирующее) растение как раз быстрее поглощает аммиачный азот, чем нитратный, при одновременном их присутствии в растворе (здесь имеет место смешение с совсем другого рода фактами—из бедные углеводами проростки, как сахарная свекла, аммиак может действовать вредно именно вследствие слишком быстрого его поступления по сравнению с возможностью его использования для синтеза, еще слабо идущего, пока не развернулась листовая поверхность молодых растений).

Таким образом, немецкая «азофоска» (неправильно названная «нитрофоска») является продуктом, служащим для усиленного сбыта калия, независимо от того, нужен ли он или не нужен; в ней недостаточно фосфора из-за валютных трудностей, характерных для Германии как страны, не имеющей хорошего фосфатного сырья; поэтому она никоим образом не может служить исходным образцом при предстоящем у нас создании промышленности сложных удобрений[2].

Прежде всего для промышленности важно установить, какие *парные* комбинации имеют наибольшее значение как для непосредственного применения, так и в качестве первичного материала для приготовления тройных комбинаций, ибо эти последние получаются смешением парных комбинаций (или даже смешением солей, содержащих лишь одно главное питательное вещество, например, $NH_4NO_3 + CaHPO_4 + K_2SO_4$); если установлено, какие соли нужно готовить, то дальше уже простым смешением можно получить разные типы удобрений. При этом производство отдельных солей (аммофоса, амселитры, KNO_3 и пр.) может итти даже в разных местах сообразно местонахождению источников сырья и энергии, а смешение по разным типам может быть органи-

[1] В части соотношения N : P : K.

[2] Отметим, что нередко преувеличивают значение нитрофоски в Германии, когда говорят, что «Германия перешла к применению сложных удобрений»: при несомненном успехе нитрофоски все-таки на нее приходится лишь около 10% применяемого в Германии азота и 90% применяются в виде односторонних удобрений.

зовано в местах потребления. В других случаях, когда источники сырья это позволяют, можно смешение производить на месте производства, поскольку есть определенный спрос на известный тип смеси. Так, например, в Березниках, которые стоят на калийных солях, существует азотный завод, и поблизости находятся залежи фосфоритов; здесь можно производить не только отдельно аммофос и хлористый калий, но и смешивать их в определенном соотношении по заказу отдельных районов, тяготеющих к Березникам.

При сравнении действия концентрированных (безбалластных) удобрений с комбинациями из простых, односторонних удобрений приходится считаться с тем, из каких компонентов состоят эти комбинации. Понятно, что при систематическом внесении в севообороте таких «простых» удобрений, которые обладают способностью подкислять почву, на почвах кислых и малобуферных они могут уступать по своему действию концентратам. Так, в опытах на легкой супесчаной подзолистой почве Люберецкого опытного поля при сравнении таких удобрений в севообороте получились следующие результаты (урожай без удобрений принят за 100%):

Условия опыта	Суммарный урожай в зерновых единицах за оборот (картофель, кормовая брюква, овес) 1933—1937 гг.			
	Без удобрения	$(NH_4)_2SO_4$ + + суперфосфат + 40% калийная соль	NH_4NO_3 $NH_4H_2PO_4$ KCl	NH_4NO_3 $NH_4H_2PO_4$ KNO_3
По фону без навоза	100	134	150	210
По навозному фону	100	112	138	164

При сравнении тех же комбинаций удобрений на почвах достаточно буферных, как и следовало ожидать, такого преимущества концентратов не обнаружилось:

Место проведения опытов и культуры	Без удобрений	Суммарный урожай в процентах		
		$(NH_4)_2SO_4$ + + суперфосфат + 40% калийная соль	NH_4NO_3 $NH_4H_2PO_4$ KCl	NH_4NO_3 $NH_4H_2PO_4$ KNO_3
Гракорское оп. поле (мощный чернозем). Севооборот: пар, озимая пшеница, сахарная свекла, ячмень (1934—1937 гг.)[1]	100	137	139	136
Совхоз «Пахта Арал» (сероазем). Хлопчатник за 3 года (1935—1937 гг.)	100	127	131	130
Поныровское оп. поле (выщелоченный чернозем). Конопля за 4 года (1934—1937 гг.)	100	196	204	209
Долгопрудное оп. поле Московской области (подзолистый суглинок, по известкованному фону). Севооборот: картофель, свекла, овес, клевер, озимая рожь (1933—1937 гг.)[1]	100	141	139	144

С удобрением типа азофоска ставилось значительное число совершенно ненужных опытов, которые только напрасно загромождают литературу; мы разумеем такие опыты, в которых эмпирически сравнивается действие того или иного сложного удобрения (чаще всего фигурирует пресловутая «псевдонитрофоска») с действием простых удобрений, притом на почвах с большой емкостью поглощения и насыщенных основаниями, без всякого расчленения

[1] Суммарный урожай в зерновых единицах (за севооборот).

вопроса; между тем ясно, что на таких почвах бесполезно испытывать усвояемость азота, фосфора и калия растворимых солей в их комбинации, если она известна для отдельных солей; нужно ставить совсем другие вопросы, например, *для каких почв является минусом отсутствие кальция в тех концентратах, в которых преобладает аммиачный азот?* Или: не могут ли различные варианты аммофоска быть приспособлены к рядовому внесению путем введения в них кальция или в виде $CaHPO_4$ или путем прибавления $CaSO_4$?

Дело в том, что, как выше уже говорилось, на почвах, бедных кальцием, аммиак может вредить проросткам, в особенности бедным углеводами (как всходы свеклы), своим преобладанием над другими катионами даже тогда, когда физиологическая кислотность устранена; поэтому и внесение концентратов, несмотря на то, что они содержат аммофос, а не сульфат аммония, может на почвах, бедных известью (и особенно при рядовом внесении), быть менее благоприятным для растения, чем внесение смеси простых удобрений. Объясняется это тем, что, например, суперфосфат содержит гипс, и кальций гипса может играть роль антагониста аммонию, если почва очень бедна кальцием. Такой вред удобрений, в состав которых входил аммофос, наблюдался в Америке на легких почвах при удобрении хлопчатника.

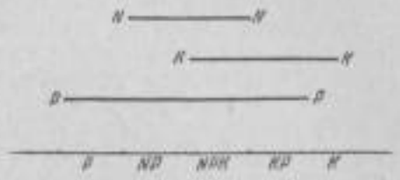


Рис. 47.

Заметим вместе с тем, что в последнее время у нас в опытах с рядковым удобрением сахарной свеклы была установлена положительная роль *калия* при внесении аммиачных солей. Поэтому вопрос о правильном сочетании калия с аммонием в составе сложного удобрения также заслуживает внимания (особенно при местном внесении в рядки).

По мере все большего развития азотной промышленности, по мере увеличения снабжения азотом льна и картофеля, а затем и хлебов подзолистой зоны, значение тройной комбинации будет возрастать; однако и тогда она будет играть для подзолистой зоны хотя и видную, но не исключительную роль; в ряде случаев должна остаться возможность маневрирования в применении удобрений на местах, так как даже в пределах той же почвенной зоны и того же комплекса культур потребность каждой из них в минеральных удобрениях (включая отношение N : P : K) меняется, смотря по тому, сколько навоза в данном хозяйстве, данном поле севооборота удалось внести под эту или под предшествующую ей культуру, какова роль клевера в севообороте и т. д.

Продукция фосфатов, по подсчетам потребности в удобрениях, должна значительно превышать азотную и калийную продукцию (в согласии с опытом всего земного шара); из этого вытекает, что и впредь *значительная часть фосфатов будет применяться без одновременного внесения азота*, как дополнение к навозу или без навоза, на чистых парах черноземных полей, далее на клеверных посевах, также при культуре болот и мелиорированных лугов, а кроме того, фосфор будет входить в двойные и тройные комбинации.

Об азоте можно думать, что он не часто будет применяться в одиночку (хотя такие случаи встречаются, например, в Восточной Сибири и местами в Средней Азии), но обычно будет входить в двойные и тройные комбинации («азофоска» и «азофоска», реже NK); для калия будет преобладать участие в двойных и тройных комбинациях, но известное действие он может оказывать и при применении в отдельности (особенно на низовых болотах).

С большим приближением эти соотношения могут быть изображены следующей схемой (рис. 47), в которой длина линий отражает относительные размеры химической продукции[1] по трем направлениям (азот, фосфор, калий), а их расположение относительно друг друга означает вхождение в различные

[1] Когда эти размеры будут согласованы с потребностями земледелия.

комбинации (смотря по тому, насколько в проекции на горизонталь будут совпадать или не совпадать между собой отдельные отрезки этих линий).

В левой части схемы мы встречаем сначала отрезок, отвечающий применению одного только фосфора, считая все формы фосфорных удобрений, как концентрированные (двойной суперфосфат и преципитат), так и низкопроцентные (простой суперфосфат, томасов шлак, фосфоритная мука). В следующем отрезке мы имеем проекцию двух линий—азотной и фосфорной; но случаи применения комбинации NP будут различны: с одной стороны, сюда войдут лессовые почвы Средней Азии, где будет преобладать отношение N : P, близкое к единице, и где часто найдут применение концентраты (аммиачная селитра и сульфат аммония с аммофосом или с преципитатом, двойным суперфосфатом), с другой стороны, сюда будут относиться малооподзоленные суглинки севера, на которых, при близком к равенству отношении азота к фосфору, часто будут применяться не столь концентрированные, более дешевые формы удобрения.

Следующий участок, на котором проектируются отрезки всех трех линий, отвечает вначале меньшему, а впоследствии большему значению типа «нитрофоска»; такой тип удобрения должен найти применение прежде всего при культуре льна и картофеля в подзолистой зоне, при культуре конопли в зоне деградированных черноземов, при росте урожаев под сахарную свеклу и хлопчатник, а затем, по мере развития азотной промышленности, он найдет применение и при культуре хлебов в нечерноземной полосе.

Далее вправо отрезок KP отвечает применению минеральных удобрений на клеверных полях и на лугах, но скорее в виде простых удобрений, чем концентратов; то же относится к последнему участку, где линия калия выходит за пределы линии фосфора,—это случай применения одного только калийного удобрения на низовых болотах.

Относительная длина отрезков будет меняться по мере развития химической промышленности и под влиянием изменения в соотношении культур технического, пищевого и кормового значения.

ИЗВЕСТЬ

Известь обычно причисляется к косвенным удобрениям, т. е. к таким, которые вносятся в почву главным образом не с целью прямого обогащения ее элементами пищи растений, но для того, чтобы вызвать в ней ряд изменений, следствием которых является улучшение некоторых общих свойств почвы (реакции, физических свойств, микробиологической деятельности и пр.), а отчасти и освобождение питательных веществ и переход их в усвояемую форму.

Однако в то же время кальций принадлежит к числу элементов, безусловно необходимых для жизни растений, и это, казалось бы, противоречит отнесению извести к удобрениям косвенным. Но дело в том, что, помимо непосредственного значения в питании растения, известь, внесенная в бо́льших количествах, чем нужно для этой прямой цели, оказывает весьма сложное влияние на почву, причем при умелом ее пользовании общие условия жизни растений могут существенно улучшаться (а при неумелом—ухудшаться). Так как количество вносимой извести чаще всего определяется не тем, сколько кальция нужно растениям для прямого питания, а тем, сколько его нужно для изменения свойств почвы в желательном направлении, то в этом смысле отнесение извести к косвенным удобрениям находит практическое оправдание.

Вообще нужно заметить, что деление удобрений на прямые и косвенные является очень условным и не может быть последовательно проводимо; скорее можно говорить о прямом и косвенном действии почти каждого удобрения (исключение представляет, например, внесение антисептиков в почву в целях повышения урожая).

В предыдущем изложении мы приводили уже немало примеров того, что внесение удобрения оказывает не только прямое действие, но и сопровождается рядом косвенных следствий, влияющих как на свойства почвы, так и на развивающееся растение. Так, например, сернокислый аммоний, помимо прямого действия, заключающегося в обогащении почвы азотом, обычно в той или иной мере подкисляет почву, увеличивает концентрацию сернокислого кальция в почвенном растворе и т. д.

Наоборот, селитра, в особенности при систематическом применении в известных условиях, может сделать почву более щелочной, может повлиять на физические свойства почвы, и следовательно, ее влияние также сопровождается рядом следствий, которые мы должны отнести к ее косвенному действию.

Когда мы говорим, что для многих бедных и ненасыщенных песчаных и торфяных почв томасшлак является лучшим удобрением, нежели суперфосфат, мы даем оценку этим удобрениям, учитывая одновременно и косвенное (нейтрализующее) действие шлака.

Однако ясно, что в названных случаях мы ставим целью прежде всего внесение новых количеств питательных веществ и дополнительно учитываем сопутствующее действие на почву, в случае же внесения извести мы имеем в виду главным образом воздействие на реакцию почвы и состав поглощенных катионов, а также мобилизацию питательных веществ самой почвы. В этом смысле отнесение извести к косвенным удобрениям является правильным, и непонимание

различий между косвенными и прямодействующими удобрениями было причиной того обстоятельства, что в прошлом каприсно сменялись удачи и неудачи в применении извести в целях удобрения.

В истории сельского хозяйства разных стран имеется немало примеров коренного улучшения почв и поднятия урожаев с помощью известкования; но точно так же имеется ряд случаев злоупотребления известкованием в ту эпоху, когда не существовало теории питания растений и в деле удобрения почвы шли наощупь.

Так, в Англии еще во времена Плиния (господства римлян) употреблялся мергель (marga), в котором видели как бы концентрированное богатство почвы—«ее тучность»; о том же есть позднейшие свидетельства (XVI, XVIII века, не говоря о XIX).

Англия являлась страной наиболее высоких доз извести и частого повторения известкования; в ней же наиболее проявилось (XIX век) то разочарование, которое явилось следствием прежнего непонимания различия между действием извести и навоза на почву, которое отчасти уподобляется различию между овсом и кнутом при воздействии на лошадь. Теперь же опытные учреждения Англии (прежде всего Ротамстед) изучают влияние извести во всей его сложности с иной точки зрения и опять придают ей большое значение при улучшении английских почв, устранив ошибки давнего прошлого и недавнее огульное разочарование в известковании, вызванное грубым эмпиризмом практических хозяев.

Во Франции (Галлии), для которой тот же Плиний отмечал употребление извести, мы имеем теперь данные более сознательного и целесообразного использования того же приема для улучшения почв, особенно образовавшихся на граните, следовательно бедных известью. Так, Мюнц, автор известной книги «Les engrais», описывает резкое превращение хозяйства в департаменте Loire et Cher, где раньше (до восьмидесятых годов прошлого столетия) существовало трехполье с рожью и гречихой (самыми нетребовательными растениями), под влиянием проведения железной дороги, удешевившей доставку извести; применение последней позволило ввести клевер, раньше не удававшийся, поднять животноводство и как с помощью навоза, получаемого от клевера, так и прямого влияния клевера на почву поднять плодородие последней до возможности культуры пшеницы; дальнейший шаг заключался во введении минеральных удобрений, проявляющих наиболее полно свое действие на фоне извести и органических веществ, создающих прежде всего благоприятные физико-химические условия для жизни растений.

Другой наглядный пример для Франции, по свидетельству того же Мюнца, представляет Бретань. Этот полуостров окаймлен «ceinture dorée» (золотым поясом) высокой земледельческой культуры вдоль берега моря, что Мюнц ставит в связь с возможностью доставки извести дешевым водным путем; внутренняя же часть полуострова, куда дешевая известь не может проникнуть, остается на другом, более низком уровне культуры.

В Германии мергелевание также давно применялось, определенные указания имеются для XII века; в XVI веке мергель сплавлялся на судах по Рейну в нижнерейнские провинции; для XVII века отмечается применение обожженного известняка в целом ряде областей Германии, включая Силезию; на севере применяли луговую известь. Для мергеля (очевидно, впервые применявшего) отмечались лучшие результаты, чем для навоза, что отразилось в следующем общем выводе: «Отыскание и применение мергеля привело Северную Германию от бедности к богатству и из бесплодных пустошей создало благословенную землю»[1].

Но когда стали злоупотреблять повторением известкования, особенно в крестьянских хозяйствах, то явилась реакция против применения извести, и начал распространение обратная формула: «известь обогащает отцов и разоряет детей»;

[1] См. обзор в статье А. Н. Соколовского, «Сборник по известкованию», изд. НИУ, 1919 г.

стало ходячим выражение «ausmergeln», т. е. истощить землю повторным мергелеванием[1].

С восьмидесятых годов прошлого столетия стали подходить к этому вопросу уже иначе, видя в извести средство оздоровления почвы, создания нормального режима для ряда желательных процессов, средство, которое нужно применить не взамен, а наряду с навозом, минеральными удобрениями и культурой азотособирателей.

Блестящий пример правильного применения известкования дал Шульц, владелец вересковой пустоши «Люпиц», ставшей известной в истории сельского хозяйства благодаря Шульцу, нашедшему путь к поднятию продуктивности таких бедных песчаных и в то же время кислых (бедных основаниями) почв; путь этот состоял в применении извести и последующей культуре на этом фоне азотособирателей (бобовых) с внесением калийно-фосфатных удобрений; все это теперь вытекает из общих оснований; но тогда (с 1855 г. по 1881 г.) Шульцу это стоило многих неудач, и только человек исключительной наблюдательности и настойчивости способен был наметить путем хозяйственного опыта то, что потребовало работы двух поколений (Буссенго—1837, Гельригель—1886) для научного обоснования.

Благодаря примеру Шульца в Люпице и инициативе берлинского профессора Орта на вопрос об известковании вновь обратили внимание, стали изучать залежи известняков и мергеля; в Германии сельскохозяйственное общество стало на выставках демонстрировать материалы по известкованию и выхлопотало понижение железнодорожного тарифа на перевозку извести, если она назначается на удобрение полей.

Прежняя Россия не переживала периода разочарования в деле применения извести по очень простой причине—применение извести еще, можно сказать, не начиналось; оно было незнакомо крестьянству большей части внутренней России, у частных владельцев оно встречалось в виде исключения.

Однако внимание русских исследователей вопрос об известковании привлекал давно; так, в первый год существования Петровской академии (1865 г.) появилась диссертация проф. И. А. Стебута «Известкование почвы», в которой автор между прочим отмечает полное расхождение нашей сельскохозяйственной практики с опытом Западной Европы, где умелое применение известкования нередко приносило громадные выгоды. Интересно отметить, что Д. И. Менделеев подчеркивал возможное значение известкования для наших почв в 1872 г.[2] Далее трое профессоров-агрохимиков, последовательно занимавших кафедру в Петроградском земледельческом (впоследствии Лесном) институте, Энгельгардт Костычев и Коссович) останавливались на том же вопросе. А. Н. Энгельгардт, впоследствии невольный хозяин в Батищеве[3], считал известкование (мергелевание) необходимым для получения высоких урожаев клевера на подзолистых почвах (а известно, что за высокими урожаями клевера следует и общий подъем всей продуктивности хозяйства). П. А. Костычев в восьмидесятых годах также указывал на известкование как на средство поднятия урожаев на подзоле; далее П. С. Коссович в своих экспериментальных работах (с 1898 г.) отвел значительное внимание вопросам известкования (см. «Труды Петербургской с.-х. лаборатории», т. I—VI), исходя из задачи поднятия плодородия почв оподзоленной зоны; кроме того, он получил хорошие результаты с применением луговой извести на подзолах бывш. Смоленской губернии. Одновременно (1897—1898 гг.) начались работы по известкова-

[1] Соответственно этому в Англии говорят: «Lime and lime without manure will make both soil and farmer poor» (т. е. известь и известь без навоза обеднит и землю и фермера). Но все рассказы о том, что известь истощает почву, основаны на неверном объяснении того факта, что избыточным известкованием можно понизить урожаи—это понижение ничего общего с истощением не имеет (см. ниже).

[2] Менделеев принимал участие в организации первых полевых опытов с минеральными удобрениями в России; об извести см. его речь в «Трудах Вольно-экономического общества» за 1872 г.

[3] Он был лишен кафедры и выслан за «неблагонадежность» в Смоленскую губернию.

нию и в нашей лаборатории (см. «Результаты вегетационных опытов»). Далее проф. Книрим (Рига) настаивал на более широком применении извести; отдельные опытные станции (Витская, Запольская, Энгельгардтовская) дали примеры успешного применения извести.

Но русская сельскохозяйственная жизнь того времени, за исключением некоторых западных губерний, оставалась глухой и немой ко всем указаниям на целесообразность известкования.

После Октябрьской революции вопрос об известковании вновь ставится на очередь. Перед сельским хозяйством, как и другими отраслями народного хозяйства, открылись новые широкие перспективы быстрого развития производительных сил. Была выдвинута задача превращения потребляющей полосы в производящую, которая требовала усиленного внимания к мероприятиям, направленным на коренное улучшение плодородия подзолистых почв северной, нечерноземной полосы. Среди этих мероприятий видное место принадлежит известкованию почв.

Возникший в первые же годы после революции Научно-исследовательский институт по удобрениям (при ВСНХ) с самого начала своей деятельности немало внимания уделял вопросам известкования. К этому времени на Московской областной опытной станции были получены отчетливые данные о положительном действии известкования на подзолистых почвах Московской области (причем было испытано действие возрастающих доз извести), и директор этой станции А. И. Стебут[1], исходя из мысли, что в деле общего поднятия плодородия северных почв нельзя обойтись без извести, выдвинул этот вопрос как один из основных в программе работ станции. Результаты опытов, проведенных на Московской областной станции, послужили основанием и для дальнейшего более широкого развертывания опытных работ с известкованием, предпринятых научным институтом по удобрениям (НИУ ВСНХ).

В 1919 г. был издан сборник работ под названием «Известкование почвы в связи с внесением удобрений», который был одной из первых публикаций этого института. В сборник вошли 19 статей различных авторов по ряду вопросов, связанных с известкованием и служащих хорошей иллюстрацией к положению, что наибольших результатов от известкования нужно ждать тогда, когда одновременно заботятся как о внесении в почву минеральных удобрений, так и обогащении ее органическим веществом (будь то навоз, клевер или торф).

Наряду с литературным материалом в этом сборнике приведено было характерное описание хозяйственного опыта, произведенного проф. Я. Я. Никитинским в бывш. Московской губернии. Почва песчаного бугра, лежащего высоко над уровнем р. Нары, оподзоленная, легко сплывающаяся, характеризовалась крестьянами как совсем «народная сухая земля»; попытки культуры овса, картофеля и ржи на этом бугре подтвердили эту характеристику. Так как в овраге были выходы рыхлого известняка, а по соседству имелся торф, то решено было воспользоваться этими материалами для улучшения почвенного слоя. Известняк был добыт зимою и сырым был вывезен из штольни на мороз; при измерзании и оттаивании большая часть каменей рассыпалась в мелочь, и такой мелочи было вывезено на бугор приблизительно 25 ц на 1 га. Так же заблаговременно был нарыт торф и оставлен выветриваться в кучах (с добавлением извести); кроме того, часть компоста была приготовлена из лесного сора и почек, разлагающихся с известью. Торфа (или компоста) вывозилось по 16—17 т на гектар. В результате на этом холме стали получаться хорошие укосы клевера, урожаи картофеля — по 12—16 т, овса — 13—20 ц, даже стала возможна культура моркови и свеклы при удобрении навозом (и частью фосфатами), а на более низких участках склона стали удаваться огурцы и капуста, что до основной заправки почвы известью и перегноем совершенно не было возможно.

В подобных случаях известкование может являться первым этапом по пути перехода от бесплодной пустоши к культурной почве.

Многолетние опыты, заложенные на Московской областной станции и на Долгопрудном опытном поле НИУ, дали ценный материал для того, чтобы проследить действие извести в течение ряда лет не только с помощью учета урожаев ряда культур, но и с помощью изучения химических и биологических процессов, изменяющихся под влиянием извести.

К этим опытам присоединились работы ряда опытных станций (в значительной степени вызванные «географическими опытами» НИУ) по влиянию извести на почвы различных зон.

[1] Через полвека после выхода книги проф. И. А. Стебута об известковании.

Позднее (с 1931 г.) вновь возникший Научно-исследовательский институт по удобрениям (ВИУАА) в системе Всесоюзной академии с.-х. наук им. Ленина также развернул исследования по известкованию в специально организованной лаборатории (под руководством акад. О. К. Кедрова-Зихман).

В результате опытной работы по известкованию почв, проведенной в нашей стране после Октябрьской революции, было установлено большое значение известкования для повышения плодородия почв и поднятия урожаев с.-х. культур в нечерноземной полосе[1]. Широкий размах получили работы и в направлении почвенных исследований, составления почвенных карт в целях известкования, которые устанавливают районы распространения почвенных разностей, нуждающихся в известковании.

Известкование стало входить в практику социалистического земледелия и осуществляется теперь в качестве планового государственного мероприятия.

За годы второй пятилетки в СССР было заизвестковано около 300 тыс. га. Дальнейшие задания в этом направлении даны XVIII съездом ВКП(б), отметившим в своих решениях необходимость широкого внедрения в практику известкования подзолистых почв. Выполнение этого задания, несомненно, будет способствовать повышению плодородия наших почв и дальнейшему росту урожайности.

ИЗМЕНЕНИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ В ПОЧВЕ ИЗВЕСТКОВАНИЕМ

Из всех сторон многообразного действия извести на почву наиболее важной является *устранение избыточной кислотности, борьба с которой и является обычно главным поводом к применению известкования*; остальные влияния являются добавочными, их можно осуществить и другими мерами, в деле же устранения вредной кислотности известь по быстроте и энергии действия является большей частью незаменимой.

Замещая водород карбоксильных групп в гуминовых кислотах, а также и водород ацидоидов в минеральной части поглощающего комплекса, известь устраняет обменную кислотность подзолов и других почв, не насыщенных основаниями (причем гидролитическая кислотность также более или менее убывает).

Изменение реакции почвы, уменьшение обменной и гидролитической кислотности и увеличение содержания поглощенного кальция в почве под влиянием известкования можно иллюстрировать, например, такими данными анализов почв, взятых с делянок полевого опыта (Долгопрудная опытная станция):

Доза $CaCO_3$ (в тоннах на 1 га)[2]	0	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5
pH водной вытяжки	5,6	5,6	6,3	6,9	7,2	7,5
Обменная кислотность (в миллилитрах 0,1-н NaOH на 100 г почвы)	3,3	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
Гидролитическая кислотность (в миллилитрах 0,1-н NaOH на 100 г почвы)	29,5	18,2	11,0	7,0	5,0	4,0
Поглощенный Ca (в миллиэквивалентах на 100 г почвы)	5,5	9,5	11,0	14,0	17,0	19,5

[1] По вопросам известкования в СССР опубликован ряд работ и монографий; из последних заслуживает быть отмеченной книга Н. Ремезова и С. Щерба («Теория и практика известкования почв», М. 1938 г.). См. также «Труды ВИУАА», вып. 6 и 9 («Известь») за 1934 и 1935 гг.

[2] Доза $CaCO_3$, рассчитанная по гидролитической кислотности, для этой почвы составляет около 7 т на 1 га.

Таким образом, при дозах извести, близких к величине гидролитической кислотности, заметно повышается pH водной вытяжки (т. е. понижается актуальная кислотность), почти целиком устраняется обменная кислотность и значительно увеличивается содержание в почве поглощенного кальция. Что касается гидролитической кислотности, то даже при высоких дозах извести она не устраняется полностью, но в сильной степени снижается при внесении повышенных доз $CaCO_3$.

Благодаря нейтрализации кислотности под влиянием известкования улучшается рост одних растений и становится возможным введение других, раньше, на кислой почве, не удававшихся; сопровождаемое внесением других удобрений известкование может превращать «ржаные» и «овсяные» почвы в «пшеничные», «ячменные», позволяет возделывать клевер и люцерну там, где они раньше не росли (так, например, в Дании после введения известкования границу культуры люцерны удалось продвинуть к северу—в этом случае ограничивающим фактором оказался не климат, а содержание извести в почве). Также и среди пропашных культур известкование может позволить возделывать свеклу на таких почвах, где раньше была возможна только культура картофеля, лучше переносящего кислотность почвы, чем свекловица.

Таким образом, известкование позволяет улучшить свойства почвы, сделать ее пригодной для возделывания более разнообразных, более ценных, но часто и более чувствительных к кислотности растений. Это положение весьма существенно и должно учитываться при разработке и введении правильных севооборотов в колхозах и совхозах.

На почвах значительной кислотности плохо развиваются все культурные растения. Общая площадь таких земель в различных областях оказывается достаточно большой (многие оброcовые, а также и вновь осваиваемые земли из-под леса, кислые торфяные почвы и т. д.). Известкование таких почв является непременным условием введения их в культуру, так как без этого (хотя бы и при внесении минеральных удобрений, содержащих азот, фосфор и калий) урожаи часто получаются очень низкими. Насколько резко в таких случаях меняются урожаи разных растений от внесения извести, показывает следующий пример из вегетационных опытов лаборатории извести ВИУА, проведенных на сильнокислой торфяной почве (Коптево), имевшей без внесения извести pH водной суспензии равное 3,6 и pH солевой вытяжки равное 3,0 (урожай воздушно-сухой массы растений в граммах на сосуд на фоне NPK).

Растения	Дозы извести (в процентах от гидролитической кислотности)					
	0	18	28	50	70	100
Ячмень	0	4	22	49	55	61
Овес	0	—	24	23	28	28
Вика	0	—	4	10	9	10
Тимофеевка	0	4	11	19	16	15

О том, какие изменения в состоянии кислотности почвы происходили в этом опыте под влиянием возрастающих доз извести, можно судить по следующим данным:

Доза извести (в процентах от гидролитической кислотности)	0	28	50	70	100
pH водной суспензии	3,6	4,5	4,8	5,9	6,5
pH солевой вытяжки	3,0	3,8	4,3	5,5	6,2
Степень насыщенности основаниями (V)	16	31	45	73	80%

Без известкования на этой сильнокислой почве, при pH водной суспензии равной 3,6 и солевой вытяжки—3,0, культурные растения не развивались совсем.

Устранение кислотности, помимо непосредственного значения для самого культурного растения, *положительно влияет на развитие в почве ряда микроорганизмов*. Сюда относится прежде всего нитрифицирующие бактерии, Nitrosomonas и Nitrobacter, деятельность которых в отсутствие извести задерживается. Известкование же, помимо доставления оснований для связывания азотистой и азотной кислот, еще и повышает разложение органических азотистых веществ, идущее с образованием того энергетического материала, на котором основана деятельность нитрификаторов, т. е. аммиака.

При внесении больших количеств извести первоначально может особенно усиливаться именно аммонификация, и лишь затем берет перевес нитрификация.

У Буссенго при внесении 1% извести от веса почвы образовалось 76 мг аммиака через месяц, а в неудобренной почве—всего 5 мг; для нитратов отношение было в первый месяц обратным, но потом процесс нитрификации в первой (известкованной) почве значительно обогнал нитрификацию во второй, не получившей извести. В одном произведенном у нас опыте при внесении умеренных количеств извести (0,2%) обнаружилась повышенная нитрификация уже через 3 недели, так что той временной задержки, которую наблюдал Буссенго при 1% извести, здесь не было или же она была гораздо более кратковременной и не могла быть подмечена при анализах через трехнедельные промежутки[1].

Вот цифры для этого опыта (миллиграммы азота):

Условия опыта и определяемые соединения		Сроки			
		До опыта	3 недели	6 недель	9 недель
Без извести	Нитраты	58,8	69,3	90,3	96,8
	Аммиак	14,0	17,5	26,7	16,8
	Сумма	72,8	86,8	117,0	113,6
С известью	Нитраты	58,8	85,7	120,8	118,3
	Аммиак	14,0	14,8	29,4	35,6
	Сумма	72,8	100,5	150,2	153,9

То временное накопление аммиака, которое наблюдал Буссенго при внесении больших количеств CaO и которое он склонен был объяснить чисто химическим воздействием на азотистые (органические) вещества почвы, теперь находит объяснение биологического, а не химического порядка, именно действие жженой извести при больших дозах аналогично той полустерилизации почвы, которая выявляется, например, внесением антисептиков (сероуглерод, толуол) или нагреванием до 98°, после чего также часто наблюдается улучшение питательного режима и повышение урожая[2]. Работы Ротамстедской станции (Russell, Hutchinson и др.) показали, что «полустерилизация» умерщвляет инфузории, амеб и других Protozoa в почве (которые истребляют бактерий), споры же бактерий более стойки, поэтому после превращения $Ca(OH)_2$ в $CaCO_3$ (или после испарения сероуглерода, толуола и пр.) бактерии начинают опять размножаться, притом сильнее, чем прежде, вследствие подавления их антагонистов (Protozoa). Так как аммиак образуют многие формы, в том числе и выносящие щелочную реакцию, нитрификация же времени замедляется, по сравнению с аммонификацией (потому что нитрифицирующие бактерии чувствительнее других не только к кислотности, но и к щелочности), то и наблюдается усиленное образование аммиака, лишь несколько позднее сменяющееся усиленной нитрификацией (и излишней щелочности чувствительны также клубеньковые бактерии, поэтому после слишком сильного удобрения CaO может уменьшаться количество клубеньков на корнях бобовых, и является потребность в заражении почвы соответствующими бактериями).

[1] См. статью автора в «Журнале опытной агрономии», 1903 г., 262.

Если в кислых почвах известь, несомненно, повышает энергию разложения органических веществ и меняет самый характер процесса, то отсюда не следует еще делать общего вывода, что известь везде и при всяких условиях повышает разложение перегноя (см. опыт П. А. Костычева в его книге «Почвы черноземной области» и П. С. Коссовича в «Журнале опытной агрономии», 1902 г.; см. также Lemmermann, «Landw. Jahrbücher», 1911 г.).

[2] Это установил Koch (1899 г.), далее Hiltner, Krüger и др.; для чернозема см. работы Коссовича (1904 г.) и Лебединцева (1917—1918 гг.). См. также сборник статей «Применение антисептиков в целях повышения урожайности» под ред. В. В. Бутневича, 1929 г.

Влияние известкования на интенсивность микробиологической деятельности в почве весьма отчетливо проявляется в тех случаях, когда в почву вносят повышенные дозы аммиачных солей. В процессе нитрификации аммиачного азота внесенной соли, например, $(NH_4)_2SO_4$, образуется азотная и освобождается серная кислота. Если почва кислая и обладает невысокой буферностью, то повышение кислотности под влиянием нитрификации начинает тормозить дальнейшую деятельность нитрификаторов. Введение извести, служащей нейтрализатором кислотности почвы (и кислот, освобождающихся в процессе нитрификации), в этих условиях сопровождается резким повышением деятельности нитрифицирующих микроорганизмов и накоплении в почве нитратного азота.

Вот данные одного из опытов, проведенного в нашей лаборатории на бедной подзолистой почве (Лесной дачи ТСХА).

В почву был внесен $(NH_4)_2SO_4$ из расчета 1 060 мг N на 1 кг почвы. Почва поддерживалась на протяжении всего опыта при благоприятных условиях в отношении температуры и влажности для развития биологических процессов. В определенные сроки был проведен учет накопившихся нитратов в зависимости от различных дозировок извести ($CaCO_3$). Результаты опыта оказались следующими:

Дозы $CaCO_3$ (в процентах от веса почвы)	Азот нитратов (в миллиграммах на 1 кг почвы)		
	Через 4 недели	Через 6 недель	Через 13 недель
0,0	14	8	17
0,1	18	11	62
0,2	30	54	169
0,4	209	242	493
0,8	358	556	986

Таким образом, без извести процесс нитрификации в данной почве шел крайне медленно. Чем больше доза внесенной извести, тем полнее и быстрее аммиак перерабатывается в нитраты. При наибольшей в опыте дозе извести (0,8%) накопление нитратов почти количественно отвечает азоту, внесенному в виде аммиачной соли.

Кроме нитрифицирующих бактерий, известь способствует развитию ряда форм бактерий, усвояющих азот воздуха, как таких, которые живут в клубеньках бобовых, так и свободно живущих фиксаторов свободного азота, как Azotobacter, который в кислой среде не развивается. Поэтому известкованные почвы с годами относительно обогащаются азотом, по сравнению с неизвесткованными кислыми почвами.

С другой стороны, известкование в ряде случаев может подавлять развитие микроорганизмов, паразитирующих на корнях культурных растений; таков грибок, вызывающий на кислых почвах заболевание килой у капусты и других крестоцветных (Plasmodiophora brassicae), «корнеед» у сахарной свеклы и др.

Кроме мобилизации азота, *известь может влиять и на те процессы в почве, от которых зависит снабжение культурных растений зольными элементами*,— именно и здесь известкование может способствовать переходу элементов потенциального плодородия почвы в элементы эффективного плодородия. Так, на почвах подзолистых известь способствует переходу фосфорной кислоты в более усвояемые соединения, что констатировано как путем анализа растений с известкованных и неизвесткованных делянок, так и путем прямого исследования почв с помощью слабокислотных вытяжек, так, наконец, и наложением восьмерной схемы на известкованном и неизвесткованном фоне.

При многолетних опытах замечается, что воздействие на фосфаты почвы проявляется постепенно и является длительным, в то время как воздействие на превращение азотистых веществ проявляется более быстро, но с годами раньше прекращается, чем действие на фосфаты почвы (опыты Аскинази и Ярусова в НИУ).

Эти факты еще не разъяснены во всех деталях, но намечаются две возможности их объяснения: во-первых, если в кислых почвах преобладают соединения фосфорной кислоты с железом и глиноземом, то такие фосфаты легче отдают

фосфорную кислоту в раствор в щелочной среде, чем в слабокислой (в отличие от фосфатов кальция); но если при умеренном известковании еще нельзя говорить о подщелочении, то самое изменение соотношения между R_2O_3 и кальцием в почве благоприятствует образованию фосфатов кальция за счет фосфатов железа и глинозема[1]; во-вторых, отщепление той части фосфора, которая связана с органическим веществом, также может усиливаться под влиянием известкования в связи с повышением количества водорастворимых органических веществ за счет нерастворимых и усиления разложения органических веществ микроорганизмами[2].

Наконец, если иметь в виду наличие в почве фосфорной кислоты в адсорбционно связанной форме, то при внесении извести, повышающаяся концентрация гидроксильного иона будет способствовать вытеснению поглощенного фосфатного иона и, следовательно, переходу его в более усвояемое состояние.

Менее четко выявлена роль известкования в мобилизации таких питательных элементов, как калий, магний и др. Однако в ряде работ имеются указания на то, что известь действует благоприятно на переход калия трудно растворимых минералов в более усвояемые формы.

Наряду с мобилизацией отдельных элементов в известных случаях *известь может и снизить подвижность некоторых из них*. Так, под влиянием известкования иногда обнаруживается недостаток бора для растений[3].

Подвижность фосфатов кальция при известковании может уменьшаться (переход однозамещенных фосфатов в двух-и трехосновные), при известных условиях (излишне высокой дозе извести) может начаться процесс денитрификации и т. д.

Переход некоторых элементов почвы в менее подвижные формы может иметь и положительное значение в том случае, когда речь идет о компонентах, оказывающих неблагоприятное влияние на культурные растения. Это относится прежде всего к *алюминию*[4], который более подвижен в кислой среде и на некоторых кислых почвах явно вредит растениям. Введение извести, сопровождающееся нейтрализацией кислотности почвы, одновременно снижает растворимость соединений Al и устраняет его вредное действие на растения.

---

[1] См. схему, приведенную на стр. 283. Интересно, что об этой борьбе между Fe и Ca за фосфорную кислоту писал еще в восьмидесятых годах П. А. Костычев. В период 1908—1912 гг. в нашей лаборатории анализом растений была доказана бо́льшая усвояемость фосфорной кислоты на известкованной почве, по сравнению с неизвесткованной. Из западной литературы последнего времени можно привести следующие примеры (работа Энгельса, 1936 г.).

Почва	pH	Усвоено P_2O_5 по Нейбауру		
		без извести	0,2 г CaO на 100 г почвы	0,4 г CaO на 100 г почвы
Почва № 1 (легкий суглинок)	4,0	1,2	1,9	5,2 мг
» № 2 (супесок)	4,2	1,9	1,9	6,4 »
» № 3 (тяжелый суглинок)	4,8	0,8	2,2	6,6 »
» № 4 (легкий суглинок)	4,9	7,2	10,1	11,7 »

Как видим, внесение 0,4 г CaO на 100 г почвы оказывало сильное влияние на усвояемость P_2O_5.

[2] На почвах насыщенных и богатых известью эти процессы идут достаточно интенсивно и без внесения добавочной извести (при подходящей температуре, влажности, наличии энергетического материала, питательных веществ и т. д.). Однако продукты разложения органического вещества будут неодинаковыми при кислой или нейтральной реакции. Здесь и нужно искать объяснения кажущемуся противоречию, что известь, с одной стороны, ускоряет разложение органического вещества, а с другой — во времени способствует образованию почв, богатых органическим веществом (например, черноземы).

[3] Было высказано предположение (Голубев) о том, что одной из причин этого явления может быть усиление биологических процессов в почве в результате известкования и усиление поглощения бора микроорганизмами.

[4] По некоторым данным, и к Fe (Кирсанов).

Все эти примеры иллюстрируют сложность и многосторонность тех изменений, которые вызывает известкование, и, конечно, они будут далеко не одинаковыми как на разных почвах, так и при различных количествах внесенной извести.

Но и этим еще не исчерпываются те многообразные изменения, которые вызывает известь в почве.

Необходимо отметить, что известь, *вступая в состав поглощающего комплекса, изменяет физические свойства коллоидов почвы* и вызывает коагуляцию иловатых частиц; поэтому она способна улучшать строение тяжелых глинистых почв, делая их менее связными и влагоемкими, более проницаемыми для воды и воздуха, и это также благоприятно для течения биологических процессов. В районах излишнего увлажнения известь, свертывая коллоиды, предохраняет почву от вымывания иловатых частиц и перегноя и разрушения поглощающего комплекса, которое связано с ухудшением структуры и обеднением почвы (подзолообразовательный процесс).

Насколько сильно известь действует на физические свойства тяжелых почв, Hilgard демонстрировал таким опытом: он брал глину и делал кирпичики как из чистой глины, так и из глины с примесью извести (0,5—1%); после высушивания он ронял их с определенной (одинаковой) высоты, при этом кирпичики с известью рассыпались, а из чистой глины не разбивались. Это понижение связности тяжелых почв после прибавления извести облегчает их обработку. По опытам, проведенным в Ротамстеде, известкование тяжелой глинистой почвы уменьшало тягу при работе плуга на 18—20%.

Наоборот, почвы даже наилучшей структуры при удалении кальция становятся клейкими и вязкими, при высыхании дают очень твердую сплошную массу, наподобие солончаков, в которых поглощенная известь замещена натрием, поэтому приходится заботиться о внесении извести не только тогда, когда почва бедна основаниями (подзолы), но и тогда, когда она содержит много нежелательного основания (Na) в поглощенной части; такое вхождение натрия в поглощающий комплекс происходит, например, когда морская вода заливает культурные площади при прорыве плотин (Голландия) или, в не столь резкой форме, при излишне частом удобрении низкопроцентными калийными солями, богатыми NaCl. Во всех этих случаях одно промывание водой (дождем) не помогает, ибо оно удаляет только свободный NaCl, не удаляя Na, заместившего Ca в поглощающем комплексе (что характерно и для природных солончаков), и нужно вновь вводить известь, способную вытеснить Na*.

Количество извести для поддержания нормальных свойств почвы в разных случаях бывает весьма различным. Чем сильнее развита коллоидная часть почвы, тем больше должно быть в ней извести, чтобы удержать коллоиды почвы в свернутом состоянии. Если прежде пытались дать общие нормы, утверждая, что для песчаных почв достаточно содержания кальция в 0,1%, а для глинистых нужно, по крайней мере, 1%, то эти прежние указания стали слишком грубыми теперь, когда можно исходить из емкости поглощения и степени насыщенности каждой почвы основаниями. Если в поглощающем комплексе нет натрия, то те количества кальция, которые необходимы для устранения кислотности, обычно достаточны и для придания почве желательных физических свойств.

Наряду с отмеченными сторонами воздействия извести на почву *в некоторых случаях может играть роль и прямое значение кальция для некоторых растений*, отличающихся повышенной потребностью в нем, по сравнению с хлебными злаками. Последние отличаются весьма низким содержанием извести в зернах (около 0,06%), а если в соломе кальция и больше (около 0,26% CaO), то этот кальций возвращается обратно в почву вместе с навозом; а так как, кроме того, в поглощающем комплексе культурных почв кальций является преобладающим

* Подробнее об улучшении почв, содержащих в поглощающем комплексе Na, см. ниже («Гипс» стр. 419).

элементом, то мало вероятно, чтобы для хлебов встретился случай прямого недостатка кальция. Но иначе может стоять дело для других растений, если их урожай уносит гораздо больше извести; приблизительно можно разделить в этом отношении культурные растения на такие группы по выносу извести (CaO) (при урожаях порядка 20—30 ц зерновых, 200—300 ц корне- и клубнеплодов, 40—80 ц сена трав и 500—700 ц капусты):

I 20—40 кг	II 40—60 кг	III 60—120 кг	IV 120—250 кг	V 300—400 кг
Рожь Пшеница Ячмень Овес	Горох Вика Фасоль Лен	Кукуруза Люпин Картофель Кормовая свекла Сахарная свекла	Клевер Табак Рапс Люцерна	Капуста

При таких различиях естественно, что, например, люцерна (дающая к тому же по нескольку укосов в лето) может испытывать недостаток извести там, где рожь его не испытывает, и в объяснении того факта, что люцерна не удается на бедных почвах, видная роль должна принадлежать ее высокой потребности в извести. (Это относится и к песчаным почвам и к подзолам, но в последнем случае одновременно играет роль и реакция почвы.)

Нужно отметить, что из сопоставления данных о количестве извести, уносимой урожаем, нельзя заключать об отношении растений к реакции почвы и известкованию. Так, например, люпин, уносящий значительно больше извести, чем ячмень, переносит кислотность почвы гораздо лучше ячменя, а известкование выносит плохо. Также и в случае льна с известкованием приходится быть осторожным, хотя он уносит кальция больше, чем овес, и кислотность почвы переносит хуже последнего.

ПРИЗНАКИ ПОЧВ, БЕДНЫХ ИЗВЕСТЬЮ И БОГАТЫХ ЕЮ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ИЗВЕСТКОВАНИИ

Так как не только культурные растения, но также и дикорастущие формы (даже с еще большей амплитудой) предъявляют разные требования к реакции почвы и содержанию в ней извести, то до известной степени уже по ним можно судить, нуждается ли почва в известковании. «Там, где растет дуб, бук, акация, шиповник, ежевика, известкование не нужно»; наоборот, щавель и осоки («кислые злаки») указывают на недостаток извести; Rumex acetosella, Spergula arvensis, Chrysanthemum segetum, виды Agrostis, способные обходиться малым количеством извести (или переносить кислую реакцию почвы), вытесняют в таких случаях другие растения, более нуждающиеся в извести; продолжение того же ряда представляют ситники, осоки, хвощи, мхи, вереск; внесение извести вытесняет эту флору, давая толчок к развитию клеверов и настоящих («сладких») злаков.

Такие наблюдения могут дать ценные указания, но нужно иметь в виду, что нельзя взять, например, опыт Швейцарии и перенести его на Алтай или в Саяны, потому что выводы являются верными только в пределах одной климатической зоны. «То же самое растение во влажном климате удается на сухом известняке, которого оно в сухом климате избегает. В центре своего ареала, в оптимальных для него климатических условиях часто то же растение встречается на разных почвах, успешно конкурируя с другими, а на периферии занимаемой им области, вследствие меньшей конкурентоспособности, при неблагоприятных климатических условиях, оно поселяется только на наиболее подходящих для него почвах, и тогда оно становится хорошим показателем почвенных особенностей» (Шретер).

В пределах одной климатической области распространение сорной флоры обнаруживает определенную связь с реакцией почвы; так, для Северной Европы (Норвегия) Нильсон наблюдал такие распределения отдельных растений (в процентах) в связи с определениями pH:

Растения	Распределение отдельных растений (в процентах) при величине pH, равной					
	<5,0	5,0—6,0	6,1—6,5	6,6—7,0	7,1—7,5	>7,5
Viola tricolor	55	28	17	—	—	—
Gnaphalium silvaticum	31	46	23	—	—	—
Potentilla argentea	—	47	53	—	—	—
Rumex acetosella	42	38	18	2	—	—
Alchemilla arvensis	34	16	31	19	—	—
Scleranthus annuus	54	23	17	6	—	—
Spergula arvensis	50	22	22	6	—	—
Chenopodium album	57	20	8	3	6	6
Achillea millefolium	7	21	22	13	20	17
Cirsium arvense	5	9	11	17	29	30
Stellaria media	7	4	10	15	34	30
Sinapis arvensis	—	—	18	16	30	36
Plantago major	4	4	9	18	37	28
Galium aparine	—	—	11	22	56	11
Sonchus arvensis	6	3	3	17	32	39
Convolvulus arvensis	3	6	2	15	30	44
Atriplex patula	3	1	5	10	37	44
Medicago lupulina	—	1	—	5	63	31
Lamium purpureum	—	—	12	38	50	—

При распознавании свойств еще не обращенных в культуру пространств дикая флора может обнаруживать резкие отклонения от нейтральной реакции; примером такого распределения по оттенкам кислотности служат (Финляндия, Kotilainen):

Растения	Распределение отдельных растений (в процентах) при величине pH, равной:			
	< 3,6	3,6—4,0	4,1—4,5	4,6—5,0
Carex globularis	69	31	—	—
Ledum palustre	84	11	—	—
Vaccinium vitis idaea	85	8	—	—
Calluna vulgaris	70	10	20	—
Eriophorum vaginatum	62	18	15	1,7

Развитие культурных растений также может до некоторой степени служить показателем состояния кислотности почв (или, наоборот, богатства ее известью). В качестве примера можно привести следующие данные Леммермана, полученные на запольном участке, где отдельные части площади сильно засорялись шпергелем и при исследовании почва на них оказалась кислой; был поставлен опыт с разными растениями, притом так, что полоса с каждым растением проходила через части поля с разной кислотностью и можно было наблюдать влияние извести на разные растения на фоне различной кислотности. Приведем урожаи разных культур (вес растений в граммах) на пробных квадратах (1 м²) в зависимости от реакции почвы (без внесения извести).

Урожай	Части полосы и pH почвы (в KCl)					Урожай № 5 в процентах от № 1
	1	2	3	4	5	
	6,3 pH	5,3 pH	4,7 pH	4,2 pH	4,0 pH	
Овса	741	—	740	529	449	61
Ржи	905	827	622	622	460	51
Пшеницы	640	507	402	392	250	39
Ячменя	—	570	552	348	402	18
Люцерны	181	127	—	36	0	0

Здесь (и это можно считать общим правилом) проявилась наименьшая чувствительность к кислотности у овса и ржи, наибольшая (среди хлебов)—у ячменя, пшеница стоит посередине. Люцерна вообще плохо развивалась на данной почве, и при pH=4,0 она выпадала совершенно, но достаточно было дать 1 т извести на 1 га, чтобы получить хороший травостой люцерны. Кроме приведенных в таблице, имеются наблюдения для картофеля, который, подобно овсу, проявлял стойкость по отношению к кислотности почвы, не отмирал (хотя и страдал) даже при pH=3,5; люпин и сераделла росли хорошо на делянках с наиболее кислой почвой, причем картофель и люпин в этих случаях отзывались очень хорошо на умеренное известкование, а сераделла даже не реагировала на него.

Для качественного суждения о степени потребности почвы в извести можно еще пользоваться, по предложению Митчерлиха, постановкой упрощенных разведочных опытов, даже не взвешивая урожаев, а прибегая к глазомерной оценке результатов. Рельефность их достигается, во-первых, выбором двух растений разной чувствительности к кислой реакции (горчица и овес), а во-вторых, созданием трех оттенков реакции с помощью соответственного набора удобрений, а именно на делянку в 1 м² вносится (в граммах):

1 Кислое удобрение	2 Слабощелочное удобрение	3 Удобрение повышенной щелочности
$(NH_4)_2SO_4$ 30	$Ca(NO_3)_2$ 40	$Ca(NO_3)_2$ 40
суперфосфата 60	томасшлака 60	томасшлака 60
		извести 200

Для того чтобы вести запись и иметь возможность сравнивать показания разведочных опытов в разных частях поля, прибегают к пятибалльной оценке состояния растений на разных делянках. Так как горчица представляет растение очень чувствительное к кислотности, а овес мало чувствителен, то комбинация их может позволить сделать то или иное заключение; если, например, страдает только горчица и то только на первой делянке, то можно обойтись без известкования, только не следует применять под горчицу (клевер и т. п.) на данной почве кислых удобрений; если же горчица страдает и на первой и на второй делянках, то для нее (и клевера) необходимо известкование, но для овса (и картофеля) можно обойтись, может быть, только применением щелочного набора удобрений, если сравнение показаний первой и второй делянок говорит в пользу второй.

Метод Митчерлиха может быть видоизменен; так, например, у нас на севере интересно взять ячмень вместо горчицы, а к овсу подсеять клевер, так как клевер даже в первом году жизни может обнаруживать большие различия, тогда как на овсе они незаметны.

Если нет селитры и томасова шлака, то можно создать несколько оттенков реакции даже при том же источнике азота (например, сернокислом аммиаке) несколькими оттенками в дозировке извести (например: 0, 100, 200 и 300 г $CaCO_3$).

Было сделано много попыток установления тех границ актуальной кислотности (pH), при которых могут развиваться различные растения, и оптимального интервала pH для каждой культуры.

Для кожных культур, а также представителей древесной растительности наблюдается весьма широкая амплитуда pH, как это можно видеть из следующих данных (по Фагедеру):

Культуры	Нижняя граница роста	Оптимум	Верхняя граница
Хлопчатник	4,5	6,5—9,0	9,5
Чайный куст	2,3	4,8—6,3	7,5
Кофейное дерево	3,5	5,5—7,5	8,5
Агава	4,5	6,5—8,9	10,0
Люцерна	5,0	7,2—8,5	9,5—10,0
Бук	3,6	4,2—8,2	8,5
Дуб	—	4,5—7,5	8,5
Сосна	2,8	4,0—8,2	8,5

Так как у разных авторов нормы pH для разных растений не тождественны, то приведем здесь для сравнимости по тому же источнику соответственные данные для обычных у нас культур:

Культуры	Нижняя граница роста	Оптимум	Верхняя граница
Пшеница и ячмень	4,0	6,5—7,0	9,0
Овес	3,5	5,0—6,0	9,0
Картофель	3,5	5,2—7,2	8,5
Кормовая свекла	4,0	5,8—7,5	9,0
Конопля	4,5	6,5—8,4	9,5
Кукуруза и просо	4,0	6,5—8,5	9,5
Клевер	4,0	5,8—7,0	8,5
Люпин	3,5	4,0—6,0	7,5

Таким образом, *определение pH может давать известные указания на потребность почвы в извести* для того или другого растения, однако, как и в случае пользования показаниями дикой флоры, нельзя те же самые нормы pH переносить на почвы разных типов—нужно учитывать местный опыт и устанавливать показателя для данной почвенной разности.

Рис. 48. Влияние алюминия на развитие растений. Опыт с яровой пшеницей в водных культурах.

Первая доза алюминия (Al_1) составляет 2 мг *Al* на литр питательной смеси, в вторая доза (Al_2)—8 мг Al на литр. Как видно из рисунка, пшеница резко снижает урожай от присутствия алюминия в питательной среде.

Относительность значения показания pH зависит от того обстоятельства, что концентрация ионов водорода является очень важным, но не единственным фактором, определяющим отношение растения к почвенному раствору; концентрация других ионов (особенно Ca) может смягчить влияние концентрации ионов водорода (см. сказанное выше, стр. 70, о влиянии $CaSO_4$ и $CaCl_2$ на отношение растений к кислотности).

Поэтому в опытах наблюдались случаи разного отношения того же растения к той же самой реакции (например, pH = 4,0), смотря по тому, была ли эта реакция свойственна первичной почве или она поднята была умеренным известкованием с 3,5 до 4,0 pH. Во втором случае вред от кислотности был значительно меньшим. С другой стороны, наличие подвижного алюминия в почвенном растворе, как спутника ионов водорода в кислых почвах, будет способствовать увеличению страдания растений при кислой реакции.

В опытах, проведенных в нашей лаборатории Голубевым (с рядом сотрудников) с искусственной установкой различных ступеней pH на разных почвах, результаты были весьма различными; именно на черноземе и вообще на почвах с сильно-

развитым поглощающим комплексом и большой насыщенностью растения переносили искусственное подкисление до pH = 4,2 почти безнаказанно, тогда как на подзолах при этой реакции одни растения сильно страдали, другие же, как горчица, совершенно погибали[1]. Такое неодинаковое отношение растений к реакции среды на разных почвах может быть обусловлено как различным содержанием кальция в почвенном растворе, так и наличием (или отсутствием) подвижного алюминия.

Количество Al в почвенном растворе (при pH около 5,5 и ниже) зависит от реакции почвы (чем ниже pH, тем больше Al) и свойств ее подзолистой части. Замечено, что в почвах с узким отношением $SiO_2 : R_2O_3$ в подзолистой части содержание алюминия нарастает быстрее (при меньшем подкислении) и количество его больше, нежели в почвах с большим преобладанием ацидоидной части (широкое отношение $SiO_2 : R_2O_3$).

Вредное влияние Al на развитие растений, в свою очередь, зависит от вида растения. Такие культуры, как сахарная свекла, пшеница, ячмень, лен, клевер, весьма чувствительны даже к ничтожным количествам Al, тогда как овес, люпин, гречиха переносят и много большие количества (рис. 48, 49, 50, 51).

Рис. 49. Влияние алюминия на развитие растений. Тот же опыт, что и на рисунке 48. Показано влияние алюминия на развитие корневой системы яровой пшеницы.

При нейтрализации почвы известью попутно (как следствие подщелочения) осаждается и Al в виде $Al(OH)_3$ и его вредное действие исключается. Поэтому при решении вопроса о необходимости известкования той или иной почвы может иметь значение не только ее реакция, но и содержание подвижного алюминия. Это особенно существенно в тех случаях, когда в севооборот вводятся чувствительные к алюминию растения (продвижение на север сахарной свеклы, пшеницы, развитие клеверосеяния в льняных районах и т. д.).

В настоящее время наиболее широко *для первоначальной рекогносцировки* состояния почвенной кислотности в связи с известкованием пользуются показаниями pH *солевой вытяжки* (в растворе KCl). В солевую вытяжку из почвы переходят частично и ионы водорода и подвижный Al, также обусловливающий кислую реакцию вытяжки (вследствие гидролиза $AlCl_3$).

Обычно принято считать, что при pH солевой вытяжки $< 4,5$ почва сильно нуждается в известковании, при pH, лежащем между 4,5—5,5, потребность в известковании слабее, при pH $> 5,5$ известкование является ненужным.

Однако более надежное суждение о состоянии кислотности почвы и ее отзывчивости на известкование может быть сделано, если в дополнение к определению pH солевой вытяжки (которое может быть выполнено даже прямо в поле) устанавливается путем анализа образцов почвы в лаборатории *степень насыщенности почвы основаниями* (см. стр. 155). Для этого определяют сумму поглощенных оснований (S)* и гидролитическую кислотность (H) и затем рассчи-

[1] См. «Удобрение и урожай», 1930, статья Д. Н. Прянишникова.

* Ввиду того значения, какое придается величине S и отношению $\frac{S}{S+H}$ в практике определения потребности почв в извести, вместо длительного определения поглощенных

тывают степень насыщенности почвы основаниями (V) в процентах, по формуле:

$$V = \frac{S \cdot 100}{S + H}.$$

Величина V характеризует в известной мере состав поглощенных катионов почвы и показывает, насколько далеко зашел процесс обеднения ее основаниями.

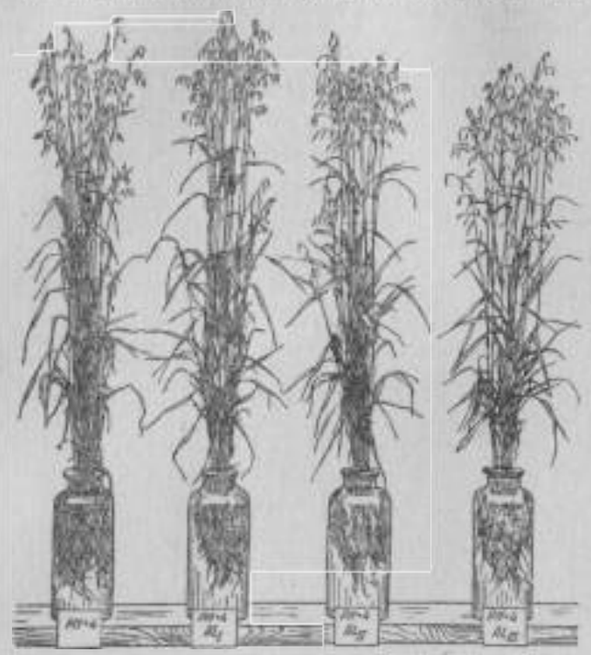


Рис. 50. Влияние алюминия на развитие растений. Опыт с овсом. Доза Al на литр раствора:

Al_I—3 мг, Al_{II}—4 мг, Al_{III}—6 мг. При указанных дозах в надземная часть и корневая система овса мало страдают от Al (но при дальнейшем увеличении доз, как показывают опыты, страдает и овес).

Соответственно этому, для суждения о потребности почв в известковании принимают, например, деление почв в этом отношении на такие три группы:

1-я группа—насыщенность меньше 50% (почвы сильно нуждаются в известковании);

2-я группа—насыщенность 50—70% (почвы мало нуждаются в известковании; в зависимости от величины pH в солевой вытяжке, присутствия подвижного алюминия и т. д. возможно дальнейшее подразделение на подгруппы);

3-я группа—насыщенность выше 70% (почвы, как правило, не реагируют на известкование).

Поэтому, если при одном и том же значении pH солевой вытяжки две почвы имеют разную величину степени насыщенности основаниями, то из них больше нуждается в известковании та почва, которая имеет меньшую степень насыщенности (V), например:

pH солевой вытяжки:	5,0—5,5	5,0—5,5
Степень насыщенности (V)	55 %	75 %
Нуждаемость в известковании	Средняя	Слабая

На почвах тяжелых по механическому составу положительное действие извести обычно проявляется, начиная с более высоких значений степени насыщенности основаниями; поэтому при суждении о потребности в известкова-

оснований путем вытеснения их растворами нейтральной соли (для чего требуется повторное промывание и анализ суммы фильтратов) Каценом предложен упрощенный способ. Он основан на следующем: если обработать почву раствором слабой соляной кислоты такой концентрации, которая не разрушает поглощающего комплекса, а отнимает только поглощенные основания, то эти последние нейтрализуют часть соляной кислоты в их сумме (при отсутствии в почве $CaCO_3$) определяется простым титрованием этой солянокислой вытяжки.

ния следует принимать во внимание и механический состав почв (суглинки, супеси и пр.)

Кроме свойств почвы, для правильного решения вопроса о целесообразности известкования надо считаться и *с особенностями отношения к кислотности почвы и к известкованию разных растений*. Как уже было сказано, чувствительность к кислотности (также и к наличию в почве подвижного алюминия) у разных культурных растений далеко не одинакова. Соответственно этому и отзывчивость их на известкование может сильно различаться. Так, например, при посещении Менделеевского опытного поля в 1926 г. нам пришлось наблюдать такую картину: овес на делянках с известью и без извести на-глаз не показывал разницы в росте, а подсеянный под овсом клевер обнаруживал резкий контраст—без извести его почти не было, а при извести он дал пышный подсед. Плохой рост клевера на кислых подзолистых почвах является одним из весьма существенных

Рис. 51. Влияние алюминия на развитие растений. Опыт с сахарной свеклой в водных культурах.

Схема опыта: *1*—pH=6,0; *2*—pH=5,0; *3*—pH=5,0, внесено 2 мг Al на литр; *4*—pH=5,0, внесено 4 мг Al на литр; *5*—pH=5,0, внесено 6 мг Al на литр. Как видно из рисунка, сахарная свекла весьма чувствительна к присутствию Al в питательной среде.

мотивов при решении вопроса об известковании, ибо для того, чтобы клевер проявил в полной мере свою роль азотособирателя и фактора улучшения физических свойств почвы, надо, чтобы он давал хорошие урожаи.

Но наряду с культурами, весьма положительно реагирующими на известкование, в севообороте могут присутствовать и такие растения, которые не только лучше переносят кислотность почв, но и к известкованию часто относятся отрицательно (особенно при внесении больших доз извести). К таким культурам следует отнести прежде всего картофель, люпин и лен[1]. При наличии большого процента площади, занятой в севообороте этими культурами, приходится более осторожно подходить к проведению такого мероприятия, как известкование. Поэтому при прочих равных условиях известкование следует проводить в первую очередь там, где посевы картофеля, люпина, льна не занимают большого процента в составе культур севооборота[2].

В итоге можно наметить такую примерную группировку нуждаемости в известковании, учитывающую: 1) показатели состояния почвенной кисло-

[1] Примеры, иллюстрирующие особое отношение таких культур к известкованию, см. ниже.

[2] Тогда они легко могут быть размещены на тех участках, которые не были заизвесткованы, чего нельзя сделать, если, например, картофель или лен занимают полное поле севооборота.

ности (pH солевой вытяжки и V), 2) механический состав почв и 3) состав культур севооборота[1].

pH солевой вытяжки	При степени насыщенности почв основаниями		Нуждаемость в известковании	
	для более легких почв	для более тяжелых почв	при севооборотах с малым процентом картофеля, льна, люпина	при севооборотах с большим процентом картофеля, льна, люпина
до 4,5	—	—	Нуждаются	Нуждаются
4,5—5,0	—	—	»	Слабо нуждаются
5,0—5,5	До 60%	До 75%	»	» »
5,0—5,5	Более 60%	Более 75%	Слабо нуждаются	Не нуждаются
Выше 5,5	—	—	Не нуждаются	» »

Понятно, что подобные группировки могут служить лишь для общей ориентации при решении вопроса об известковании и подлежат уточнению в зависимости от местных условий, в частности, на основе проведения полевых опытов с известкованием. Так, например, ряд данных относительно действия известковых удобрений на выщелоченных черноземах и серых лесных землях (при наличии в севообороте таких культур, как сахарная свекла, люцерна, озимая пшеница), указывает на то, что даже при степени насыщенности этих почв в 75—80% известкование может быть все же целесообразным, хотя, конечно, и не столь актуальным мероприятием по сравнению со значением его для кислых почв подзолистой зоны.

О ДОЗАХ ИЗВЕСТИ

Правильное решение вопроса о дозах известковых удобрений имеет для успеха известкования не меньшее значение, чем установление того, на каких именно полях (в зависимости от свойств почв и состава культур севооборота) вообще следует проводить известкование.

Когда не знали смысла известкования и не были известны основные факты относительно питания растений, то часто не понимали, что известкование не является аналогом навозного удобрения и что скорым повторением его или даже однократным внесением большого избытка извести можно принести вред, притом не на один год. В эти годы и создалась на Западе злополучная поговорка о том, что известь обогащает отцов, но разоряет детей, возникновение которой до последнего времени объясняли тем, будто повышенные от действия извести урожаи истощали почву и от этого урожаи упали. На самом же деле тут причина

[1] Эта группировка в качестве ориентировочной предложена лабораторией извести ВИУАА (Кедров-Зихман, Ярусов) для подзолистых почв, не содержащих карбонатов на глубине до 100—125 см.

Для почв же, горизонт вскипания у которых находится выше 100—125 см, дается несколько иная группировка, а именно:

pH солевой вытяжки	При степени насыщенности почв основаниями		Нуждаемость в известковании	
	для более легких почв	для более тяжелых почв	при севооборотах с малым процентом картофеля, льна, люпина	при севооборотах с большим процентом картофеля, льна, люпина
До 4,5	—	—	Нуждаются	Нуждаются
4,5—5,0	До 60%	До 70%	»	Слабо нуждаются
4,5—5,0	Более 60%	Более 70%	Слабо нуждаются	Не нуждаются
5,0—5,5	До 60%	До 70%	» »	» »
5,0—5,5	Более 60%	Более 70%	Не нуждаются	» »
Выше 5,5	—	—	» »	» »

зависит вовсе не в истощении, ибо избытком извести можно надолго испортить почву, даже не взяв с нее ни одного урожая.

При наших вегетационных опытах обнаружилось (начиная с 1897 г.), что если ставить опыты по отзывчивости почв к известкованию, то нельзя ограничиваться для всех почв какой-нибудь одной дозой извести (например, 0,2% от веса почвы, что отвечает для минеральных почв 6 т на 1 га, если смешение производится со слоем почвы в 20 см), так как для одних почв это количество может быть оптимальной дозой, для других—недостаточным для достижения наибольшего эффекта (не говоря пока об экономической стороне), а для третьих может быть уже избыточным. Поэтому при последующих опытах мы брали для каждой почвы известную градацию доз (например, 0,1%, 0,25%, 0,5% и 1% извести от веса почвы); тогда обнаружилось, что нередко те именно почвы, которым наиболее недостает извести и на которых умеренные дозы ее (0,1—0,25%) оказывают значительное действие, легко страдают от повышения дозы (до 0,5—1%); таковы, например, заболоченные и оподзоленные почвы севера, для которых согласные данные получены были затем П. С. Коссовичем, таковы же, по данным западно-европейским, моховые торфяники.

Наоборот, в опытах с деградированным черноземом, не столь сильно реагирующим на первые дозы извести, большие дозы ее (до 1%CaO) переносились без вреда для растений. Вот пример из наших опытов 1901—1904 гг. (урожай в граммах):

Культура и почвенные условия	Без CaO	0,25% CaO	0,5% CaO	1% CaO
Пшеница на черноземе	8,0	9,0	13,8	19,6
Овес на заболоченном суглинке	9,1	16,6	20,2	8,1
То же, другой опыт	27,8	35,2	15,9	5,6
Ячмень на заболоченном суглинке	11,9	21,8	12,8	10,0

Теперь понятно, что внесение одинаковых доз (в процентах от веса почвы) должно оказывать неодинаковое действие на разных почвах, так как при этом не учитываются размеры кислотности почвы; одна и та же весовая доза извести может в одном случае отвечать какой-то части обменной или гидролитической кислотности, а в другом случае значительно ее превышать.

Вред избытка сказывается не только при внесении CaO, но и при внесении $CaCO_3$; промывание почвы в опытах Коссовича и Альтгаузена не устранило вреда от избытка извести.

Так как в опытах Коссовича наблюдалось, что смесь $CaCO_3$ и $MgCO_3$ переносилась растениями в больших количествах, чем $CaCO_3$ и $MgCO_3$ порознь[1], то возник вопрос, не имеем ли мы здесь случая проявления так называемого *антагонизма оснований*. Дело в том, что преобладание одного основания в питательной смеси может быть вредно даже при таких абсолютных количествах этого основания, которые хорошо переносятся растениями при известном равновесии между основаниями. Например, то количество магния (все равно, в виде какой соли), которое нужно растению для полного развития в водных культурах, оказывается вредным, если устранить соли других оснований. Это видно из того, что растение в таком растворе соли магния будет развиваться хуже, чем в дистиллированной воде; уже введение одного кальция обезвреживает магний (O. Loew); дальнейшие исследования (J. Loeb, Osterhout и др.) показали, что эти явления можно наблюдать почти на каждой паре катионов с той разницей, что разные основания обладают разной степенью вредного (токсического) и защитного действия; так, магний проявляет более сильное токсическое дей-

[1] Такие же наблюдения были позднее сделаны Гедройцем, а в последнее время ряд новых данных в этой области получен в опытах О. К. Кедрова-Зихман и сотрудников (см. О. К. Кедров-Зихман: «Состав поглощенных катионов подзолистых почв и культурные растения»—статья в сборнике «Почвенный поглощающий комплекс и вопросы земледелия», М., 1937, стр. 188. Его же: «Результаты научно-исследовательской работы в области известкования» в сборнике «Известкование почв», ВАСХНИЛ, М., 1939).

ствие, чем кальций, а защитное, наоборот, у кальция сильнее, чем у магния. Однако все эти различия проявляются в количественных соотношениях, в принципе же каждый катион может проявлять в большей или меньшей мере и токсическое и защитное действие.

В подтверждение того объяснения, что при избытке извести вредным является излишнее преобладание иона кальция над всеми другими, приводится факт, что иногда внесение значительных количеств калийных солей может смягчать вред, вызванный избытком известкования (попытка обобщения этих явлений сделана была Эренбергом в его статье «Kalk-Kali-Gesetz»)[1].

Однако постепенно выяснилось, что мы имеем дело с более сложным комплексом явлений; если антагонизм оснований и должен быть принимаем во внимание, то, кроме того, на почвах с малой буферностью известь уже при небольшом избытке вызывает щелочную реакцию, а эта последняя в тех пределах, когда она еще переносится растением без особенного вреда, так влияет на ход биологических процессов в почве, что эти последние дают продукты, вредные для высших растений. Так, сначала на торфяных почвах наблюдалось явление денитрификации и накопление нитратов (при внесении селитры), но затем опыты, проведенные в лаборатории автора (Бобко, Голубевым и Тюлиным), показали, что на минеральных почвах (например, на легких песчаных) повышение реакции до pH=8,0 вызывает бурное течение биологических процессов, в результате которых почвенный раствор обогащается аммиаком (иногда нитратами) и растворимыми соединениями кальция (бикарбонат, нитрат, нитрит); на почвах же более тяжелых, с большой поглощающей способностью, в которых аммиак в растворе не накоплялся, та же самая степень щелочности (pH=8,0) переносилась растениями без всякого вреда. Но нельзя отрицать и случаев, когда вредит накопление в растворе иона кальция; так, в опытах Голубева с люпином были случаи, когда вред от избытка кальция скорее наступал при внесении $CaCO_3$, чем при внесении CaO, что, повидимому, зависит от выделения CO_2 (в первом случае) под влиянием кислотности почвы и обогащения раствора $Ca(HCO_3)_2$, тогда как во втором случае CaO давал малорастворимые соединения с почвенными ацидоидами.

Также и положительное действие CaO и $CaCO_3$, в большинстве случаев близкое, на некоторых почвах оказывается неодинаковым (северный Урал).

В последнее время выяснилась и еще одна сторона действия извести: при избыточном известковании растения начинают страдать от недостатка бора, и внесение бора оказывает в этих случаях разительное действие.

Так как главной целью известкования являются нейтрализация почвенной кислотности и введение кальция в поглощающий комплекс, то ясно, что размеры ненасыщенности почвы, *величина гидролитической (или обменной) кислотности должна служить прежде всего основанием для правильного установления дозы извести.*

Концентрация ионов водорода в почвенном растворе, о которой мы судим по определению pH водной вытяжки (или водной суспензии), сама по себе не может указать количество извести, потребной для устранения кислотности почвы, так как наибольшее количество водорода находится не в растворе, а в твердой фазе, в поглощающем комплексе почвы; поэтому если мы хотим сделать почву нейтральной, то, казалось бы, решение найти очень просто: нужно определить обменную кислотность почвы, т. е. то количество водорода, какое могут вытеснить нейтральные соли.

В лаборатории это сделать нетрудно, промывая почву раствором $BaCl_2$ или KCl и титруя фильтрат или применяя прямое титрование щелочью до того или иного pH (кривые титрования для каждой почвы); но в то время как мы в лаборатории обрабатываем небольшие навески почвы жидкостью, смачивающей все частицы, в поле мы смешиваем с почвой очень грубо, насколько это можно сделать с помощью плуга и бороны, молотый известняк (притом

[1] Landw. Jahrbücher, LIX, 1919.

не идеальной тонкости помола); естественно, что то количество оснований, какое в лабораторном опыте совершенно устраняет обменную кислотность, в поле оказывается недостаточным и даже надбавка на 30—50% оказывается обычно недостаточной, особенно в первый год; впоследствии, благодаря образованию в почве $Ca(HCO_3)_2$ и передвижению последнего с водой, кислотность почвы уменьшается. Это является одной из причин, по которым действие извести часто проявляется не в первый год, а только на второй и следующие годы. В одном из опытов Каппена, после внесения извести, по расчету обменной кислотности (с 30% надбавкой) обнаружились такие изменения:

	До опыта	1-й год	2-й год	3-й год
Обменная кислотность	12,5	7,0	2,4	1,8
pH	4,42	4,76	5,63	5,40

Таким образом, внесение извести по лабораторному определению обменной кислотности является обычно недостаточным и служит лишь низшим пределом, к которому нужна какая-то прибавка на условия внесения извести в поле[1], но для суждения о размерах прибавки полезно знать верхний предел, который не должен быть перейден (а иногда и не должен быть достигаем). Этот верхний предел устанавливается определением гидролитической кислотности почвы, т. е. учетом не только того водорода, который замещается при нейтральной реакции, но и того, который замещается при слабощелочной реакции, например, до pH = =8,2*. Такая реакция встречается в почвах, содержащих $CaCO_3$ [тогда под влиянием углекислоты раствор обогащается $Ca(HCO_3)_2$], но такой реакции на деле не создается при внесении $CaCO_3$ по теоретическому расчету на гидролитическую кислотность по тем же причинам, которые раньше были отмечены (грубость измельчения и смешения в поле по сравнению с лабораторным опытом). Чаще всего при внесении извести по гидролитической кислотности создается реакция в первый год около 6,0—6,5 pH, и в ближайшие затем 3—4 года она вряд ли может превысить pH=7,0, а затем начнется постепенное снижение pH вследствие выноса кальция дождевыми водами в подпочву.

Сказанным объясняется, почему часто пользуются определением гидролитической кислотности, чтобы, исходя из нее, подсчитать количество извести, потребное для должного насыщения почвы кальцием без риска излишне обогатить раствор $Ca(HCO_3)_2$.

Однако если в большинстве случаев можно прибегать к *определению гидролитической кислотности как мерке для количества потребной извести*, то *все же приходится делать исключения из этого правила для некоторых почв*. Так, *моховые торфяники*, обладающие большой гидролитической кислотностью, которая может превышать в 2—3 раза обменную кислотность, нужно известковать более умеренными дозами, равными, например, половине гидролитической кислотности (или в качестве отправной точки брать обменную кислотность с тем или иным коэфициентом). Весовое выражение для норм извести на единицу площади (тонн на гектар) в случае торфяников является вообще пониженным еще и по другой причине, именно вес пахотного слоя торфяных почв гораздо ниже, чем в случае почв минеральных (вместо 3 000 т, в зависимости от степени заболачивания, наблюдается снижение веса 20-сантиметрового слоя до 1 500—1 000 и 500 т; для моховых торфяников встречаются и еще более низкие цифры). Поэтому тот же процент извести от веса почвы отвечает для торфяных почв гораздо меньшему количеству при пересчете в абсолютные цифры на гектар.

[1] В Дании принято умножать показание такого определения на *три*, но этот эмпирический коэфициент приспособлен к тому материалу (мергелю определенных свойств), которым там широко пользуются при известковании; в зависимости от тонкости измельчения и тщательности распределения материала величина такого «полевого коэфициента» может меняться.

* Близкую к этой реакцию имеют растворы уксуснокислого натрия и кальция, применяемые для определения гидролитической кислотности.

Кроме особенностей почв, *при установлении доз извести* (так же как и для суждения о необходимости известкования вообще) *приходится считаться с особенностями растений;* здесь опять-таки некоторую осторожность приходится соблюдать при наличности в севообороте льна, картофеля и люпина.

В качестве примера, иллюстрирующего иное отношение к известкованию льна и картофеля по сравнению с хлебами и клевером, приведем данные опытов НИУ на трех опытных полях—Долгопрудном (среднеоподзоленный суглинок), Крюковском (более тяжелый суглинок) и Люберецком (легкая супесчаная почва). В таблице приведены суммарные прибавки[1] урожая в зерновых единицах для зерновых и клевера за весь севооборот (в центнерах на гектар) при разных дозах $CaCO_3$.

Опытные поля	Доза $CaCO_3$* (в тоннах на 1 га)						Суммарный урожай полевых (в центнерах с 1 га)
	2,25	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	
Долгопрудное (за 7 лет)	8,6	13,3	17,2	25,8	26,4	32,1	125,3
Крюково (за 7 лет)	3,9	18,9	23,3	26,0	25,8	26,7	91,7
Люберцы (за 6 лет)	8,6	12,5	11,4	13,3	16,4	18,4	40,0

Приведем еще прибавки урожаев (в центнерах с 1 га) льна и картофеля по тем же опытным полям за один год.

	Доза $CaCO_3$ (в тоннах на 1 га)						Урожай контроля (в центнерах с 1 га)
	2,25	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	
Лен (волокно) (Долгопрудное)	+ 0,02	+0,31	− 0,09	− 0,68	− 0,68	− 0,99	4,49
То же (Крюково)	− 0,05	+0,12	− 0,37	− 1,24	− 1,16	− 1,36	1,49
Картофель (Люберцы)	−12,0	−9,8	−26,1	−28,5	−26,4	−19,3	64,4

Те же данные, но не в абсолютных величинах, а в процентах прироста (или снижения) урожая нанесены на графиках (рис. 52 и 53)*.

Если общая продукция севооборотов значительно увеличивается от внесения извести, то урожаи льна и картофеля сильно снижаются. Помимо потери известной части урожая семян и волокна, у льна наблюдается при этом ухудшение и качества волокна, как это следует, например, из такого опыта Псковской опытной станции:

Доза извести (в тоннах на 1 га)	Урожай длинного волокна (в центнерах с 1 га)	Номер волокна
0	2,58	12
3	1,38	12
4,5	0,69	11
6,0	0,97	9

[1] Ради возможности суммирования (или выведения средних чисел) урожаи разных растений выражены в ржаных единицах, причем приняты такие соотношения: единице зерна приравнены 1,2 единицы зерна овса, 2,25—клеверного сена, 2,8 овсяной соломы, 8,2—ржаной соломы.

* Доза извести, вычисленная по гидролитической кислотности, составляет для Долгопрудного опытного поля 7 т на 1 га, а для Люберецкого опытного поля и Крюкова—около 6 т на 1 га.

* Нужно иметь в виду, что данные для картофеля приведены только для песчаной почвы Люберецкого опытного поля, а на таких почвах, при их слабо развитом поглощающем комплексе и малой буферности, особенно легко перейти предел, за которым известь вредно действует на картофель. Для почв более связных этот предел лежит выше. Подробнее см. в статьях Щербы («Труды НИУ», вып. 106, 1933 г.), Кедрова-Зихман («Труды ВИУА», вып. 6, 1934 г.) и других авторов («Труды ВИУА», вып. 9, 1935 г.).

У картофеля при избытке извести снижается процент крахмала и увеличивается поражаемость паршой (заболевание, вызываемое микроорганизмами). Вот данные одного из таких опытов, проведенного на Люберецком опытном участке (легкая, сильно оподзоленная супесь):

Доза извести (в тоннах на 1 га) (на фоне NPK)	Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	Процент крахмала	Процент поражения паршой
0	131	16,0	37
2,25	135	16,3	33
4,5	117	16,3	44
9,0	113	14,9	73
13,5	107	13,9	85
18,0	108	13,8	98
22,5	104	13,9	85

Имеющийся опытный материал показывает при этом, что вредное действие извести (если оно вообще имеет место) обнаруживается не только при внесении ее непосредственно под лен или картофель, но возможно и тогда, когда эти культуры идут через несколько лет после известкования; часто и последействия известь оказывается даже более вредной[1].

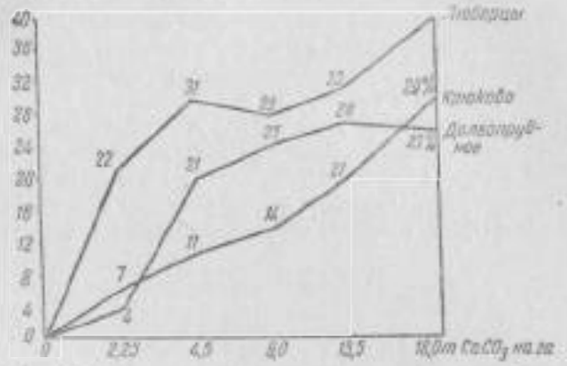


Рис. 52. Повышение продукции за весь севооборот под влиянием известкования (в процентах).

Нельзя, однако, думать, что известкование в льняных и картофельных севооборотах вообще неприменимо; такая постановка вопроса была бы неверной по следующим соображениям:

1. Вредное действие извести на лен и картофель проявляется далеко не во всех случаях (по сводке С. В. Щербы для последействия на 4-й год под лен в одной трети случаев).

Несомненно, что при снижении доз извести (например, до 50% от гидролитической кислотности) и особенно на почвах большой кислотности, губительной для растений, умеренное известкование окажется полезным и для этих культур.

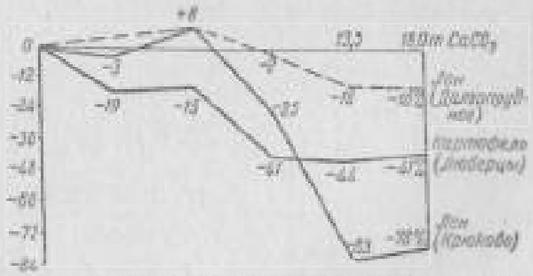


Рис. 53. Снижение урожаев льна и картофеля (в процентах) при избыточном внесении извести.

2. При применении извести необходимо учитывать ее действие на все культуры севооборота, а в этом отношении зерновые культуры, клевер и т. д. ведут себя иначе, чем лен и картофель. Как мы видели на разобранном раньше примере, общая продукция севооборотов под влиянием известкования значительно увеличивается. В таких случаях нельзя говорить об исключении известкования, но нужно провести его так, чтобы при повышении

[1] Этот вывод, полученный в последние годы для почв СССР, расходится с некоторыми другими данными. Так, например, давний опыт Бельгии говорит, что там районы применения извести давали лучшие льны, но при условии, что известь никогда не вносится прямо под лен, а за несколько лет до его посева, под другие культуры того же севооборота,—вероятно, там действие извести смягчается благодаря сильной унавоженности полей.

общей продуктивности севооборота возможное вредное действие извести на лен и картофель было исключено.

Учитывая особенности отношения к известкованию таких культур, как лен, картофель и люпин, а также значение механического состава почвы, лаборатория извести ВИУАА предложила следующие примерные нормы применения извести[1]:

Севообороты	Доза извести в долях гидролитической кислотности	
	Более тяжелые почвы	Более легкие почвы
1. С низким процентом культур, страдающих от избытка извести (лен, картофель, люпин)	1 и выше	от $^3/_4$ до 1
2. С более высоким процентом культур, страдающих от избытка извести (лен, картофель[2], люпин)	$^3/_4$—$^5/_8$	не более $^1/_2$

Понятно, что в зависимости от местных условий, с учетом данных полевых опытов, дозы извести могут устанавливаться и в других размерах; приведенная группировка норм известкования является лишь ориентировочной.

Наряду с некоторым снижением доз извести в севооборотах с культурами, чувствительными к ее избытку, *следует иметь в виду возможность ряда мероприятий, ослабляющих или устраняющих проявление отрицательного действия высоких доз извести*. Так, здесь может быть полезно внесение удобрений, содержащих бор. Приведем два примера из полевых опытов Долгопрудного опытного поля (С. В. Щерба), иллюстрирующих сказанное:

I. Опыт со льном

Схема опыта	Урожай (в центнерах с 1 га)		Процент волокна	Средний номер волокна
	Семена	Солома		
Лен по клеверищу на фоне NPK				
1. Без извести	18,7	61,0	14,7	8,85
2. По извести в дозе $^4/_1$ гидролитической кислотности; последействие 3-го года	5,9	66,5	10,7	7,0
3. По извести (то же) + бор 3 кг на 1 га в виде буры	21,9	66,2	15,4	9,5

II. Опыт с картофелем

Схема опыта	Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	Процент крахмала
1. Без извести (и без бора)	235,2	14,3
2. Известь $^4/_1$ гидролитической кислотности; 2-й год после известкования	130,3	12,8
3. То же + бор	249,1	13,6

Кроме льна и картофеля, установлен ряд аналогичных фактов и с культурами, которые обычно не причисляются к группе страдающих от избытка извести. Так, например, в опытах со свеклой внесение бора на известкованных

[1] На почвах, хорошо направленных внесением органических удобрений, дозы извести могут быть несколько выше, чем на почвах малокультурных, не улучшенных.

[2] В специализированных картофельных севооборотах на легких почвах от известкования лучше вообще воздерживаться.

почвах также часто дает весьма положительные результаты. Вот один из таких случаев (опыт с кормовой свеклой на подзолистой почве[1] Московской области).

Схема опыта	Вес корня (в граммах на сосуд)	
	Без бора	1 мг B на килограмм почвы (в виде буры)
NPK	6	—
» + $CaCO_3$ $^1/_4$ гидролитической кислотности	29	411
» + » $^1/_2$ » »	416	517
» + » $^1/_1$ » »	198	690
» + » $^2/_1$ » »	2	834

В опытах с люцерной на известкованных подзолистых почвах при развитии большой вегетативной массы наблюдалось незначительное образование семян; оказалось, что внесение бора в таких случаях исправляет положение (опыты Института кормов).

Повидимому, с этой же положительной ролью бора (а может быть и других элементов) связаны наблюдения, что при хорошей заправке почвы навозом отрицательное действие повышенных доз извести (например, в льняных и картофельных севооборотах) обычно бывает меньшим или совсем отсутствует (поскольку в навозе всегда содержится бор). Здесь же можно искать объяснение расхождения нашего и бельгийского опыта в оценке последействия извести на лен. Но каково бы ни было объяснение, самый факт лучшего действия извести в сочетании с органическим удобрением представляется несомненным и имеет большое значение.

Кроме навоза, и применение минеральных удобрений в тех или других формах может оказать влияние на действие извести.

Поскольку вредное действие извести сказывается с повышенным содержанием кальция в почвенном растворе, можно ожидать положительных результатов от применения сопутствующих удобрений с повышенным содержанием одновалентных катионов (антагонистическое действие) и вместе с тем не способствующих переходу кальция в подвижные формы [например, вместо простого суперфосфата—двойной, вместо $(NH_4)_2SO_4$—NH_4NO_3 и т. п.]. В этом отношении интересны опыты В. М. Власовой (с картофелем), проведенные на песчаной почве Люберецкого опытного поля; оказалось, что при внесении под картофель набора концентрированных (безбалластных) удобрений, а именно KNO_3, NH_4NO_3 и двойного суперфосфата не наблюдалось снижения урожая крахмала даже при повышенных дозах извести (по сравнению с делянками без извести). В то же время на фоне таких удобрений, как $(NH_4)_2SO_4$, KCl и простой суперфосфат (или $NaNO_3$, калийная соль и простой суперфосфат), на той же почве снижение урожая картофеля от высоких доз извести было довольно заметным (см. таблицу).

Схема опыта		Дозы извести ($CaCO_3$) (в тоннах на 1 га)			
		0	4,5	9,0	18,0
I. Без минеральных удобрений	Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	49	47	42	36
	Процент крахмала	16,3	15,4	14,4	13,1
По фону: $(NH_4)_2SO_4$, простой суперфосфат, KCl	Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	129	124	112	100,0
II. Без минеральных удобрений	Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	54	50	46	43
	Процент крахмала	16,4	15,4	14,2	14,0
По фону: KNO_3, NH_4NO_3, двойной суперфосфат	Урожай клубней (в центнерах с 1 га)	191	213	193	181
	Процент крахмала	17,0	17,8	18,2	18,7

[1] Опыт был поставлен на неокультуренной кислой почве, на которой свекла без известкования не удается.

Таким образом, при внесении бесбалластных удобрений (KNO_3, NH_4NO_3, двойной суперфосфат) как будто удается парализовать угнетающее действие даже высоких доз извести и сохранить более высокое качество урожая картофеля (процент крахмала в этом случае при всех дозах извести оказывается значительно выше контроля).

Однако во многих случаях именно систематическое применение таких «балластных» удобрений, как, например, $(NH_4)_2SO_4$, вследствие того подкисляющего действия, которое они оказывают на малобуферных почвах, будет вызывать повышенную потребность в известковании.

Для установления количества известкового удобрения, как уже было сказано, помимо свойств почв и отношения входящих в состав севооборота культур к известкованию, необходимо знать свойства известковых удобрений, которые могут иметь различное происхождение и различный состав.

Укажем здесь еще на *способы расчета* доз известковых удобрений. При расчете дозы извести на основании определения гидролитической кислотности надо перейти от тех единиц, в которых измеряется кислотность почвы, к количеству потребной извести на 1 га. При этом исходят из таких соображений: если результаты определения гидролитической кислотности выражены в миллиэквивалентах на 100 г почвы (обозначим эту величину через H), то при умножении на $3 \cdot 10^7$ получают кислотность в миллиэквивалентах на 1 га пахотного слоя почвы (принимая вес его в 3 тыс. т). Так как 1 миллиэквивалент углекислого кальция равен 50 мг $CaCO_3$*, или, что то же, $50 \cdot 10^{-6}$ т $CaCO_3$, то количество $CaCO_3$ в тоннах на 1 га, эквивалентное гидролитической кислотности, будет равно:

$$H \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ или } H \cdot 1{,}5.$$

Следовательно, 1 м.-экв. на 100 г почвы отвечает 1,5 т $CaCO_3$ на 1 га.

Чаще делают расчет сразу по результатам титрования, выражая гидролитическую кислотность в миллилитрах 0,1-*н* раствора щелочи, пошедшей на титрование определенного объема вытяжки при определении гидролитической кислотности, и пользуясь готовыми таблицами. Обычно для определения гидролитической кислотности берут навеску в 40 г почвы и 100 мл раствора CH_3COONa и титруют 50 мл вытяжки. Для того чтобы при этом соотношении от числа (a) миллилитров 0,1-*н* щелочи, пошедшей на титрование 50 мл вытяжки, перейти к миллиэквивалентам на 100 г почвы, надо умножить это число a на 0,1 (так как 1 мл 0,1- NaOH содержит 0,1 м.-экв. щелочи), затем еще на 1,75 (коэфициент Каппена на неполноту вытеснения при однократной обработке) и, наконец, на 5 для пересчета на 100 г почвы, откуда:

$$H = 0{,}1 \cdot 1{,}75 \cdot 5 \cdot a = 0{,}875 \cdot a,$$

или

$$\textit{количество } CaCO_3 \text{ (в тоннах на 1 га)} = 1{,}5 \cdot H = 1{,}5 \cdot 0{,}875 \cdot a = 1{,}3 \cdot a.$$

Полученная путем таких расчетов величина отвечает однократной гидролитической кислотности, выраженной в тоннах $CaCO_3$ на 1 га. Если хотят внести $^3/_4$ или $1\frac{1}{2}$ этой нормы, то дозу соответственно уменьшают или увеличивают. Затем надо учесть состав известкового удобрения (содержание в нем действующего начала и примесей, тонину размола и т. п.), в зависимости от чего делаются дальнейшие уточнения[1].

* Молекулярный вес $CaCO_3$ равен 100, а эквивалентный—50; следовательно, 1 грамм-эквивалент $CaCO_3$ равен 50 г, а 1 миллиэквивалент—50 мг $CaCO_3$.

[1] Многие опытные станции Запада (Lyngby в Дании, Königsberg в Восточной Пруссии и др.) предпочитают не давать из центра прямых указаний относительно количества извести, но посылают на места *кривую титрования* присланного почвенного образца; затем уже местный агроном, знающий установку данного хозяйства (удельный вес отдельных культур в севообороте), знающий свойства местных материалов (мергеля и пр.), определяет, до какого pH должна быть доведена в этом случае реакция почвы и сколько для этого нужно дать того именно источника кальция, которым располагает данное хозяйство, в том состоянии размельчения и при той степени совершенства (или несовершенства) смешения с почвой, какая будет иметь место в действительности; сообразно всему этому показания кривой титрования, полученные от центральной лаборатории, должно быть помножено на тот или иной «полевой коэфициент» чисто местного значения.

Расширение мероприятий по известкованию в СССР должно стоять в связи с развитием сети агрохимических опытных станций и организацией агрохимической службы, так как значительный покров отличается наибольшей пестротой как раз в области подзолистой полосы, где именно и требуется чаще всего бороться с кислотностью почвы; самые методы определения потребности почвы в извести требуют согласования с особенностями почв данного района; так, например, коэфициент, принимаемый при определении гидролитической кислотности, не является вполне постоянным, имеются местные отклонения, и самое использование показаний гидролитической кислотности в целях определения количества потребной извести еще не может быть одинаковым для всех видов почв. Не только особенности почв и растений (например лен, картофель, люпин, с одной стороны, хлеба, клевер, свекла и т. д.—с другой), но также и трудная транспортабельность извести, применяемой в больших дозах, как другие удобрения, накладывают местный отпечаток и на выбор материалов для известкования. По сумме всех этих причин успешное проведение известкования сильно зависит от развития агрохимической работы на местах.

ВИДЫ ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ

Чаще всего известковые удобрения добываются в природных залежах (известняки, известковые туфы, мел, мергель); реже могут быть использованы отходы некоторых производств (как дефекационная грязь сахарных заводов, зола каменного угля и торфа, некоторые виды шлаков), а также отбросы кожевенного, бумажного и других производств, если они не содержат вредных примесей. В то время как мягкие известковые туфы, многие виды мергеля и жженая известь не требуют предварительного измельчения, *при употреблении известняка и мела они должны быть всегда размолоты до обращения в муку*. Нормы для этого размельчения различны; так, в Германии не оплачиваются частицы свыше 1 мм диаметром как недействительные, и при применении извести грубого размола нужно увеличивать ее количество сообразно содержанию грубых частиц. У нас размольным пунктам именется в обязанность давать *известковую муку*, удовлетворяющую следующим требованиям: при содержании нерастворимого остатка до 20% не менее 30% навески должно проходить через сито № 100 (диаметр отверстий 0,17 мм) и 94—95%—через сито № 10 (1,65 мм).

Остаток на сите № 10 не должен превышать 5—6% при условии, чтобы в нем не было частиц крупнее 5 мм. Здесь играет роль еще и вопрос транспорта, так как если на месте размола и не трудно сделать прибавку на наличность балласта в виде более крупных частиц, то нельзя возить этот балласт на значительные расстояния.

Насколько крупные частицы остаются в почве недействительными, показывает такой учет не разложившегося $CaCO_3$ через шесть лет после внесения извести в почву:

Диаметр частиц, в виде которых вносилась известь	Неразложившийся $CaCO_3$ (в процентах от внесенного)
1,25—2,30 мм	62
0,50—1,25 »	24
0,125—0,50 »	17
<0,125 »	5

Кроме степени измельчения, принимается во внимание и *химический состав* размалываемого известняка, именно важно, чтобы в нем было как можно больше $CaCO_3$ (или $CaCO_3 + MgCO_3$), так как содержание, например, песчаных и глинистых частей (вообще не растворимого в соляной кислоте остатка) будет бесполезным балластом.

Считалось, что при повышенном содержании в известковом удобрении $MgCO_3$ (например, выше 50%) может встать вопрос о возможном вреде избытка магния по причинам, о которых говорилось выше. Однако многочисленные опыты акад. О. К. Кедрова-Зихман показали, что большое содержание магния в известковых материалах не должно считаться препятствием к их употреблению. Наоборот, в ряде случаев (особенно при культуре клевера и других бобовых, свеклы, картофеля, капусты и др.) содержащие магний известковые удобре-

ния действовали даже лучше. Это наблюдается чаще при известновании *сильнокислых* подзолистых почв.

Известковые породы, содержащие $CaCO_3+MgCO_3$, называют *доломитами* или *доломитизированными известняками* (в зависимости от содержания $MgCO_3$). В некоторых местах встречаются отложения так называемой *доломитовой муки*, представляющей мягкую породу, содержащую $CaCO_3+MgCO_3$ (в соотношении до 1:1); такая доломитовая мука может применяться без размола[1].

Количество углекислой извести, вносимой на 1 га, обычно колеблется для легких почв от 2 до 3 т, для средних—от 3 до 5 т и для более тяжелых глинистых почв может доходить до 6—7 т, смотря по степени кислотности этих почв и составу главных культур севооборота, о чем говорилось выше.

В виде углекислого кальция содержится известь и в *известковых туфах*. Отложения этого рода («луговая» или «ключевая» известь) образуются при выходе на поверхность почвенно-грунтовых вод, содержащих бикарбонат кальция, и при изменении условий (температура, давление), дающих осадки, состоящие преимущественно из углекислого кальция.

Анализ показывает обычно в таких туфах содержание углекислого кальция от 85 до 95%*. В настоящее время известковые туфы являются у нас важнейшим известковым удобрением. Большое преимущество туфов перед известняком состоит в том, что во многих случаях (так называемые *мягкие известковые туфы*) их можно применять без предварительного размола.

Ввиду того что нахождение вблизи от мест применения такого источника извести освобождает от значительных расходов по размолу и транспорту твердых известковых пород, отложения этого рода заслуживают большого внимания.

Приведем пример действия известкового туфа в полевом опыте на опытной станции Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева (урожай сена вико-овсяной смеси в центнерах с 1 га):

1. Без удобрения	29,2
2. Известковый туф 3 т на 1 га	37,6
3. » » 6 » » 1 »	39,1
4. » » 12 » » 1 »	41,3
5. NPK	44,3
6. NPK + известковый туф 6 т на 1 га	58,8

При сравнении действия известковых туфов с молотым известняком в вегетационных опытах наблюдались близкие результаты, как это можно видеть из такого примера[2]:

	Без извести	Молотый известняк	Немолотые известковые туфы			
			I	II	III	IV
Урожай клевера (в граммах на сосуд)	17,8	22,3	23,4	23,3	23,2	22,3

Однако туфы из разных месторождений могут быть неравноценными по своему действию, и некоторые из них (твердые туфы) могут требовать предварительного измельчения.

Другой случай, когда к размолу материала, содержащего углекислую известь, прибегать не приходится,—это мергелевание почвы. *Мергель* (рухляк, трескун) представляет такую породу, в которой известь ($CaCO_3$) находится в тонкой смеси с глиной. При лежании на воздухе под влиянием смены влажности и температуры мергель (если он не слишком плотного сложения) способен

[1] Доломитовая мука обнаружена в Московской области (Битцы), в Ленинградской области и в ряде мест в Татарской АССР.

* В качестве примеси туфы часто содержат органическое вещество (торф).

[2] В. Виноградов. Известковые туфы как удобрение. «Труды БИУЛа», вып. 9, 1925.

постепенно рассыпаться на мелкие части, легко могущие быть запаханными в смешанными с почвой. Мергели по составу могут быть очень разнообразны; кроме $CaCO_3$ и глины, они могут содержать песок, углекислый магний; не безразлично иногда содержание и второстепенных по количеству составных частей (например, встречается содержание P_2O_5 в 0,5%).

Обычно мергель вывозится на паровое поле еще с осени с тем, чтобы было достаточно времени для воздействия на него атмосферных факторов, под влиянием которых он в течение зимы рассыпается настолько, что может быть разбросан и запахан. Количество вносимого мергеля зависит от его состава, во всяком случае оно значительно выше, чем для молотого известняка, так как здесь мы имеем дело с не столь высокопроцентным материалом: встречаются нормы от 10 до 30 т мергеля на 1 га.

Мергель, если он находится вблизи, является (так же как и известковые туфы) дешевым материалом, и Дания, которая отличается очень высоким процентом заизвесткованных почв, достигла этого благодаря широкому использованию местных залежей мергеля.

Кроме полеводства, мергелевание нашло в Дании применение в лесоводстве (именно возобновление буковых лесов требует предварительного устранения почвенной кислотности, создаваемой во влажном климате разлагающейся листвой старых буковых лесов).

Действие мергеля обычно оказывается близким к действию известковой муки (при внесении по расчету на $CaCO_3$). По данным Уральской опытной станции (Институт льна), на сильнокислых почвах мергель уступал по действию только едкой извести $Ca(OH)_2$. В качестве примера действия мергеля приведем результаты опыта Уральской станции, в котором прослежено действие разных доз мергеля на кислой почве (pH солевой вытяжки = 4,1—4,3) в течение ряда лет. Мергель и другие удобрения вносились под овес с подсевом клевера (урожаи в центнерах с 1 га):

Схема опыта / Урожаи	Контроль	NPK	NPK + мергель		
			По 1/2 гидролитической кислотности	По 1/1 гидролитической кислотности	По 1,5 гидролитической кислотности
Овес с подсевом клевера: урожай зерна (среднее за 3 года)	7,9	11,8	11,45	11,7	11,6
Урожай клевера 1-го года пользования (среднее за 3 года)	17,2	20,2	22,5	28,0	26,5
Урожай клевера 2-го года пользования (среднее за 3 года)	26,0	29,6	30,5	35,5	34,6
Урожай клевера 3-го года пользования	13,8	14,2	17,3	19,1	17,5
Урожай льна (солома)	13,4	16,6	20,6	22,0	20,5
» » (семена)	3,6	4,3	4,6	4,5	4,1

Взаимодействие известковых удобрений, содержащих $CaCO_3$ (или $CaCO_3$ и $MgCO_3$), с кислой почвой можно представить следующим образом: под влиянием содержащейся в почвенном растворе углекислоты углекислый кальций подвергается частичному растворению с образованием бикарбоната кальция:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2. \qquad (I)$$

Бикарбонат кальция вступает в реакцию с поглощающим комплексом:

$$\left(\text{почва}\right)^{H}_{H} + Ca(HCO_3)_2 = \left(\text{почва}\right)Ca + 2H_2CO_3. \qquad (II)$$

Вследствие этого реакция (I) продолжает итти слева направо и постепенно происходит растворение $CaCO_3$ и вхождение Ca в поглощенное состояние (реак-

ции II). Если количество внесенной извести не превышает размеров гидролитической кислотности почвы, то в конечном счете почти весь Ca вступает в поглощенное состояние по уравнению:

$$\left(\text{почва}\right)^{H}_{H} + CaCO_3 = \left(\text{почва}\right)Ca + H_2O + CO_2.$$

При внесении же повышенных доз $CaCO_3$ возможно заметное повышение содержания бикарбоната в почвенном растворе, например:

$$\left(\text{почва}\right)^{H}_{H} + 2CaCO_3 = \left(\text{почва}\right)Ca + Ca(HCO_3)_2.$$

Аналогичным образом происходит взаимодействие $MgCO_3$ с почвой при внесении удобрений, содержащих, кроме $CaCO_3$, также и $MgCO_3$ (доломитовой муки или молотых доломитизированных известняков).

Жженая известь CaO у нас в качестве известкового удобрения почти не применяется, в истории же известкования на Западе она играла большую роль; в Германии и теперь применяются обе формы (CaO и $CaCO_3$) в одинаковой мере.

К употреблению жженой извести прибегают не столько на основании каких-либо соображений относительно химизма действия на почву, сколько исходя из того простого факта, что операция обжигания избавляет от нелегкой задачи измельчения известняка. Если поблизости нет размольных установок и если топливо дешево, то обжигание может быть наиболее доступным способом использования местных известняков (у нас такие условия могут быть, например, в Сибири). Как известно, после обжигания, связанного с удалением углекислоты ($CaCO_3 = CaO + CO_2$), становится возможным гашение извести, т. е. энергичная реакция с водой, связанная с разогреванием (что в данном случае неважно) и с распадением кусков жженой извести в тонкий порошок гашеной извести (пушонки):

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2.$$

Наряду с этой главной целью достигаются побочные положительные результаты, а именно получается материал, химически более деятельный (CaO вместо $CaCO_3$) и весящий чуть не вдвое меньше, что имеет значение при транспорте (из 100 частей $CaCO_3$ получается после обжигания 56 частей CaO; 44% уходит в виде CO_2).

В зависимости от чистоты взятого известняка получается жженая известь, или энергично реагирующая с водой, легко распадающаяся, с сильным увеличением объема, что на языке практиков называется «жирной известью», или же загрязненная примесями (SiO_2 и др.) известь, которая реагирует не столь энергично и получает название «тощей извести» (это сказывается на количестве вносимой извести). Гасить известь можно разными путями. Если известь оставить лежать под навесом в усадьбе, то из воздуха она поглощает влагу и распадается месяца в 2—3 в порошок; но при этом часть ее (около 15%) снова связывается с углекислотой воздуха и превращается опять в углекислую известь; кроме того, перевозка и разбрасывание этого едкого пылящего порошка гашеной извести являются затруднительными (последнее не относится к машинному высеву).

Поэтому предпочитают вывозить в поле негашеную известь в кусках, складывают ее небольшими кучками и покрывают сырой землей; постепенно известь гасится за счет влаги почвы; после этого ее перемешивают с землей, разбрасывают сначала лопатами, а потом перемешивают с почвой при помощи борон и плугов; этот способ неудобен в сухую погоду, так как гашение может тянуться неделями (если для ускорения гашения в кучи приливают воды, то эта операция требует осторожности, в смысле должного расчета воды, так как при избытке воды получается вместо хорошо размельченного порошка мажущаяся масса, распределение которой крайне затруднительно).

Иногда рекомендуют еще гасить известь, погружая куски ее в корзинах на некоторое время в воду, и потом перевозить ее на поля в тех же корзинах (или в поле погружать в воду в корзинах перед складыванием в кучи).

При внесении в почву $Ca(OH)_2$ быстрее реагирует с почвой, по сравнению с $CaCO_3$, так как $Ca(OH)_2$ обладает лучшей растворимостью. Здесь возможно прямое взаимодействие с поглощающим комплексом, по уравнению:

$$\left(\text{почва}\right)^{H}_{H} + Ca(OH)_2 = \left(\text{почва}\right)Ca + 2H_2O.$$

Частично же в почве происходит образование углекислого кальция за счет содержащейся в почве CO_2:

$$Ca(OH)_2 + 2H_2CO_3 = Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O;$$
$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 = CaCO_3 + 2H_2O.$$

Если известь вводят в компостные кучи, то там она превращается в углекислую; такая прибавка в небольших количествах может быть благоприятна для компоста, но при больших количествах биологические процессы будут надолго парализованы.

Количество жженой извести (CaO) для внесения на 1 га должно быть уменьшено по сравнению с $CaCO_3$ по крайней мере в отношении 56 : 100 ввиду потери 44% CO_2 при обжигании.

Как уже было сказано, в качестве известковых удобрений могут находить применение некоторые отходы промышленности, богатые содержанием извести.

Дефекационная грязь со свеклосахарных заводов содержит значительное количество извести наряду с другими важными для растений веществами. По составу она бывает довольно различна на разных заводах.

В среднем дефекационная грязь содержит:

$CaCO_3$—около 40—50%,	N—около 0,3—0,5%,
H_2O—около 40%.	P_2O_5—около 0,5—1%.

Но от этих норм часто встречаются отступления, именно может содержаться больше $CaCO_3$, частью $Ca(OH)_2$ и меньше P_2O_5 и N*.

Как видно из цифр, по содержанию азота дефекационная грязь не уступает навозу, а по фосфорной кислоте она богаче навоза; но усвояемость этих веществ в дефекационной грязи, повидимому, ниже, чем их усвояемость в навозе; во всяком случае удобрительное действие грязи ниже действия соответственного количества навоза (С. Л. Франкфурт); быть может, здесь вредит избыток извести.

Употребляют 5—10 т и более дефекационной грязи при внесении в паровом поле; в некоторых хозяйствах встречалось внесение даже 30—50 т на 1 га, но такие количества часто проявляют отрицательное влияние.

На деградированных черноземах и иногда на суглинках дефекационная грязь вносится иногда и в рядки под сахарную свеклу (2—4 ц на 1 га). В этих случаях имеется в виду не только использование азота и фосфора грязи, но и борьба с корнеедом (грибное заболевание сахарной свеклы, особенно опасное в первые стадии развития), поскольку подщелочение почвы значительно снижает процент заболевших растений.

Средний прирост урожая сахарной свеклы от рядкового удобрения дефекационной грязью, по многочисленным опытам прежней Киевской сети опытных полей, составляет 7—10 ц, достигая в некоторых случаях и 50 ц корней на гектар.

Из этих же опытов следует, что разбросное внесение грязи (в пару под озимую пшеницу) дает неодинаковые результаты на различных почвах, но в отдельных случаях (например, на почвах с плохими физическими свойствами) сопровождается заметным увеличением урожая (как озимой пшеницы, так и следующей за ней сахарной свеклы). Результаты одного из таких опытов приводятся в следующей таблице:

Схема опыт	Урожай озимой пшеницы (в центнерах с 1 га)		Урожай сахарной свеклы[1]	Процент сахара
	Зерно	Солома		
1. Без дефекационной грязи	32	65	281	17,2
2. Дефекационная грязь 67 ц на 1 га	36	75	272	17,4
3. » » 100 » » 1 »	38	76	301	—
4. » » 134 » » 1 »	32	82	310	16,9
5. » » 200 » » 1 »	33	86	310	17,0
6. » » 400 » » 1 »	32	89	339	16,8

* См. анализы в «Трудах Ивановской опытной станции», вып. 1 и 2.

[1] Под свеклу было дано рядковое удобрение—30 кг P_2O_5 в суперфосфате и 45 кг N в виде $NaNO_3$ (на гектар).

Газовая известь, отход газового производства, не может быть употреблена для удобрения тотчас же; она содержит ядовитые для растений вещества, и нужно дать ей полежать некоторое время на воздухе, прежде чем употреблять в качестве удобрения (иногда достаточно заблаговременной запашки с осени). Обычно в газовой извести содержатся $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$ и $CaSO_4$, образующие около $^3/_4$ от всего ее веса.

Кроме того, известь содержат отходы бумажного, содового и кожевенного производств, которые могут иметь местное значение. Вот примерное содержание извести в некоторых из таких отходов:

Отходы	Процент CaO	Форма извести
Отходы содового производства	40—50	$Ca(OH)_2$ (главным образом)
» кожевенного производства	до 60	$Ca(OH)_2$
» бумажного производства	40—50	$CaCO_3$ (главным образом)
Известь красильно-аппретурной фабрики	40—50	$Ca(OH)_2$

В будущем предвидится получение больших количеств отбросной извести в виде $Ca(OH)_2$ на тех заводах синтетического каучука, которые будут путем разложения водой карбида кальция получать ацетилен (от которого через хлоропрен переходит к каучуку).

Относительно того, что *зола* является материалом, обогащающим почву известью, говорилось уже выше; выщелоченная зола (остающаяся после извлечения поташа) является хорошей формой внесения извести одновременно со значительными количествами усвояемой фосфорной кислоты.

В настоящее время ведутся опыты по использованию в целях известкования *доменных шлаков*.

По составу доменные шлаки бывают неодинаковыми, в зависимости от вида топлива, используемого в доменном процессе (кокс, древесный уголь), характера пустой породы (в руде) и вида получаемого чугуна. По анализам, проведенным на кафедре геологии Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева, состав доменных шлаков некоторых металлургических заводов СССР является следующим (главные компоненты):

Шлаки	Содержание (в процентах)					
	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	S	MnO
Доменный шлак Керчевского завода	46,3	3,1	34,5	13,2	2,4	1,2
» » Косогорского завода	44,0	2,4	32,3	10,6	4,5	0,4
» » завода Всепромутили (г. Златоуст)	23,2	3,1	47,3	14,8	0,5	5,6

Как следует из этих данных, основными компонентами шлака являются CaO, SiO_2 и Al_2O_3.

Шлаки с малым содержанием CaO+MgO (до 30% в сумме) менее ценны в качестве удобрения; лучшими оказываются шлаки, содержащие 40—50% CaO+MgO (основные шлаки), особенно те из них, которые распадаются после охлаждения в рыхлую массу—тогда их можно вносить без размола.

Сравнительные опыты показывают, что в отношении нейтрализующей способности шлаки чаще всего несколько уступают углекислой извести, но в общем достаточно близки к ней, как это следует из таких данных (Каппен):

Условия опыта	Обменная кислотность почвы	Гидролитическая кислотность почвы
	в миллиэквивалентах	
До внесения удобрений	3,5	15,2
Шлак с содержанием 44,7% CaO	0,9	12,1
Известь ($CaCO_3$)	0,8	11,9
Шлак с содержанием 50% CaO	0,7	11,6

Имеются случаи, когда при одинаковой конечной реакции почвы эффект от шлаков превышает действие извести. Этим случаям дается двоякого рода

объяснение. Именно одни авторы приписывают добавочное положительное действие той кремнекислоте, которая выделяется при разложении силикатов почвенными ацидоидами[1], так как коллоидальная кремнекислота может уменьшать количество подвижного алюминия в почве и способствовать усвоению фосфорной кислоты растениями (однако размер этого действия подлежит еще более точному учету). Другие же полагают, что добавочное благоприятное действие шлаков зависит от присутствия в них марганца или других элементов, способных усиливать рост растений на некоторых почвах.

Для многих почв подзолистой полосы в районах, близких к металлургическим заводам (например, на Урале), доменные шлаки, богатые известью, могут оказаться весьма ценным удобрением; то же может иметь место для почв влажных субтропиков (Черноморское побережье), если иметь в виду относительную дешевизну перевозки морем доменных шлаков из Керчи.

О ВНЕСЕНИИ И ЗАДЕЛКЕ ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ

Поскольку основная цель известкования заключается в устранении кислотности почвы, известь должна вноситься так, чтобы наиболее полно была обеспечена нейтрализация почвенной кислотности. Для достижения этой цели необходимо располагать удобрением с должной высотой тонины помола (см. сказанное раньше) и обеспечить при внесении достаточно совершенное смешивание удобрения с почвой. Поэтому лучше всего вносить известь при глубокой пахоте в пару или при забленой вспашке под яровое. Все иные способы внесения извести, в частности, мелкая ее заделка, замедляют действие удобрения вследствие неполной нейтрализации почвенной кислотности. Однако в отдельных случаях, например, на лугах без коренной мелиорации, иногда вынужденно применяют известь без глубокой заделки (под борону). Как показывают опыты, действие удобрения при этом оказывается сильно замедленным, и нейтрализации подвергаются лишь поверхностные слои почвы, расположенные близко к зоне внесения. Вот один из таких примеров (Nelson):

Глубина почвенного слоя (в сантиметрах)	pH неизвесткованной почвы	pH известкованной почвы через 6 лет после удобрения
0—3	4,82	5,70
3—6	4,81	5,02
6—9	4,82	4,82
9—12	4,86	4,85

Опыты, проведенные в Институте кормов (под Москвой), дали несколько отличные от этих результаты, но и здесь поверхностно внесенная известь первый год значительно уступала запаханной.

Равномерность рассева извести имеет весьма существенное значение, так как неравномерный рассев ее означает переизвесткование одних мест и недостаточное известкование других. Особенно важна тщательность равномерного распределения извести при ее применении в севооборотах со льном и картофелем, которые, страдая от избыточного известкования, будут его испытывать в тех местах, где оно создано в результате неравномерного внесения.

Для обеспечения лучшего распределения извести по полю применяют специальные известковые сеялки.

[1] Взаимодействие шлака с кислой почвой схематически можно представить так:

$$\left(\text{почва}\right)\begin{matrix}H\\H\\H\\H\end{matrix} + Ca_2SiO_4 \rightarrow \left(\text{почва}\right)\begin{matrix}Ca\\Ca\end{matrix} + SiO_2 + 2H_2O.$$

При этом параллельно с насыщением поглощающего комплекса почвы кальцием освобождается эквивалентное количество кремневой кислоты, которая, возможно, и не будет простым балластом и в этой активной форме может иногда быть полезной составной частью.

Если известь вносится в том же поле, где и навоз, то обычно не рекомендуют вносить и заделывать их одновременно, опасаясь увеличения потерь аммиака от соприкосновения извести и навоза. Так, советуют, например, внести известь, заделать ее бороной, а затем вывозить и разбрасывать навоз и производить вспашку плугом. Но в опытах Долгопрудного опытного поля не было обнаружено разницы в действии навоза и извести, внесенных раздельно или совместно[1], даже в том случае, когда известь вносилась поверх разбросанного навоза.

В связи с тем, что проведение известкования в некоторых случаях бывает затруднено, вследствие отсутствия поблизости соответствующих источников для получения известковых удобрений, в последнее время лабораторией извести ВИУАА изучаются и такие приемы ее внесения, которые позволили бы получать хорошие результаты при малых дозах удобрения. Имеется несколько вариантов таких способов, все они относятся к местному внесению извести, например, в рядки, вместе с другими удобрениями или с семенами.

Имеющийся опытный материал показывает, что иногда такие приемы позволяют получить неплохие результаты при значительно пониженных дозах извести (в 5 и даже 10 раз), но нужно помнить, что в этих случаях кислотность почвы не нейтрализуется полностью (за пределами зоны внесения извести) и при следующем посеве (после перепашки) вновь понадобится известковать почву, так что здесь та же, в сущности, доза извести вносится частями в несколько приемов.

[1] Н. Ремезов и С. Щорба. Теория и практика известкования, 1938 г.

О ПРИМЕНЕНИИ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЙ ГИПСА, СЕРЫ И ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ

ГИПС

В качестве удобрения, содержащего S и Ca, играет значительную роль *гипс* $CaSO_4 . 2H_2O$—водный сернокислый кальций (но в природе встречается и ангидрит $CaSO_4$, не содержащий воды)[1]. Иногда употребляют суперфосфат-гипс (он же *фосфогипс*), получающийся при приготовлении преципитата и двойного суперфосфата. Это есть остаток после обработки фосфорита серной кислотой и промывки его (с целью удаления фосфорной кислоты, употребляемой для разложения новых порций фосфорита). Употребление его считается благоприятным вследствие содержания некоторого количества фосфорной кислоты в виде неразложенного остатка фосфорита (или не вполне отмытых продуктов его разложения). Однако при применении этого удобрительного средства нужно считаться с составом его, потому что, кроме гипса, оно содержит глину и песок, входившие в состав фосфорита. Примерный состав фосфогипса такой (в процентах):

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	64
P_2O_5	2—3—5
Глины и песка	30

Употребляется гипс главным образом для мотыльковых растений, культивируемых на корм,—клевера и люцерны. В этих случаях гипс, в отличие от извести, употребляется почти исключительно как поверхностное удобрение и разбрасывается по уже развившимся до некоторой степени растениям. Средняя доза гипса—3—4 ц на гектар. При разбрасывании он отчасти остается на листьях, но первыми дождями смывается в почву. Гипс не вредит листьям, даже покрытым росою, потому что его растворимость невелика (1 : 400); он не может дать вредных для растения концентрированных растворов (в отличие, например, от калийных солей), и реакция его близка к нейтральной, в отличие от суперфосфата и золы.

Что касается действия гипса на растения, то в исключительных случаях оно достигает огромных размеров. Так, у Буссенго неудобренный участок дал 10 ц клеверного сена, а удобренный гипсом—59 ц; обычно же действие не столь велико, но определенно благоприятное. У А. Н. Энгельгардта без удобрения было получено 28,6 ц клевера, а по гипсу—50,5 ц. В среднем можно считать *4 ц клеверного сена в приросте урожая на 1 ц гипса* (насколько такие средние, конечно, вообще возможны); иногда получается и 10 ц сена на каждый центнер гипса[2].

Гипс рассыпают весной, или после первого укоса, или же с осени; последнее применяется в засушливом климате, когда есть риск, что гипс, рассыпанный по поверхности весной, пролежит долго без действия. Употребляется гипс преимущественно под растения, возделываемые для корма, потому что он спо-

[1] В строительном деле применяется также алебастр $2CaSO_4 \cdot H_2O$, получающийся из гипса при нагревании до 120—130°.

[2] Конечно, при обычных дозах гипса—около 3—4 ц на 1 га.

собствует усиленному росту листовых и стеблевых органов, а не плодов (впрочем, это влияние гипса отчасти зависит от влажности и плодородия почвы).

Введение гипса в практику удобрения связано с именами тех же лиц, которые способствовали введению культуры клевера, например, Шубарт в Австрии. Как только при повторении культуры клевера его укосы начинают падать, прибегают к гипсованию.

Среди объяснений действия гипса было много различных вариантов. Так, Либих высказывал мысль, что гипс действует растворяющим образом на другие вещества почвы и помогает поглощению углеаммиачной соли из воздуха. Если первая часть его объяснения нашла известное подтверждение, относительно второй уже a priori трудно допустить, чтобы такая ничтожная по весу доля гипса, которая вносится как удобрение в количестве 3—4 ц на гектар, могла оказать влияние на поглощение аммиачных солей почвенным слоем, вес которого достигает 3 000 т на гектар и который сам по себе уже является энергичным поглотителем аммиака; да и тот факт, что гипс действует именно на бобовые, указывает на то, что здесь дело не в поглощении $(NH_4)_2CO_3$. В отличие от Либиха, Буссенго полагал, что гипс действует прямо, как растворимая форма извести. Ритгаузен также приписывал гипсу действие прямое, но при этом он видел в нем прежде всего источник серы (это можно поставить в связь с тем, что бобовые, богатые белками, содержат много серы). Позднее проф. Богданов (Киев) отметил, что потребность растений в сере больше, чем мы привыкли думать, и, может быть, многие почвы уже нуждаются в соответственном удобрении (т. е. внесении сернокислых солей, в частности, гипса).

Дело в том, что в известных таблицах Вольфа, которые перешли во все справочники, приводятся количества серы в золе растений и по этим цифрам потребность растения в сере кажется небольшой. Однако при озолении вовсе не вся сера белков (находящаяся в них в группировках—CH_2—SH) окисляется и вступает в соединение с основаниями, но значительная ее часть улетает; поэтому если определять серу не в золе, а в растении (окислив органическую массу азотной кислотой или сплавляя со щелочами и селитрой), то найдем значительно большие величины, например:

Исследуемый материал	По Вольфу		По Богданову-Лазеткину[1] (считая на SO_3)
	S	То же, считая на SO_3	
Зерна пшеницы	0,04%	0,025	0,37
» проса	0,01%	0,025	0,40
» гороха	0,08%	0,20	0,44

Особенно богаты серой крестоцветные; например, корни турнепса содержат 1,85%, а листья капусты—2,05% SO_3 (считая на сухое вещество). В связи с этим вынос серы с урожаями у этих растений превосходит вынос фосфорной кислоты:

	SO_3	P_2O_5
Капуста (360 ц)	73,7 кг	41,2 кг
Турнепс (300 ц)	44,4 »	24,4 »

Между тем обычно имеем:

	SO_3	P_2O_5
Пшеница (15 ц)	13,1 кг	19,2 кг
Клевер (45 ц)	18,5 »	23,3 »
Люцерна (60 ц)	30,0 »	37,6 »
Картофель (150 ц)	12,9 »	24,0 »
Сахарная свекла (180 ц)	29,5 »	33,8 »

[1] См. С. М. Богданов, Плодородие почвы, Киев, 1905 г.

Отсюда видно, что, кроме крестоцветных, бобовые также уносят больше серы, чем злаки, а затем много ее уносит также сахарная свекла. Хотя истощение почвы по отношению к сере смягчается наличностью для нее круговорота (с осадками приносится 7—8 кг SO_3 на гектар), тем не менее известны случаи, когда для суперфосфата констатировано положительное действие не только фосфора, но и серы, которая содержится в простом (но не двойном) суперфосфате в виде $CaSO_4$.

На гипс можно смотреть и как на косвенное удобрение, которое способствует обогащению почвенного раствора калием. Еще прежние опыты Детерена показали, что при промывании образца русского чернозема водой в водный раствор переходило из 1 кг почвы 0,048 г K_2O, а при промывании той же почвы водой с гипсом—0,428 г, т. е. в 9 раз больше; теперь эти явления совершенно понятны, как вытекающие из свойств поглощающего комплекса. Отмечают, что нередко гипсом удобряют почвы богатые, а не бедные питательными веществами; это может также указывать на то, что гипс играет преимущественно роль косвенного удобрения.

Однако нужно думать, что все отмечаемые стороны действия гипса могут находить свое осуществление, хотя и в разной мере, т. е. что имеет значение: 1) внесение растворимой соли Ca (клевер и люцерна берут много кальция в урожаях); 2) внесение серы важно для тех же растений, ибо бобовые богаты белками, а сера входит в состав именно белков; 3) косвенное действие, в смысле переведения калия в более растворимые соединения, имеет особенное значение опять для тех же растений (названные кормовые травы уносят много калия в золе). Так как на все три названные элемента (K, Ca, S) бобовые проявляют больший спрос, чем злаки, то действие гипса яснее сказывается на бобовых, чем на злаках.

Нужно не упускать из виду, что с другими удобрениями нередко также вносятся гипс или его компоненты; так, кроме суперфосфата, содержащего $CaSO_4$, серная кислота также содержится в сернокислом аммиаке и навозе, известь—в томасовом шлаке, фосфорите, в костях; поэтому при вопросе о применении гипса следует считаться с внесением других удобрений.

Возможно, что при гипсовании клевера, кроме повышения питания тремя элементами (Ca, S и K), играет роль и еще одно обстоятельство—это то, что Ca является антагонистом иона водорода; хотя гипс не может понизить кислотность почвенного раствора, но он может повысить способность клевера лучше переносить ту самую концентрацию ионов водорода, которая при бедности почвенного раствора кальцием может подавлять развитие клевера[1].

В СССР гипсование клеверов изучалось многими опытными учреждениями, и полученные результаты говорят о высокой ценности гипса как удобрения. Приведем здесь средние данные, показывающие прибавки урожая клеверного сена (1-й год пользования) от удобрения гипсом на разных типах почв (сводка И. А. Афанасьева):

Почва	Общее количество опытов	Средний урожай контроля (в центнерах с 1 га)	Прибавка от гипса в средних данных	
			в центнерах с 1 га	в процентах против контроля
Подзолистые тяжелые суглинки	270	28,7	16,2	56,4
Подзолистые легкие и средние суглинки	661	32,2	11,1	34,4
Подзолистые супесчаные почвы	58	27,2	7,2	28,7
Выщелоченные черноземы и серые лесные земли	41	32,0	6,5	20,3

[1] Желательна была бы проверка возможности обезвреживающего влияния ионов Ca на ионы водорода на различных почвах, потому что, смотря по соотношению отдельных видов кислотности, влияние внесения $CaSO_4$ может, в конце концов, быть неодинаковым. Если реакция не изменяется заметно, то влияние обогащения раствора ионами кальция на растение может быть только благоприятным, однако на почвах с большой обменной кислотностью можно представить двоякое действие гипсования: первичное обогащение раствора ионами Ca

Если при удобрении клевера и люцерны часто имеет значение прямое действие гипса (т. е. внесение S и Ca), то при внесении гипса на почвах, содержащих поглощенный натрий (солонцовые почвы), он является средством химической мелиорации таких почв.

Как известно, почвы, содержащие поглощенный Na, залегают интразонально и наиболее часто встречаются в пустынно-степной и степной зонах, занимая огромные площади, измеряемые в совокупности десятками миллионов гектаров.

Вхождение Na в состав поглощенных катионов связано с засолением почв натровыми солями ($NaCl$, Na_2SO_4)*.

Следствием накопления в почве натровых солей будет увеличение количества натрия и в поглощенном состоянии, а это в свою очередь резко отражается на свойствах почвы и сообщает ей характерные признаки почв солонцового типа почвообразования.

При рассолении солончаков, т. е. по мере удаления легко растворимых солей, образуются почвы солонцовые (солонцы), которые характеризуются большим или меньшим содержанием поглощенного натрия и присутствием в почвенном растворе углекислых солей натрия (Na_2CO_3, $NaHCO_3$).

По количеству поглощенного натрия и, следовательно, по степени выраженности солонцового процесса такие почвы делятся на несколько групп (Антипов-Каратаев):

1. Если содержание поглощенного натрия не превосходит 3—5% от емкости поглощения данной почвы, то такие почвы признаются не солонцеватыми.

2. При содержании поглощенного натрия в 5—10% от величины емкости поглощения почвы называются *слабо солонцеватыми*.

3. Если количество поглощенного Na составляет 10—20% от емкости поглощения, то мы имеем *солонцеватые почвы*.

4. Если поглощенного Na больше 20% от емкости поглощения, то это будут *солонцы*.

В отдельных случаях (в влажных натровых солонцах) количество поглощенного Na достигает иногда почти 100%, т. е. натрий становится почти единственным поглощенным катионом. В деградированных солонцах (солоди) вместе с Na может содержаться и некоторое количество поглощенного водорода. Остальная часть емкости поглощения в солонцах занята переменными количествами кальция и магния.

Наличие Na среди поглощенных катионов солонцовой почвы влияет на ее физические свойства, поскольку коллоидальная часть почвы становится высокодисперсной и распыленной. Обработка таких почв (при значительном содержании поглощенного Na в солонцах) становится весьма затруднительной.

Вследствие содержания натрия в поглощенном состоянии, в почвенном растворе солонцовых почв появляются углекислые соли натрия ($NaHCO_3$, Na_2CO_3), которые не могут быть удалены из таких почв промыванием, так как они образуются вновь в результате взаимодействия поглощающего комплекса с углекислым кальцием или углекислотой:

$$\left(\text{почва}\right)^{Na}_{Na} + Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows \left(\text{почва}\right)Ca + 2NaHCO_3\text{[1]}$$

$$(\text{почва})\,Na + H_2CO_3 \rightleftarrows (\text{почва})\,H + NaHCO_3\,^{**}$$

Присутствие углекислых солей натрия создает повышенную щелочность почвенного раствора[1], которая может быть неблагоприятной для многих растений.

и вторичное обогащение его ионами водорода за счет частичного вытеснения водорода кальцием из поглощающего комплекса. Какая получится равнодействующая этих двух величин в каждом отдельном случае, без опыта сказать трудно.

* Но встречаются в гипсовые солончаки, нередко отличающиеся высоким плодородием (Ковда), однако занимаемая ими площадь относительно весьма невелика. Меньшее значение имеют также почвы, засоленные магнезиальными и особенно калийными солями.

** В данном случае поглощенный водород относится, конечно, к гидролитической (а не обменной) кислотности, так как реакция раствора в присутствии $NaHCO_3$ будет щелочной.

[1] $NaHCO_3$ и Na_2CO_3 — соли гидролитически щелочные, как соли слабой кислоты и сильного основания.

Таким образом, с производственной точки зрения солонцы чаще всего оказываются такими почвами, которые нуждаются в мелиорации и без этого обычно дают очень низкие урожаи или оказываются вообще непригодными для посева.

Мелиорация таких почв предполагает проведение целого комплекса мероприятий, в число которых обычно включается и гипсование в целях: 1) замены поглощенного Na на Ca и 2) снижения щелочности.

Роль гипса в этих случаях понятна из следующих схем:

$$\left(\text{почва}\right)^{Na}_{Na} + CaSO_4 = \left(\text{почва}\right)Ca + Na_2SO_4;$$

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 = CaCO_3 + Na_2SO_4.$$

Получающийся в результате взаимодействия гипса с почвой Na_2SO_4 является нейтральной и хорошо растворимой солью, которая может быть удалена из почвы промыванием, обычно при искусственном орошении[1].

Если доза гипса достаточна и промывание ведется правильно[2], этот путь химической мелиорации вместе с орошением сопровождается значительным улучшением свойств почвы (рассолонцевание) и делает ее пригодной для культуры даже весьма требовательных растений.

Изложенная общая схема химической мелиорации солонцов с помощью гипса указывает на его значение как посевного удобрения в этих случаях; однако в зависимости от конкретных условий и вида почвы эта общая схема видоизменяется и дополняется в различных направлениях.

1. Для более полного исправления физических свойств почвы гипсование часто сопровождается внесением больших доз органического вещества в виде навоза, компостов и т. д. Большое значение имеет в этих случаях и травосеяние, особенно посевы люцерны; помимо обогащения почвы органическим веществом, люцерна способствует аккумуляции кальция в верхних горизонтах почвы и препятствует обратному подъему (после промывания) солевых растворов к поверхности почвы как за счет хорошего отенения почвы (снижение испарения с поверхности), так и вследствие перехватывания поднимающихся по капиллярам растворов на глубине (вследствие значительного испарения через листовую поверхность). Роль люцерны в снижении количества солей в профиле солончака (в дополнение к промыванию и дренажу) видна, например, из следующего опыта Лийдемана, проведенного в Голодной степи[3].

Глубина дрен (в сантиметрах)	Глубина горизонта (в сантиметрах)	Количество солей (в процентах от веса почвы)			
		до промывки 1916 г.	после промывки 1917 г.	первый год люцерны 1918 г.	второй год люцерны 1919 г.
75	0—10	7,58	0,56	0,42	0,07
	20—30	1,58	0,21	0,13	0,07
	60—70	0,82	0,46	0,25	0,91
	90—100	0,74	1,37	1,29	1,33

2. Однако орошение далеко не во всех случаях сопутствует гипсованию; при известных степенях засоления ограничиваются лишь агротехническими мероприятиями, направленными на удаление Na из корнеобитаемых слоев почвы (внесение гипса с осени, глубокая вспашка, мероприятия по снегозадержанию, периодическое травосеяние и т. д.).

Прибавки урожаев от гипса и в условиях сухого земледелия часто оказываются достаточно значительными, как показывают следующие данные опытов, проведенных в Омской области (И. В. Орловский).

[1] Сода также является хорошо растворимой солью, однако промывание без гипсования не устранит возможности ее образования вновь. Кроме того, почвы, содержащие соду, имеют очень малую водопроницаемость, что препятствует промыванию.

[2] Здесь особенно важно избежать так называемого вторичного засоления, являющегося часто самым тяжелым последствием орошения солонцовых почв. В качестве предупредительных мер против этого рекомендуется сочетать орошение с дренированием, препятствующим повышению уровня грунтовых вод, а также борьбой с потерями воды (просачивание) из оросительных каналов и притом не только из основных, но и в мелкой сети. Подробнее мы здесь не можем входить в рассмотрение этих вопросов.

[3] См. В. А. Ковда. Солончаки и солонцы, 1937 г.

Почва	Растение	Урожай контроля (в цент. в среднем с 1 га)	Прибавка урожая в центнерах на 1 га от доз гипса (в тоннах на 1 га)			
			2	5—6	7—8	10
Глубоко-столбчатый солонец . . .	Яровая пшеница	8,9	+0,6	+0,6	+2,0	—
Среднесолонцеватый чернозем . .	» »	17,8	+2,8	+3,8	+2,4	—
Среднестолбчатый солонец . . .	Ячмень	8,2	—	+0,3	—	+2,3

3. При проведении общей мелиорации солонцов в целях получения более высокой урожайности возникает вопрос и о дополнительном внесении питательных веществ, в первую очередь азота и фосфора (подвижность фосфора особенно снижается в иллювиальном горизонте солонца, обогащенного полуторными окислами). При этом, как показывают опыты, проведенное гипсование часто снижает подвижность азота этих почв.

Естественно, что в таких случаях на щелочных солонцеватых почвах подвисляющие почву азотистые удобрения, и особенно сернокислый аммоний, будут гораздо физиологически щелочных; из последних $Ca(NO_3)_2$ должен иметь преимущества перед другими благодаря содержанию кальция. Лучшей формой фосфора будет простой суперфосфат, богатый гипсом[1]. В сущности повторное применение простого суперфосфата может привести к значительному снижению дозы гипса, поскольку гипс вносится частично в виде простого суперфосфата.

Сравнительное значение различных форм азотистых удобрений для подобных случаев (почвы Уральской опытной станции) видно из результатов следующего вегетационного опыта.

Схема опыта	Урожай пшеницы (в граммах на сосуд)	
	зерно	общий вес сухой массы
На фоне $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$:		
$Ca(NO_3)_2$	42,2	43,7
$(NH_4)_2SO_4$	47,4	55,8
NH_4NO_3 + гипс	49,0	59,0

Количество гипса, применяемого при мелиорации солонцов, предлагалось рассчитывать по содержанию поглощенного Na (в эквивалентах). Так как гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) содержит 23,4% Ca, то рассчитанные таким путем дозы получаются высокими—порядка 10—20 т на 1 га, а в случаях сильно засоленных почв доходят даже до 60—70 т на гектар. Но на самом деле дозы могут быть ниже, так как полное вытеснение натрия не является, строго говоря, совершенно обязательным, и при малом его содержании (3—5% от емкости поглощения) специфически солонцеватые свойства почвы не проявляются. Кроме того, внесение гипса, даже и в согласии с приведенным расчетом, все равно не обеспечивает полного удаления Na из поглощающего комплекса, так как чем меньше его остается, тем труднее вытеснить оставшееся количество (как известно, это относится к каждому поглощенному катиону).

Таким образом, если принять во внимание сказанное выше, в ряде случаев, быть может, с достаточным эффектом можно ограничиться и не столь большими дозами гипса, рассчитанными на вытеснение не всего поглощенного натрия, а лишь на устранение его избытка. В опытах, проведенных Ленинградским отделением ВИУАА в Сталинградской области (1936—1938 гг.) на солонцах, содержавших поглощенный натрий в количестве 30—35% от емкости поглощения, хорошо действующими оказались дозы гипса порядка 5—10 т на гектар[2]. Но и при таких дозах гипсование является мероприятием все же довольно громоздким; поэтому заслуживает внимания разработка и других приемов для целей мелиорации солонцовых почв.

К числу таких приемов относятся, например, следующие:

а) Некоторые виды солонцовых почв содержат гипс, но он находится в более глубоких слоях почвы. Содержание его там достигает 2—3%. В таких случаях иногда оказывается вполне целесообразным с помощью глубокой вспашки или плантажа (35—50 см) вывернуть

[1] Но в известных случаях возможно использование и фосфоритной муки.

[2] См. «Доклады ВАСХНИЛ», № 5, 1940 г., статья С. Зонн.

гипсовые слои на поверхность и последующим орошением вымыть нитровые соли из почвы. Это—прием так называемого самогипсования почвы. В опытном изучении Почвенного института Академии наук (Конда) он дал хорошие результаты: через три года количество обменного Na с 10—13 м.-экв. снизилось до 2—3 м.-экв., и на такой почве пшеница (ранее неудовлетворительно) дала урожай около 18 ц с гектара.

б) В тех случаях, когда солонцовые пятна выравнены в массив незасоленных почв (например, черноземной зоны), улучшению свойств этих пятен возможно за счет перенесения на них почвы с окружающих незасоленных мест (на расстояние 50—100 м). В этом случае мелиоратором засоленной почвы будет, следовательно, поглощенный Ca привезенной почвы. По подсчетам Орловского, для полной мелиорации достаточно 500 т на 1 га почвы, вывозимой на протяжении 3—5 лет. Этот прием улучшения солонца назван автором (Орловским) методом планировки.

в) Ввиду того что гипс содержит меньше кальция, нежели другие известковые материалы (23,4% Ca против 40% в $CaCO_3$ и 71% в CaO), иногда ставился вопрос о замене гипса известью. Опыт показывает, что на почвах, не содержащих соды, и особенно на солодях, такой прием является уместным, однако он мало изучен и требует дальнейшей разработки.

В сущности, та же цель, которая имеется в виду при гипсовании, может быть отчасти достигнута и при применении ряда других удобрений (заменителей гипса). Сюда относится сера (о процессе сульфофикации см. ниже), пирит, сернокислое железо и алюминий и т. д. Из них наибольшее значение имеет сера, которая может найти применение и на других видах почв, а не только на солонцах.

ВНЕСЕНИЕ СЕРЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Положительное влияние серы, внесенной в почву, наблюдалось в ряде опытов на Западе (первоначально попутно при лечении серным цветом заболеваний растений); у нас также имеются опыты, как Богданова (Киев, 1898 г.) с горчицей, Солянова («Труды Киевской сети опытных полей») с сахарной свеклой, Калужского (Саратов) с просом и картофелем, Васильева (Новозыбков) с люпином и пр.

При избыточном внесении может наблюдаться и вред от применения серы.

Действие серы на урожай объясняется тем фактом, что после внесения в почву она не остается неизменной, но подвергается окислению под влиянием микроорганизмов, с образованием солей серной кислоты, так что можно говорить о процессе *сульфофикации*, подобно тому как говорится о нитрификации. Отсюда два следствия:

1) почва подвергается как бы действию разведенной серной кислоты;

2) почвенный раствор обогащается сульфатами.

Введение некоторого количества кислоты в почвы может быть полезно в двух случаях: 1) если почва имеет щелочную реакцию и желательно снизить pH почвенного раствора, 2) если почва содержит много фосфора в трудно растворимых соединениях, то действие кислоты направляется на фосфаты, их усвояемость повышается.

Действие серы как косвенного удобрения слагается в первую очередь из этих двух сторон, но, кроме того, на урожай могут влиять изменения в ходе биологических процессов (нитрификация, аммонизация и пр.), и, наконец, обогащение почвенного раствора сульфатами может иметь прямое значение для питания растений, что чаще проявляется на бедных почвах, особенно при культуре растений с повышенным содержанием серы (бобовые и крестоцветные).

Влияние внесения серы на реакцию почвы проявляется постепенно, по мере развития процесса сульфофикации; вот пример из опытов Ваксмана:

	Процент от веса почвы	pH почвы			
		до опыта	через 28 дней	через 86 дней	через 165 дней от внесения серы
Количество серы	0,1	9,6	9,1	8,1	7,9
	0,2	9,6	9,0	8,0	7,2
	0,5	9,6	8,9	7,2	6,0

Так как серобактерии способны создавать очень кислую среду без ущерба для своей деятельности, то при избытке серы могут наблюдаться и вредные влияния; этим, вероятно, объясняется менее благоприятное влияние внесения серы в рядки[1] по сравнению с разбросным внесением ее («Труды Киевской сети опытных полей»):

	Без серы	С серой: 60 кг разброс	С серой: 120 кг разброс	С серой: 30 кг в рядки
Урожай свеклы (корни в центнерах с 1 га) . . .	260	277,9	284,2	268,6

В этом опыте (как и вообще на черноземных почвах) действие серы сводится, повидимому, к повышению использования фосфатов почвы. Кроме фосфора, сера по мере окисления способствует переходу в раствор калия, кальция, магния и железа. Но сера может, особенно при внесении значительных количеств, подавлять нитрификацию в почве, что вызывает накопление аммиака, а за известным пределом повышение дозы серы может вообще задерживать минерализацию азотистых органических веществ почвы[2].

При одновременном внесении в почву серы с фосфоритом создаются условия разложения фосфорита серной кислотой, образующейся при окислении серы, причем, естественно, наблюдается известный оптимум, за которым растения могут страдать от избыточной кислотности и урожай понижается, несмотря на обильное снабжение растений фосфорной кислотой.

В Америке Липман производил опыты компостирования фосфорита с землей и серой—это приводит как бы к производству суперфосфата (хотя и разбавленного землей) с помощью бактерий. Такой процесс может представить интерес для тех районов, где встречаются месторождения серы, недостаточно высокопроцентные для использования в целях промышленных; такие «серные земли» при наличности в данном районе фосфоритов могли бы быть использованы для закладки компоста по способу Липмана в целях приготовления фосфорнокислого удобрения для местного потребления.

Применение серы (или таких серных земель, если они имеются близко) для улучшения солонцов основано на понижении щелочности, как это было выше показано на примере, взятом из опытов Ваксмана, и частично на образовании в почве гипса за счет нейтрализации образующейся серной кислоты кальцием самой почвы.

В опытах Калужского и Солнцевой общая щелочность солонца под влиянием серы понизилась вдвое, и урожай растений (в граммах на сосуд) возрастал, например, следующим образом:

	Без серы	С серой (5 г на сосуд)
Ячмень	11,0	17,3
Просо а	20,8	33,0
Просо б	26,9	37,8

Однако это повышение наблюдалось только при достаточной влажности почвы (60% от влагоемкости и выше), при недостатке же влаги (40% от влагоемкости) наблюдалось понижение урожая.

По данным полевых опытов, на засоленных почвах сера оказывается иногда даже лучшим (хотя и медленнее действующим) удобрением, нежели гипс, как это видно из таких данных Орловского, полученных в 1932 г. на

[1] Кроме того, возможно вредное влияние промежуточных степеней неполного окисления (сернистокислые соли и многосернистые соединения), которые при значительных дозах серы могут накопляться в большем количестве, чем при малых.

[2] См. брошюру Калужского, «Элементарная сера в качестве удобрения», 1929 г.

Уральской опытной станции (при орошении и на второй год после внесения удобрений):

Схема опыта	Урожай перца красной пшеницы (в центнерах с 1 га)
Контроль	15,7
5 т алебастра (на гектар)	16,7
10 » » » »	20,0
1 » серы » »	21,7

Бисульфат натрия $NaHSO_4$, являющийся отходом пороховых заводов, может оказывать действие, подобное сере; с ним получены положительные результаты в опытах по так называемому «окислованию» чернозема, причем, очевидно, имеет место растворяющее действие этой кислой соли на фосфаты почвы[1].

ХЛОРИСТЫЙ НАТРИЙ

Выше уже отмечалось, что хотя натрий не имеет того общего значения в питании растений, которое принадлежит калию, но в известных случаях он может оказывать положительное действие на развитие некоторых растений. Если в качестве самостоятельного удобрения хлористый натрий в настоящее время обычно не применяется, то он входит в значительном количестве в состав соликамских калийных солей, и приходится различать случаи, когда желательна возможно полная очистка этих солей от примеси NaCl и когда, наоборот, присутствие натрия в них оказывается полезным.

Прежде полезное влияние хлористого натрия объяснялось исключительно косвенным его действием, именно мобилизацией почвенного калия.

Из учения о поглотительной способности почв мы знаем, что при введении соли одного основания в почву вытесняется большее или меньшее количество других оснований из поглощенного состояния; известно, что можно таким путем даже сполна заместить кальций и калий натрием, если действовать повторно большими количествами солей натрия и удалить прореагировавшую часть раствора. Поэтому внесение солей натрия в почву может иметь и косвенное значение, так как при этом вытесняется известное количество калия из запаса почвы и переходит в раствор.

Это видно из данных такого опыта Франка: высокие цилиндры (до 2 м высоты) наполнялись почвой, и эта почва промывалась чистой водой до удаления всех растворимых веществ. Потом почва промывалась раствором соли калия в одном случае и раствором солей калия и натрия в смеси—в другом. Если вводить только калий (в известном количестве), то он поглощается в верхних слоях почвы, а если применивать соль натрия, то соли калия проходят в более глубокие слои[2].

Кроме вытеснения калия из малорастворимых соединений почвы, возможно такое же вытеснение калия натрием из устаревших частей растения и передвижение его к точкам роста. Это наблюдал Rippel в таком опыте: если срезанные ветви сирени поставить в одном случае в питательный раствор без калия, а в другом—в такой же раствор, но с добавлением NaCl, то распускающиеся почки сирени снабжаются лучше калием во втором случае. Это снабжение происходит за счет вытеснения натрием того калия, который находится в стеблевых частях растений в виде малорастворимых, но нестойких соединений со свойствами, напоминающими положение калия в поглощающем комплексе почвы.

[1] Интересные опыты с внесением серы в целях снижения pH почвы проводятся в настоящее время на опытной станции в Сочи (И. Галактионов) под культуру чая в связи с попытками продвижения ее в районы почв нейтральных и карбонатных. В данном случае имеется в виду именно изменение pH (а не косвенное воздействие на фосфаты почвы), так как известно, что чай хорошо растет на кислых почвах (красноземы).

[2] И. Вазенин получил в своих опытах иные результаты по этому вопросу, но они нуждаются в дальнейшей расшифровке (см. «Химизация социалистического земледелия», 1936, № 4).

Так как внесение поваренной соли отчасти возмещает калийное удобрение, то это может быть одной из причин, почему внесение хлористого натрия иногда дает положительные результаты.

Но нельзя отрицать, что наряду с косвенным действием возможно и прямое действие натрия на некоторые растения (см. о значении натрия выше, в главе о роли отдельных элементов).

В этом случае замечается большое влияние индивидуальности растения; так, в то время как при удобрении картофеля приходится по возможности избегать примеси NaCl к калийным солям, для сахарной свеклы имеет место обратное; видимо, здесь сказывается родство свеклы с растениями солончаковой флоры. У нас на отзывчивость сахарной свеклы к внесению NaCl указывал довольно давно М. А. Егоров (Харьков).

К настоящему времени проведено довольно большое количество опытов, показывающих, что сахарная свекла развивается лучше и качество ее выше, если в удобрениях внесен натрий (см. стр. 362—363).

С ролью Na для сахарной свеклы связано, повидимому, и лучшее действие $NaNO_3$ по сравнению с $Ca(NO_3)_2$, что также неоднократно наблюдалось в опытах, проведенных как у нас, так и в других странах (но с различной степенью преимущества на разных почвах).

К сказанному нужно добавить, что обнаружены случаи некоторого положительного действия NaCl, не зависящего от косвенного действия на почву или прямого питательного значения для растений,—это влияние на осмотическое давление питательного раствора; так, было показано, что непитательные соли (NaCl, Na_2SO_4 и др.) способны повышать содержание азота в зерне пшеницы; в нашей лаборатории получены данные, говорящие за возможность поднять содержание углеводов в плодах томатов, масла в семенах горчицы путем повышения осмотического давления (до известного предела) с помощью любой безвредной соли (опыты Перитуриной); поэтому возможно, что в прежних опытах с поваренной солью, кроме влияния на калийное питание, отчасти проявлялось и влияние на осмотическое давление почвенного раствора.

Но, как сказано, хлористые соли на многие растения (особенно картофель и табак) действуют неблагоприятно; другие растения относятся к ним (в известных пределах) безразлично. Замечено, что более благоприятно действует NaCl на прядильные растения и кормовые травы; это ставят в связь с тем, что NaCl способствует развитию стеблевых органов (в золе которых преобладают соединения калия). Так, в одном опыте на неудобренных участках клевера, например, процент стеблей в массе урожая равнялся 32, после удобрения NaCl процент стеблей повысился до 52, и если стебли являются целью культуры (лен), то положительное действие поваренной соли проявляется чаще, чем в других случаях.

УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ БОР, МАРГАНЕЦ И МЕДЬ

Из большого числа так называемых микроэлементов, необходимых для растений, прямое или иногда косвенное значение бора, марганца и меди для ряда культур установлено, пожалуй, с наибольшей определенностью. Конечно, здесь нужна еще большая работа в дальнейшем, однако для этих микроэлементов (в отличие от многих других) выявлены, по крайней мере, некоторые конкретные условия, когда их добавление к почве сопровождается несомненным и часто весьма значительным повышением урожая.

О физиологической роли *бора* и *марганца* уже говорилось раньше (см. стр. 73—74). Как мы видели, потребности растений в отношении этих элементов весьма незначительны, но даже и эти малые количества не всегда имеются в почвах в форме усвояемых растениями соединений.

Валовое содержание бора в почвах редко превосходит 0,0015%, что составляет 45 кг B на гектар в пахотном слое; часто находят и меньшие количества (15—20 кг на гектар).

Для почв разных зон СССР были проведены определения бора в водных вытяжках (Е. В. Бобко), причем оказалось, что содержание водорастворимого бора в почвах в общем тем меньше, чем влажнее зона, откуда взята почва. Это видно из таких данных:

Содержание бора в водной вытяжке из почв (в миллиграммах B на 1 кг почвы)

Серозем (Алма-Ата, Казахстан)	0,25
Чернозем (Каменная степь, Воронежская область)	0,23
» (Бийск, Западная Сибирь)	0,22
Подзолистая почва (Долгопрудное, Московская область)	0,16
Краснозем (Чаква, под Батуми)	0,11

Запасы марганца в почвах, вообще говоря, значительно больше, нежели бора. Его валовое содержание редко опускается ниже сотых долей процента, но иногда достигает и нескольких процентов (в некоторых латеритных почвах). В почвах СССР найдены, например, следующие количества Mn:

Подзолистые почвы	0,025—0,150%
Черноземные »	0,060—0,093%
Каштановые »	0,079—0,087%
Сероземы	0,041—0,061%
Краснозем Чаквы	0,102%

Таким образом, даже для наиболее бедных подзолистых почв и сероземов общий запас марганца составляет не менее 750—1 200 кг на гектар (в пахотном слое).

Как мы знаем, цифры валового запаса питательных веществ еще не дают права делать заключения о количестве тех же веществ, находящихся в почве в усвояемых формах для растений. Известно, в частности, что доступность марганца растениям сильно зависит от реакции почвы: в кислой среде Mn значительно подвижнее, но при нейтральной и щелочной реакции его доступность растениям резко падает. Это следует из такого опыта Манна, проведенного с овсом на кислом суглинке (см. табл. на стр. 430).

Но наблюдающееся здесь резкое снижение растворимости и усвояемости Mn при подщелачивании почвы не будет, конечно, повторяться на всех почвах в аналогичных условиях. Как мы знаем, железо также нерастворимо в нейтральной и щелочной среде, однако мы не наблюдаем хлороза (от недостатка Fe) на всех нейтральных и слабощелочных почвах. Ряд сопутствующих условий (коли-

Количество извести, внесенной в почву (в центнерах на 1 га)	pH	Содержание Mn в водной вытяжке из почвы (в миллиграммах на 1 кг почвы)	Содержание Mn в растениях (в миллиграммах на 1 кг растительной массы)
Без извести	4,0	0,65	121,6
5,6	4,5	0,35	79,5
22,4	5,3	0,03	44,5
44,8	6,4	0,01	17,3
112,0	7,5	0,01	0,9

чество и формы органического вещества в почве, характер поглощенных катионов и степень дисперсности коллоидных частиц, окислительно-восстановительные процессы в почве и т. д.) определяет неодинаковое поведение разных почв в этом отношении.

Аналогичная зависимость при известковании почв намечается и в отношении усвояемости бора для растений. Такие растения, как лен, горчица, сахарная свекла и др., а также некоторые овощные культуры, страдают иногда при внесении извести в высоких дозах. Как показали недавние исследования, лен в этих случаях в гораздо большей степени подвержен особому заболеванию бактериозом. У горчицы, льна и некоторых других растений при этом сильно снижается урожай семян. У сахарной свеклы наблюдается иногда характерное заболевание, так называемая гниль сердечка. Однако внесение бора в таких случаях устраняет эти заболевания, урожай обычно восстанавливается или делается даже более высоким, чем без извести.

Вот, например, результаты одного вегетационного опыта с сахарной свеклой, проведенного на почве из Приморского края (Дальний Восток):

Схема опыта	Вес одного растения (в граммах)[1]
Без удобрений	16
NPK	30
NPK + H_3BO_3 (5 мг на 1 кг почвы)	52
NPK + $CaCO_3$ (по удвоенной гидролитической кислотности)	11
NPK + $CaCO_3$ + H_3BO_3 (5 мг на 1 кг почвы)	21

В частности, из этого же опыта следует, что не только при внесении извести, но и независимо от нее на данной почве наблюдалось положительное действие бора.

В качестве удобрений, содержащих бор, могут применяться различные вещества, из которых в настоящее время наиболее часто встречаются следующие:

	Содержание бора (B) в процентах
1. Борацитовая мука—размолотая борная руда Индерского месторождения (Западный Казахстан), состоящая из гидроборацита $CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$ и примесей гипса и глины	около 10
2. Бор-магниевое удобрение, являющееся отходом при переработке борных руд (1) на борную кислоту и буру; в его состав входит борная кислота и сернокислый магний	1—4
3. Бура $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	около 11
4. Борная кислота H_3BO_3	около 17

Борная кислота и бура имеют, как известно, и другие области применения, в связи с чем являются дефицитными. С.-х. производство должно рассчитывать главным образом на первые два удобрения, действие которых не уступает действию концентратов, как это видно из таких данных Института льна для одной из почв, особенно реагирующих на внесение бора:

[1] Растения убраны после 2 месяцев 12 дней роста.

Схема опыта	Урожай льна (в центнерах с 1 га)	
	солома	семена
1. Без удобрений	5,1	0,8
2. Бура (3 кг на 1 га)	13,9	2,6
3. Бор-магниевое удобрение (бора столько же)	12,9	2,0
4. Гидроборацит	19,6	2,8
5. NPK	6,0	1,1
6. NPK + бура (3 кг на 1 га)	17,0	2,3
7. NPK + бор-магниевое удобрение (бора столько же)	13,9	2,6
8. NPK + гидроборацит » » »	20,6	4,6

Дозы бора под лен обычно не превышают 0,3—0,5 кг на 1 га (но в опытной работе встречаются и несколько большие дозы). Это соответствует примерно 3—5 кг буры на гектар. Увеличение доз не дает дальнейшего прироста урожая, как это видно, например, из следующего опыта Института льна, проведенного в колхозе «Знамя труда» (почва подзолистая, темноцветная, слабо заболоченная):

Схема опыта	Урожай льна (в центнерах с 1 га)		Выход длинного волокна (в центнерах с 1 га)
	солома	семена	
Без удобрений	22,7	2,8	2,3
NPK	31,6	5,8	3,6
NPK + 1 кг буры на 1 га	32,0	6,2	3,9
NPK + 3 » » » » »	35,2	7,6	4,8
NPK + 9 » » » » »	35,1	7,1	4,5
NPK + 12 » » » » »	34,3	7,6	4,5

Под сахарную свеклу вносят до 2 кг бора на 1 га, под люцерну (на семена)—1,5—2 кг на 1 га.

Ввиду того что дозы удобрений, содержащих бор, очень невелики, их вносят в смеси с другими удобрениями или смешивают с инертным материалом. В Германии готовят особое удобрение—борный суперфосфат, при применении которого в почву одновременно вносится и бор и фосфор (см. стр. 302).

В качестве удобрений, содержащих марганец, употребляют сернокислый марганец $MnSO_4 \cdot 7H_2O$, содержащий около 20% Mn, или отходы, получающиеся при переработке марганцевых руд, как марганцевый шлам, содержащий около 17% Mn[1].

Доза Mn в растворимой форме ($MnSO_4$) составляет 5—10 кг на 1 га. При внесении марганцевого шлама дозы увеличивают до 20—45 кг Mn на 1 га. Так, на Украине для черноземных почв под плодовые, овощные и ягодные культуры рекомендуется вносить 30—45 кг Mn на гектар, для оподзоленных и солонцеватых почв—20—30 кг; в пересчете на марганцевый шлам эти дозы составляют 1—3 ц на 1 га.

Как уже отмечалось раньше, почвы разных свойств неодинаково отзывчивы на внесение марганцевых удобрений.

Наряду со слабым или умеренным действием марганца в отдельных (редких) случаях повышение урожая может быть исключительно высоким. Вот

[1] С марганцевым шламом и другими отходами промышленности проведено большое число опытов (вегетационных и полевых) в УССР Институтом сахарной промышленности в Киеве (см. работы П. А. Власюка, И. К. Овощенко и др. в изданиях института).

несколько примеров из опытов с Mn, проведенных на почвах разных свойств (урожаи в центнерах с 1 га):

Культура	Без Mn	+ Mn
Пшеница (зерно)	10,4	12,6
» »	16,9	19,3
Лен (солома)	30,9	34,3
Бобы (на сильно известковой почве)	4,0	25,1
Капуста (на сильно известковой почве)	198,1	514,1

Вопросы техники внесения борных и марганцевых удобрений пока еще недостаточно разработаны. По имеющимся данным, предпосевное внесение с заделкой является, повидимому, лучшим, как это следует из такого опыта Бежецкого опорного пункта:

Способ внесения бора	Бура		Бор-магниевое удобрение	
	Урожай льна (в центнерах с 1 га)		Урожай льна (в центнерах с 1 га)	
	солома	семена	солома	семена
В предпосевную обработку	40,8	6,9	41,7	7,0
По всходам	34,6	5,6	38,5	6,3

Как уже отмечалось выше, удобрения, содержащие B и Mn, в отличие от азотистых, фосфатных и калийных, *не являются повсеместно действующими*. Потребности растений в этих элементах пищи сказываются лишь при определенных условиях и на некоторых видах почв. Это положение должно учитываться при применении данных удобрений в производстве. Во многом здесь необходима и дальнейшая опытная работа.

Медь как удобрение может иметь большое значение в некоторых специальных случаях, именно при освоении болотных почв, где часто является одним из важнейших средств их химической мелиорации (наряду с известью для кислых разностей торфа). На некоторых из таких почв при отсутствии меди растения сильно страдают от особой болезни (сущность ее пока не ясна), получившей название Urbarmachungskrankheit (болезнь вновь осваиваемых почв).

Преобладает ли в этих случаях прямое (на растение) или косвенное (на почву) действие меди, пока не установлено с достаточной определенностью, хотя и трудно говорить о косвенном действии меди, учитывая незначительность обычно применяемых доз.

Дозы меди, дающие большой эффект, в пересчете на сернокислую медь ($CuSO_4 . 5H_2O$) составляют 25—30 кг на 1 га (около 6—8 кг Cu на гектар).

В тех случаях, когда при культуре болот имеет место упомянутое выше специфическое заболевание, действие меди бывает разительным. Вот несколько примеров:

Растение	Урожай (в центнерах с 1 га)				Место проведения опыта
	PK		PK + Cu		
	зерно	солома	зерно	солома	
Овес	4,9	42,1	24,5	40,2	Совхоз «Победа социализма»
Ячмень двурядный	2,6	27,1	21,9	25,3	Совхоз им. 10-летия БССР
Яровая пшеница	3,5	18,0	14,4	53,6	Минская опытная болотная база
Лен	1,3	8,6	6,7	22,2	То же

Как видно из этих результатов, внесение меди при заболевании растений на вновь осваиваемых торфяниках особенно положительно проявляется в увеличении урожая зерна. Имеются наблюдения, что внесенная медь в таких случаях действует в течение нескольких лет, т. е. удобрения, содержащие медь, обладают значительным последействием (например, в одном случае прибавка зерна ячменя составила 17 ц на 1 га на 3-й год после внесения).

Дефицитный медный купорос с успехом может быть заменен отходами промышленности, из которых наибольшее значение имеют пиритные (колчеданные) огарки, являющиеся отходом химической промышленности (при производстве серной кислоты). Содержание меди в них колеблется в пределах 0,4—1,5% Cu. Могут быть использованы в целях удобрения и низкопроцентные медные руды (0,5—1,5% Cu).

Сравнительное действие разных источников меди по опытам, проведенным на одной из болотных почв в БССР, оказалось следующим:

Схема опыта	Урожай ячменя (в центнерах с 1 га)	
	зерно	солома
Фон PK без меди	6,1	18,3
» PK + сернокислая медь 26 кг на 1 га	23,4	45,0
» PK + колчеданный огарок 3 ц на 1 га	24,1	47,8
» PK + каунрадская медная руда 3 ц на 1 га	19,5	47,5
» PK + алмалыкская медная руда 3 ц на 1 га	19,0	34,9

Таким образом, при очень больших прибавках от меди во всех удобрениях, лучшим ее источником оказались колчеданные огарки и сернокислая медь.

Нужно иметь в виду, что эти данные относятся к специфическим условиям (наличность вышеупомянутой «болотной» болезни хлебов), в которых действие меди проявляется особенно резко, но переносить их на другие условия нельзя.

ПОЛНЫЕ УДОБРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

НАВОЗ

Навоз является самым важным источником азота, фосфора и калия как по громадным абсолютным их количествам, в нем содержащимся, так и по их дешевизне, по равномерности распределения по всей территории с.-х. использования (а не в отдельных точках, как залежи фосфорита и калийных солей). Он важен и потому, что для бедных почв со скудным поглощающим комплексом органическое вещество навоза является средством улучшить физические свойства и повысить поглотительную способность и буферность почвы, чем одновременно создается лучший фон и для применения минеральных удобрений. Кроме того, внесение навоза оказывает влияние и на микробиологическую деятельность в почве.

Но, с другой стороны, в применении навозного удобрения имеются известные трудности в отношении распределения навоза в пределах каждого хозяйства (вследствие его низкопроцентности и потому громоздкости), но в особенности с точки зрения рационализации приемов приготовления и применения навоза, которое при несовершенных формах связано с громадными потерями самых ценных составных его частей.

Чтобы дать некоторое представление о значении навоза как обильного источника питательных веществ, приведем следующие цифры.

Примерный подсчет по поголовью скота показывает, что годовое количество получаемого в СССР навоза может доходить до 400—500 млн. т. При среднем содержании азота в 0,5% это отвечает 2—2,5 млн. т азота, тогда как вся азотная промышленность земного шара дает сейчас около 2,5 млн. т азота в год, т. е. почти столько же, сколько содержится в навозе, получаемом в пределах нашего Союза.

Правда, количество фактически применяемого навоза значительно меньше (примерно вдвое) того, что дает суммарный подсчет по поголовью скота для всей страны, так как навоз не везде используется полностью,—частью (на юге) он применяется на топливо, но все же общие размеры навозонакопления и роль навоза в балансе удобрительных ресурсов страны исключительно велики[1].

Понятно поэтому, какое огромное значение имеют мероприятия, направленные на то, чтобы как можно лучше сохранить питательные вещества, содержащиеся в навозе, и возможно полнее использовать навоз в целях удобрения.

При недостаточном внимании к организации правильного хранения и применения навоза потери одного из наиболее ценных компонентов навозного удобрения—азота—могут достигать очень больших размеров. Так, по западным данным, в условиях обычного хранения навоза на гноище без особых мер ухода, но все же без стекания навозной жижи и без просыхания навоза, потери азота на 6—7 месяцев хранения достигают 30%, и нужны особые меры, чтобы снизить их до 10—15%. Если же, как это, к сожалению, еще часто можно наблюдать в нашей практике, происходит утечка навозной жижи и просыхание навоза, то потери азота легко могут достигать даже 50%.

[1] См., например, таблицу на стр. 193.

Допустим, что мы прилично сохранили навоз и накопили в нем достаточное количество хорошо усвояемого аммиачного азота, но только после вывозки в поле мы не тотчас его запахали; в этом случае, смотря по погоде, температуре и силе ветра, может за время от 1 до 5 дней потеряться от 12 до 15% азота, а во всесоюзном масштабе это значит буквально пустить на ветер 250—300 тысяч т азота, что отвечает продукции нескольких крупных азотных заводов.

Точно так же и количество калия, содержащегося в навозе, превышает в несколько раз современную продукцию Соликамского рудника, причем калий навоза не только не сопровождается избыточной примесью NaCl, но и сам-то он соединен не с хлором, а с углекислотой (или органическими кислотами), поэтому качественно он является более ценным.

Количество фосфорной кислоты в навозе хотя и меньше, чем азота и калия, но все же оно могло бы составить, если бы навоз вывозился полностью, около 1 млн. т P_2O_5 (причем фосфор навоза отличается высокой усвояемостью).

Не менее внушительная картина получается, если подойти к оценке роли навозного удобрения по прямым данным таких опытов, где учитывалось действие систематического применения его в севообороте. Заметим, что прибавками урожая от внесения навоза в первый год его действие учитывается далеко не полностью, так как навоз оказывает длительное последействие на урожай последующих культур и является мощным фактором повышения плодородия почвы.

Приведем здесь данные опытов Долгопрудного опытного поля (Московская область) и опытной станции в Аскове (Дания).

Прибавки урожая от 36 т навоза в четырехпольном севообороте

Опытные учреждения	Культуры севооборота	Прибавки (в центнерах на 1 га)	В пересчете на зерно (в центнерах на 1 га)
Долгопрудное опытное поле (в среднем за 5 лет)	Рожь (зерно)	10,7	10,7
	Овес (зерно)	5,3	5,3
	Клевер (сено)	6,5	2,6
	Кормовая свекла (корни)	155,5	15,5
	Итого	—	34,1
Аскев (Дания) (в среднем за 30 лет)	Рожь (зерно)	6,7	6,7
	Овес (зерно)	8,1	8,1
	Клевер (сено)	16,8	6,7
	Кормовая свекла (корни)	264,0	26,4
	Итого	—	47,9

Таким образом, каждая тонна навоза при систематическом внесении в севообороте и при учете его действия на все культуры севооборота дала прибавку около 1 ц в переводе на зерновые единицы (а по датским опытам еще выше—около 1,3 ц).

Это означает, что даже при неполном использовании навоза у нас в СССР в количестве 200—250 млн. т в год возможный суммарный прирост с.-х. продукции (за счет прямого действия и последействия навоза) может достигать огромной величины в 200—250 млн. ц, или 1,2—1,5 млрд. пудов в переводе на зерно в год[1].

Стахановцы сельского хозяйства правильно оценили огромное значение органических удобрений и в первую очередь навоза в борьбе за высокие урожаи.

[1] Конечно, такой подсчет грубо приблизителен, так как действие навоза неодинаково на разных почвах, но, несмотря на всю условность, он все же дает достаточно наглядное представление об огромном значении навоза, как удобрения.

Сочетая применение органических и минеральных удобрений, стахановцы, получившие высокие урожаи сахарной свеклы, картофеля, зерновых и других культур, в большинстве случаев вносили значительную часть всего количества питательных веществ в виде органических удобрений[1].

Неправильно думать, будто с развитием химической промышленности и широким распространением минеральных удобрений значение навоза должно отходить на задний план; наоборот, с ростом применения минеральных удобрений будет возрастать и количество навоза, так как повышенный урожай зерна означает и повышенный урожай соломы, урожаи клевера, корнеплодов и лугового сена возрастут, а потому и скота и навоза будет больше; кроме того, в состав навоза будет входить и «технический азот», потому что последний будет участвовать в образовании не только зерна, но и соломы, а значит и навоза; также и калий сильвинита и фосфор апатита через клевер войдут в состав навоза; поэтому небрежное отношение к навозу будет означать также и небрежное отношение к азоту Березников и Сталиногорска, фосфору Кукисвумчорра и калию Соликамска, несущим накладные расходы по эксплоатации и созданию дорого стоивших промышленных комбинатов.

Конечно, такой малоподвижный источник питательных веществ, как навоз, не может заменить «технического» азота, фосфора и калия, которые легко могут быть переброшены на любой фронт; но чем лучше мы сбережем азот навоза там, где навоз есть, тем больше азота «технического» можно направить туда, где навоза почти нет и где нельзя его много иметь вследствие необходимости отводить высокий процент площади под культуры, которые, требуя большого количества удобрения, сами навозообразователями не являются, как хлопок, табак, конопля и пр., в отличие от хлебов и кормовых трав.

СОСТАВ НАВОЗА

Навоз является *полным удобрением*, потому что в его состав входят те самые (важные с точки зрения удобрения) вещества, которые уже участвовали в образовании растительной массы; составные части навоза (твердые и жидкие извержения животных, с одной стороны, и подстилка—с другой) представляют собой растительные продукты, отчасти изменившиеся при прохождении через организм животного или при хранении в навозной куче, но не утратившие ни того азота, ни тех зольных веществ, которые в них ранее заключались.

Чтобы яснее представить себе состав навоза, нужно проследить, что делается с пищей в организме животных.

При прохождении через кишечник пища делится на две части: переваримую и неперевариму́ю. Последняя выделяется из организма в виде твердых извержений, а первая поступает в кровь и в безазотистой своей части окисляется сполна до углекислоты и воды; белковые вещества хотя также сильно изменяются, проходя через организм, но не сжигаются до конца, а дают остаток в виде мочевины, содержащей весь азот их, но лишь меньшую часть углерода и водорода. Для взрослого животного можно принять, что весь азот переваренной части выделяется почками в виде мочи, которая примешивается к твердым извержениям. Итак, состав сухого вещества жидких выделений отличается меньшим содержанием водорода и углерода от состава усвоенной части пищи, но усвоенный азот выделяется из организма весь этим путем при обычных условиях (если не принимать во внимание прироста мяса, шерсти, выделения молока), так как через легкие выделяются только углекислота и вода, но не азот. Твердые извержения процентно богаче кормового вещества клетчаткой, беднее другими углеводами и белком, но *в сумме азот твердых и жидких выделений отвечает азоту потребленной пищи, если исключить упомянутые отступления* (рост молодых животных, откорм взрослых, выделение молока, прирост шерсти).

Если определить то, что животным потреблено и что выделено в сумме (в твердых и жидких выделениях), то замечается уменьшение сухого вещества и процентное обогащение азотом и зольными составными частями отбросов по сравнению с кормом. Так, в одном ряде опытов Геннеберга и Штомана (Германия) с рогатым скотом оказалось, что в среднем потреблялось в день около 10,5 кг сухих веществ на голову скота, выделялось в экскрементах 5,2 кг; другая половина сухих веществ тратилась на процессы дыхания.

Так как азот и зольные вещества целиком переходят в экскременты, то содержание их процентно увеличилось приблизительно вдвое.

В данном опыте содержалось в корме азота 1,46%; в сухом веществе смеси извержений азота—2,9%.

Точно так же для зольных веществ: золы в корме содержалось 6,95%, а в извержениях—14%.

Для большинства опытов результат был близок к этому, и такие цифры для травоядных животных могут быть приняты за типичные (если главным кормом является сено).

Жидкие извержения содержат азот и минеральные вещества в виде продуктов распада веществ, усвоенных организмом. Азот здесь содержится в форме мочевины, гиппуровой и мочевой кислот; аммиак здоровым организмом не выделяется, но углекислый аммиак образуется вскоре при брожении мочи. Жидкие извержения содержат 8—9% сухого вещества; в нем содержится около 10% азота (или 1% от сырой массы), 30—40% приходится на зольные вещества (или 3—4% от всей массы). Характерным для жидких извержений травоядных является крайне малое содержание фосфорной кислоты и значительное количество калия; большая часть фосфора пищи выделяется через кишечник. Поэтому *жидкие выделения сами по себе будут удобрением преимущественно азотисто-калийным*; лишь смесь экскрементов является полным удобрением.

Вот прежние данные Буссенго: в 1 000 частях жидких и 1 000 частях твердых извержений рогатого скота содержится (частей):

	Жидкие	Твердые
Азота	9,7	4,2
Фосфорной кислоты	следы	1,0
Окиси калия	13,2	0,5

Однако эти данные прежних времен теперь оказываются не совсем отвечающими действительности, если кормление ведется более интенсивно; когда дается больше N и P в пище, то средними являются такие данные (в процентах):

	N	P_2O_5	K_2O
Твердые выделения	0,40	0,28	0,1
Жидкие »	1,60	0,45	1,55

Абсолютное количество различных веществ, выделяемых почками и через кишечник, различно у различных животных в зависимости от рода пищи. В то время как у плотоядных животных благодаря большей питательности и усвояемости их пищи больше азотистых веществ выделяется через почки,

[1] Для примера укажем на такие данные по четырем звеньям, получившим (в 1936 г.) в Винницкой области урожаи сахарной свеклы свыше 1 000 ц с гектара:

Звенья		I	II	III	IV
Урожай свеклы (в центнерах с 1 га)		1 011	1 029	1 276	1 234
Внесено в виде органических удобрений (в процентах от общего количества внесенных под свеклу удобрений)	N	60	54	64	62
	P_2O_5	46	42	40	80
	K_2O	83	59	60	80

(«Опыт стахановцев сельского хозяйства», М., 1939 г., стр. 112).

у травоядных животных—наоборот; так, 1 голова рогатого скота дает за год приблизительно (в килограммах):

	Азота	Калия	Фосфорной кислоты
Жидких извержений 1 200 кг, в них	17,7	9,6	2,0
Твердых » 6 000 » » »	39,0	4,5	18,0

По сухому веществу перевес на стороне твердых выделений будет еще выше, так как у рогатого скота в них содержится 16% сухого вещества, а в жидких—6% (у лошади—25% и 10%).

По Вольфу, если принять за 100 количество органических веществ, азота и золы в корме, то на твердые и жидкие выделения придется (в процентах):

	Корм	Твердые выделения	Жидкие выделения
Органические вещества . . .	100	42,5	3,4
Азот	100	40,1	47,2
Зола	100	59,7	39,0

Нужно заметить, что соотношение количеств твердых и жидких извержений сильно меняется в зависимости от пищи. От пищи же зависит и их состав: чем водянистее корм, тем больше масса жидких выделений; чем переваримее сухое вещество корма, тем меньше количество сухого вещества в твердых выделениях, а относительно больше в жидких; чем богаче белками корм, тем больше азота в смеси экскрементов твердых и жидких. Но все же считается в общем характерным известное соотношение в содержании воды и азота для различных групп с.-х. животных. Так:

У рогатого скота воды в извержениях 87%, азота 0,4%
» лошадей » » » 78% » 0,7%
» овец » » » 68% » 0,9%

Другая составная часть навоза—*подстилка*—играет двоякую роль: от нее требуется обеспечение чистоты и мягкости ложа для скота, с одной стороны, и, что для нас здесь имеет большее значение, она должна задерживать жидкие извержения и тем предохранять от потерь вещества, важные для удобрения; вместе с тем для нас не безразлично содержание в ней питательных веществ, так как впоследствии они целиком переходят в навоз. На ход разложения навоза подстилка также не остается без влияния, обусловливая, например, большую рыхлость его, следовательно, большой доступ воздуха, или наоборот.

Для подстилки употребляется крайне различный материал; в преобладающем числе случаев на подстилку идет солома злаковых; кроме того, употребляется солома других растений, древесная листва, торф, стружки, мох и т. п.

Если руководиться в оценке соломы злаковых как подстилки количеством воды, которое она может удержать, то с этой стороны солома должна занять одно из *первых* мест. Так, например, при опытах поглощения воды соломой и другими материалами, употребляющимися в качестве подстилки, оказалось, что:

Солома злаков на 100 частей удерживает 180—280 частей воды
» гороха » 100 » » 280 » »
Листья дуба » 100 » » 162 » »
» бука » 100 » » 400 » »
Вереск » 100 » » 100 » »
Хвоя » 100 » » 150—250 » »
Еловая лапка » 100 » » 70 » »
Опилки » 100 » » 420 » »
Стружки » 100 » » 300 » »
Торф (смотря по возрасту торфяника) удерживает на 100 частей 500—700 и даже 1 000 частей воды
Мох на 100 частей удерживает 300 частей воды

Местами, при недостатке соломы, как, например, в Швейцарии, прибегают к разведению осок, грубостебельных злаков (Molinia) и других растений на таких лугах, которые не могут

быть использованы под культуру каких-либо более ценных растений (вследствие избытка влаги). В крайности применяют в качестве подстилки почву, богатую перегноем и песком; но недостаток этих материалов состоит в необходимости передвижения больших масс благодаря малой их влагоемкости (почва—до 50%, песок—25%).

Несмотря на то, что количества воды, задерживаемые соломой бобовых и злаковых растений, почти одинаковы, со стороны влияния на состав навоза эти два рода подстилки далеко не одинаковы. Солома бобовых содержит до 2% азота, который целиком переходит в навоз и улучшает его со стороны химического состава; но эта солома благодаря сравнительно высокому ее питательному достоинству гораздо чаще скармливается скоту, чем употребляется как подстилочный материал (последнее случается при излишней грубости материала или порче его плесневыми грибками и пр.).

Стружки и опилки как материал, содержащий мало азота (около 0,2%), должны уступать соломе с точки зрения внесения в навоз элементов пищи растений; напротив, торф существенно повышает содержание азота в навозе.

Вот примерное содержание азота, фосфорной кислоты и калия в некоторых видах подстилки (в процентах):

	Солома хлебов	Солома бобовых	Лиственная подстилка	Торф
Азота	0,3—0,9	1,2—2,0	0,8—1,4	1,0—2,0
Фосфорной кислоты	0,2—0,3	0,3—0,4	0,2—0,3	0,1—0,3
Калия	0,5—1,1	0,6—1,8	0,2—0,4	0,2

Количество подстилки сильно меняется в зависимости от внешних условий: оно зависит от большей или меньшей водянистости корма и увеличивается вместе с увеличением этой последней; оно зависит от времени года (так как температура влияет на ход испарения и разложения); наконец, существенную роль в данном случае играет и род животных: например, овцы требуют меньше подстилки, чем лошади и рогатый скот, считая, конечно, не только на голову, но и на единицу сухого вещества в корме (приблизительно 1: $^1/_2$ для соломы). В абсолютных величинах считают для лошади необходимым 3—4 кг, для рогатого скота—3—5 кг, для овец—0,5—1 кг соломы на подстилку в сутки.

Одной из весьма существенных мер для улучшения качества получаемого навоза является превращение соломы, употребляемой на подстилку, в крупную резку (длиной 15—20 см). Такая резка быстрее впитывает жидкую часть выделений, она лучше смешивается с экскрементами; навоз получается более однородным, облегчается работа с ним во время нагрузки, при укладке в навозохранилище, уплотнении и при распределении и заделке в поле.

Торф употребляется на подстилку в разных видах. Наибольшей способностью поглощать воду обладает моховой торф, состоящий из малоразложившихся еще растений (Sphagnum) и могущий заменить солому, которую он превосходит по способности поглощать жидкости и газы (важно для устранения потерь аммиака); но и торф, более разложившийся, идет в подстилку в различных формах; так, нередко устилают пол конюшни торфом, сверху покрывая его соломой (иногда для этого дробят торф на торфяных мельницах, нарезках и т. п.). Количества торфа меняются в зависимости от его способности удерживать жидкости и газы. Но торф интересен не только как поглотитель, он сам содержит много азота (в 3—5 раз больше, чем солома); ввиду важности вопроса об использовании торфа в деле приготовления навоза этот вопрос будет ниже рассмотрен особо.

Навоз в зависимости от своего происхождения и условий сохранения имеет различный состав.

В среднем (по Вольфу) приходится на 1 000 частей навоза:

	Воды	Азота	P_2O_5	K_2O
У овец	646	8,3	2,3	6,7
» лошадей	713	5,8	2,8	5,3
» свиней	724	4,5	1,9	6,0
» рогатого скота	775	3,4	1,6	4,0

Следовательно, содержание питательных (для растений) веществ ограничивается долями процента; эти питательные вещества сопровождаются в навозе значительной массой органического вещества и еще большим количеством воды; на этом основании (а также в целях улучшения физических свойств почвы) навоз приходится вносить в очень больших количествах по сравнению с удобрениями, ранее рассмотренными.

В практике употребляется чаще всего навоз полуперепревший; средние цифры состава смешанного, полуперепревшего навоза, которыми можно пользоваться для приблизительных расчетов, таковы:

Воды	75,0%	P_2O_5	0,2%
Азота	0,5%	K_2O	0,6%

Состав навоза, кроме того, что зависит от рода животных, также зависит и от пищи: чем больше белков содержится в пище животного, тем богаче навоз азотом. Так, при кормлении рогатого скота сеном (люцерной) и корнеплодами с добавкой ржаной муки азота в навозе было 0,65%, а при кормлении соломой с добавкой ржаной муки и капустных листьев азота было в навозе до 0,41%; фосфорной кислоты в первом случае было 0,3%, а во втором—0,15%, т. е. вдвое меньше.

РАЗМЕРЫ НАКОПЛЕНИЯ НАВОЗА

Количество всего получаемого в хозяйстве навоза можно для предварительных соображений рассчитывать или по количеству скота или по количеству кормов. При грубом подсчете вес всего стада помножают на 25; полученное число дает приблизительный вес всего навоза за год, но, смотря по тому, сколько времени животные проводят в стойлах и сколько вне их, приходится для разных условий брать различные коэфициенты. Можно также, по Леммерману, для времени пребывания животных в стойлах считать, что на 1 000 кг живого веса получается 72 кг навоза в сутки.

Вольф дает следующий способ вычисления количества навоза по количеству съеденного корма. Организм животного при обычном питании травоядных сжигает приблизительно половину сухого вещества корма, а другая половина переходит в навоз. Если мы знаем количество корма, употребленного животными, то можем высчитать в нем количество сухого вещества; пусть оно будет a; половина его перейдет в навоз $\left(\frac{a}{2}\right)$, туда же перейдет все сухое вещество подстилки b; всего сухого вещества в навозе $\frac{a}{2}+b$. В среднем навоз содержит 75% воды; следовательно, если мы общее количество сухого вещества помножим на 4, то получим количество навоза, которое можно получить при данном количестве корма и подстилки:

$$\left(\frac{a}{2}+b\right)\cdot 4.$$

Способ Баталина претендует на большую точность при вычислении общего количества свежего навоза, но она оказывается излишней, потому что при перепревании теряется значительная и трудно определяемая количественно часть навоза; ее приходится оценивать на-глаз, а потому точные вычисления количества свежего навоза не имеют особого значения. Баталин пользуется в данном случае переваримостью отдельных составных частей корма: вся норма целиком переходит в экскременты; из белковых, безазотистых веществ и древесины в навозе будет непереваримая часть. Из переваримой части белков в виде мочевины попадает в навоз около $^1/_3$ (предполагая, что весь азот переваренных белков выделен через почки). Безазотистые соединения—углеводы переваримой части—идут на дыхание, а потому в навоз не переходят. Поэтому если взять золу, $^1/_3$ переваримых белковых веществ, сумму непереваренных веществ, все сухое вещество подстилки и все это помножить на 4, то получим количество навоза.

Обычно считают, что в среднем лошадь дает около 7 т, рогатый скот—10 т (откармливаемые волы—до 16 т), овцы—около 0,5 т и свиньи—от 1 до 1,5 т навоза на 1 голову в год.

Так как количество навоза, накопляемого в хозяйстве, от головы скота изменяется в зависимости от продолжительности стойлового периода (а он не-

одинаков в разных зонах—продолжительнее на севере и короче на юге), то иногда пользуются такими примерными нормами:

Длина стойлового периода (в днях)	220—240	200—220	180—200	менее 180
Количество навоза, накопляемого от 1 головы крупного рогатого скота[1] в год	10 т	9 т	6—8 т	4—5 т

Понятно, что подобные нормы накопления навоза весьма приблизительны и условны, ибо при увеличении количества подстилки и улучшении хранения навоза можно добиться и более высоких выходов его на голову скота (например, до 15—16 т и даже выше на голову крупного рогатого скота).

Для определения количества навоза, сложенного в кучах или штабелях, принимают, что 1 м³ весит (в килограммах):

Свежий навоз	300—400
Уплотненный навоз	700
Полуразложившийся навоз	800
Влажный, разложившийся навоз	900

Зная вес 1 м³ навоза и измерив длину, ширину и высоту штабеля навоза, можно легко подсчитать примерное количество навоза в тоннах.

ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ НАВОЗА

Первым процессом, наступающим непосредственно после выделения экскрементов, является аммиачное брожение азотистых веществ, входящих в состав жидких выделений животных: мочевины и гиппуровой кислоты. Гидролитическое расщепление мочевины (под влиянием фермента уреазы) совершается наиболее быстро:

$$CO\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix} + 2H_2O \rightarrow CO\begin{matrix}ONH_4\\ONH_4\end{matrix} = (NH_4)_2CO_3.$$

Несколько медленнее, но все же быстро подвергается разложению гиппуровая кислота, дающая вначале бензойную и аминоуксусную кислоту:

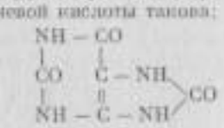
$$C_6H_5CO\cdot NH\cdot CH_2COOH + H_2O \rightarrow C_6H_5COOH + CH_2NH_2COOH.$$

Находящаяся в небольшом количестве в жидких выделениях мочевая кислота, представляющая циклическое соединение (пуриновое производное) $C_5H_4N_4O_3$, более устойчива, но и она также разлагается с образованием мочевины, а затем углекислого аммония[2].

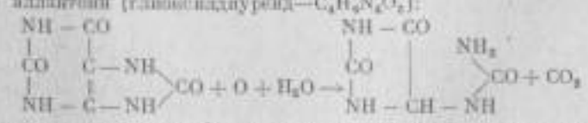
---

[1] При подсчете навозонакопления по поголовью скота по этим нормам одной голове крупного рогатого скота (по количеству накопляемого навоза) приравнивают 1,5—2 рабочих лошадей, 2 головы молодняка до 2 лет, 3—5 телят, 4—5 взрослых свиней и 10 овец.

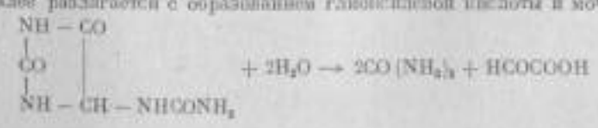
[2] Структурная формула мочевой кислоты такова:



При окислении мочевая кислота отщепляет CO_2 и дает в качестве промежуточного продукта распада аллантоин (гликосиддиуреид—$C_4H_6N_4O_3$):



Аллантоин далее разлагается с образованием глиоксилевой кислоты и мочевины:



Так как углекислый аммоний представляет соль, легко диссоциирующую на аммиак и углекислоту

$$(NH_4)_2CO_3 = 2NH_3 + CO_2 + H_2O,$$

то аммиачное брожение мочевины (и других азотистых веществ) представляет источник крупных потерь азота в виде газообразного NH_3. Потери эти замечены давно, но позднее только определили их размеры, причем они оказались гораздо больше тех, какие предполагались.

По этому вопросу есть целый ряд работ; приведем пример из прежних опытов Мюнца и Жирара во Франции. Мюнц и Жирар при своих исследованиях пользовались конюшнями Парижской компании омнибусов, в которых уход как за животными, так и за получаемым от них навозом отличался, по отзыву авторов, тщательностью и где можно было для опытов пользоваться большим числом однообразно содержимых животных. Несмотря на уход, потери при хранении навоза были велики. Так, опыт с лошадьми производился в течение месяца; при этом животные взвешивались для проверки постоянства их веса, взвешивались и анализировались их корм и получаемый от них навоз. Результат был такой: *недоставало 28% азота от того количества его, которое было дано в корме.*

Такой же опыт был проведен с рогатым скотом, и через 45 дней баланс азота выражался такими относительными цифрами (в процентах):

Азот в корме и подстилке	100,0	Найдено в навозе	41,6
Отложено животными в мясе	10,2	Найдено в навозной жиже	6,5
Выделено в молоке	10,0	Потеря	31,7

Как крайний случай приведем следующий пример на опытах Мюнца с овцами, в котором животные получали очень богатый азотистыми веществами корм (люцерна), подстилка не давалась, жидкие выделения стекали по асфальтированному полу в канавку (следовательно, условия способствовали потерям аммиака); за 16 дней азот потребленного корма (100%) распределился следующим образом (в процентах):

Отложено в теле животных (мясо и шерсть)	19,7
Найдено в навозе	24,7
Потеряно	55,6

Нужно заметить, что эти опыты производились в жаркое время года, а потому аммиачное брожение шло весьма энергично, а так как в условиях опыта создавалась большая поверхность соприкосновения жидких выделений с воздухом, то потери аммиака были необычно велики (однако у нас встречаются местами подобные же условия, как, например, в хозяйствах Средней Азии, где недостаток соломы заставляет иногда обходиться без подстилки, причем азот жидких выделений большей частью теряется).

Что брожение мочевины действительно в значительной мере зависит от температуры, показали опыты тех же авторов; у них при брожении мочевины

при	7° Ц	потерялось	азота	. . . . .	237 мг
»	11° »	»	»	. . . . .	469 »
»	20° »	»	»	. . . . .	704 »
»	30° »	»	»	. . . . .	920 »

Для борьбы с потерями аммиака предлагали употреблять различные средства; прежде всего внимание останавливается на кислотах для связывания аммиака, и действительно было время, когда рекомендовали употреблять серную кислоту для поглощения аммиака в навозе. Но вместо серной кислоты с большим удобством можно было бы употреблять ее соли — гипс и железный купорос, чаще — первый. Основание этой соли при обменном разложении с углекислым аммонием связывается углекислотой, давая осадок $CaCO_3$, а серная кислота связывает аммиак, образуя нелетучую сернoаммиачную соль. Так реакция идет в растворе; при высушивании или повышении температуры она может пойти и обратно:

$$(NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 \rightleftarrows (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3.$$

При употреблении этих веществ не следует упускать из виду, что в моче есть и другие части, которые могут реагировать с гипсом, именно углекислые щелочи (K и Na), точно так же образующие $CaCO_3$ и соответствующую соль H_2SO_4; поэтому приходится прибавлять излишнее количество гипса для удерживания аммиака, чтобы присутствие нелетучих щелочей не парализовало его действия (кроме того, часть гипса при процессах восстановительных превращается в CaS). Благодаря этому обстоятельству, по данным Мюнца, на голову рогатого скота требуется в год 600—700 кг железного купороса или гипса; по мнению этого автора, такая затрата выходит уже за пределы рентабельности при условиях французского хозяйства. В Германии же иногда считают возможным применять по 2 кг гипса в сутки на голову рогатого скота.

Кроме этих солей, рекомендовали употреблять калийные соли, содержащие $MgSO_4$ или $MgCl_2$ и действующие таким же образом. Однако имеются наблюдения, что, например, каинит вызывает воспаление ноги на ногах и на вымени животных, а попадая внутрь организма, каинит может вредить здоровью животных; наблюдались далее случаи смерти мелких животных (овцы, куры) от каинита (куры имеют наклонность проглатывать как раз более крупные зерна каинита, а 2 г уже могут быть для них смертельны, если не дать после этого пить вволю). Поэтому следует избегать его применения в стойлах (о применении при хранении на гноище см. ниже).

Из веществ, не предохраняющих жидкие выделения от брожения, но удерживающих получающийся аммиак, вводят одновременно с соломой в подстилку торф в разнообразных формах (волокнистый торф, торфяной порошок или просто подсушенный торф). Торф кладут слоем на пол стойла, а потом кладут подстилку, причем меняют или добавляют только солому, не трогая торфа; реже сменяют то и другое. Иногда, настилая под животными солому, располагают измельченный торф в прикрытых решетками углублениях на пути движения жижи по склону пола к канаве, чем достигается чистота ложа с одновременным поглощением избытка стекающей жидкости торфом. При употреблении торфяной подстилки количество аммиака в воздухе значительно понижается или сводится к нулю, что имеет значение как в смысле устранения потерь азота, так и с точки зрения зоогигиены.

Аммиачное брожение мочевины наступает довольно быстро; оно может достигать значительной энергии еще в стойле, раньше, чем жижа достигает гноища. Так, в одном опыте наблюдалось, что жидкость в сточной канаве перед стеканием в колодец содержала в литре лишь 2 г органического и 9 г аммиачного азота. Таким образом, за короткое время большая часть азота превратилась в аммиачный азот.

Поэтому если навоз хранится не под животными, а при периодической очистке перемещается на гноище, то лучше для целей сохранения азотистых веществ, кроме ежедневной очистки стойла от навоза, канавкам для стока жижи давать достаточный уклон, чтобы разложение мочевины протекало преимущественно тогда, когда жижа попадает в разлагающуюся массу навоза или в закрытый колодец с атмосферой, насыщенной углекислотой.

Дело в том, что углекислый аммоний не улетучивается сам по себе, но предварительно диссоциирует на NH_3, CO_2 и H_2O; но если атмосфера насыщена углекислотой, то диссоциации нет, нет и улетучивания; поэтому *поддержание равномерной влажности в куче навоза*, создавая всюду условия для развития микроорганизмов и выделения ими углекислоты за счет разложения органических веществ, *является в то же время мерой борьбы с потерями аммиака в навозе.*

От этих *первичных изменений* переходим теперь к условиям разложения и изменения навоза при *более продолжительном хранении* его под ногами животных или на гноище, где изменяется также органическое вещество твердых экскрементов и подстилки.

Начнем с превращения безазотистых веществ. Нередко говорят о различных способах хранения навоза и о том, что будто бы при одних способах идут процессы аэробного разложения, при других — анаэробного, причем аэробный распад характеризуют распадом клетчатки до углекислоты и воды, а анаэробный — до углекислоты и метана по уравнению:

$$C_6H_{10}O_5 + H_2O + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O;$$
$$C_6H_{10}O_5 + H_2O = 3CH_4 + 3CO_2.$$

Так как в первом случае вместе с кислородом проникает и азот воздуха, то присутствие азота в смеси указывает на участие воздуха в процессах разложения. Если же азота нет, а только смесь углекислоты и метана, то, значит, процесс шел без доступа воздуха. В тех же случаях, когда одновременно в смеси участвуют углекислота, метан и азот, ясно, что оба типа разложения сменивались между собой.

Но часто схемы, рисующие аэробный или анаэробный тип хранения навоза, не основанные на фактических данных анализа газовой смеси, заполняющей поры в навозе, имеют очень мало отношения к действительности; поэтому начнем с фактов. Возьмем случай, казалось бы отвечающий хранению навоза в условиях аэробных, именно по типу, часто встречающемуся во Франции; навоз хранится не в углубленных, а в надземных гноищах на асфальтированной площадке, в виде прямоугольных куч с правильно выведенными стенками, для чего солома кладется по краям с последующим загибом внутрь, с уплотнением краев ногами работающего, одетыми в деревянные башмаки (sabots).

Из находящегося рядом колодца навозная жижа подается на поверхность кучи в целях возможно равномерного увлажнения, избыток жижи стекает обратно в колодец; казалось бы, что опускающаяся жижа должна тянуть за собой воздух и тем способствовать аэрации кучи. Однако оказывается, что аэробное брожение ограничивается самыми поверхностными слоями, а вглубь проникает только в случае просыхания кучи, которого не полагается допускать по ряду причин (потери аммиака через улетучивание, развитие плесневых грибов и пр.).

Вот что нашел французский агрохимик Дегерен при анализе газов, извлеченных с помощью аспиратора из разных частей такой кучи (в процентах):

Газы	На поверхности кучи	В середине кучи	В глубоких слоях
CO_2	21,6	31,2	22,7
O_2	0	0	0
N_2	78,4	35,5	0
CH_4	0	33,3	77,3

Таким образом, *в глубине кучи* даже при надземном хранении навоза *происходит анаэробный процесс*, и газы, находящиеся там, получаются от разложения углеводов подстилки и экскрементов. В наружных слоях углекислота образуется за счет кислорода воздуха, который быстро исчезает (поэтому содержание азота здесь отвечает атмосферному только у самой поверхности, а вглубь убывает), и по мере уменьшения количества N_2 (остаток от проникновения воздуха) растет количество метана, и в глубине кучи не только кислорода, но и азота вовсе нет.

При высыхании воздух проникает глубже, при ближайшем дожде или поливке зона анаэробного брожения передвигается вверх. Разложение при доступе воздуха идет гораздо энергичнее, чем в условиях анаэробных. В зависимости от доступа воздуха также и температура внутри кучи может значительно повышаться.

Так как навоз служит не только для удобрения, а иногда и для обогревания (парники), то условия разогревания разных видов навоза при разложении небезразличны.

По наблюдениям Дегерена, температура внутри разлагающейся массы навоза чаще всего колеблется около 60° Ц, но в некоторых случаях она доходит до 70° и даже 75° в верхних частях кучи, следовательно, при доступе воздуха (в глубоких же слоях, куда воздух не проникает, температура обычно не превышает 30—35°). Высокие температуры связаны с развитием группы бактерий, которые обозначают общим именем *термофильных* бактерий; они предпочитают субстрат, более богатый азотистыми веществами, чем обладают большую способность некоторых видов навоза сильнее разогреваться, таков, например, конский навоз, более богатый азотом и предпочитаемый в качестве источника тепла при набивке парников (к тому же он не имеет того избытка влаги, как навоз рогатого скота). По некоторым наблюдениям, *ход температуры* в навозе разного происхождения характеризуется следующими цифрами:

Вид навоза \ Дни	0	4	7	12	16	20	24	28	32	36
Навоз конский	5	50	75	55	25	24	22	20	18	17
» овечий	5	25	50	65	40	20	18	18	17	16
» крупного рогатого скота	5	15	25	35	42	40	30	20	10	10

Как видим, конский навоз раньше разогревается и дает более высокую температуру, которая по миновании периода энергичного разложения затем довольно быстро опускается; если желают получить более равномерное и продолжительное разогревание, то можно примешивать навоз другого происхождения или разлагающуюся листву.

При опытах Шлезинга в искусственной обстановке анаэробное брожение навоза шло еще при 72,5°, лишь при 80° оно останавливалось. Одним из условий метанового брожения является также слабощелочная реакция среды, которая в навозе является результатом образования углекислого аммиака. При искусственном осуществлении метанового брожения приходится, кроме того, повышать температуру в соответствии с условиями разложения навоза. В одном опыте Шлезинга 124 г навоза положены были в колбу с газоотводной трубкой; температура в течение всего опыта (2 месяца) поддерживалась 52° Ц. Собранные газы в навоз после опыта были анализированы; получено CO_2—4,217 см³, метана—4,557 см³, следовательно, почти равные объемы, как и следует по уравнению, ранее приведенному.

Углерода содержалось в навозе 12,6 г, а в продуктах собрано 4,7, т. е. больше $^1/_3$; при этом вес выделенных газов превышает потерю в весе взятого сухого вещества вследствие того, что в реакции участвует вода. Кроме распада на углекислоту и метан, идет образование других продуктов; так, Дегерен констатировал присутствие летучих кислот (валерьяновой, уксусной); одновременно продвигается вперед и процесс гумификации.

Значительность количества выделяющегося в навозной куче метана можно показать, взяв газ из внутренних частей навозной кучи и применив его в лаборатории (после очистки от CO_2) так же, как и светильный газ.

Принято думать, что главным материалом для метанового брожения служит клетчатка, но для этой цели могут служить и другие вещества (крахмал, пентозаны, жирные кислоты, даже белки).

В ряде случаев отмечено, что пентозаны (и вообще гемицеллюлезы) разлагаются быстрее клетчатки; например, в одном опыте через 4½ месяца убыль органического вещества вообще и пентозанов в частности выражалась такими цифрами (в процентах):

	При 15° Ц		При 35° Ц	
	аэробные	анаэробные	аэробные	анаэробные
Общая убыль органических веществ	11,8	3,6	39,4	34,0
Убыль пентозанов	18,6	9,4	62,8	59,6

Так как распад пентозанов опережал распад клетчатки (а тем более лигнина), то это отразилось в приведенных цифрах, которые кстати служат примером для иллюстрации влияния температуры и доступа воздуха на интенсивность разложения.

В опытах НИУ убыль клетчатки колебалась между 5 и 42%, а убыль пентозанов—между 47 и 66%, смотря по способу хранения навоза.

Иногда, кроме углекислоты и метана, наблюдается выделение и других газов при анаэробном процессе, именно водорода, сероводорода и азота. По опытам Дегерена, недостаток щелочи обусловливает выделение водорода вместо метана; сероводород может происходить или от восстановления сульфатов (особенно при введении гипса), или от распада белковых веществ.

Что касается азотистых веществ, то только сначала процессы идут в том же направлении, как и в стойле, т. е. мочевина превращается в углекислый

аммиак, хотя это брожение может достигать maximum'а даже раньше, чем все жидкие экскременты попадут в навозохранилище, если им приходится протекать по канавке не очень малой длины. Но затем начинают преобладать другие процессы, благодаря своей сложности не легко поддающиеся расчленению. Даже в целях суммарного количественного учета с таким громоздким материалом, как навоз, оперировать нелегко; трудно даже брать средние пробы (если применять тщательное перемешивание для составления средней пробы, то происходят потери воды и аммиака, усиленная аэрация и т. д.); далее, результаты лабораторных опытов не всегда можно переносить непосредственно на процесс разложения навоза на гноище вследствие различия в условиях согревания и охлаждения массы, вентиляции и др.

Тем не менее превращения азотистых веществ при хранении навоза изучались в различных условиях и обстановке, и это изучение показало, что вторичные изменения и потери могут быть весьма значительными, причем, *кроме процесса распада* и упрощения состава азотистых веществ, *имеют место вторичные процессы синтеза*, поэтому количество аммиака дальше может убывать не только потому, что аммиак улетучивается, но и *вследствие перехода в органические азотистые соединения*. Это констатировано как при опытах воспроизведения процессов разложения навоза в лабораторной обстановке, так и прямым анализом навоза в разных степенях разложения.

Правда, прежние опыты ставились по типу аэробного хранения, поэтому и потери аммиака через улетучивание и переход его в белковые соединения (в грибную клетчатку, содержащую азот) могли достигать гораздо больших размеров, чем при современной установке на возможно меньшую аэрацию навоза; тем не менее эти данные представляют интерес, как характеризующие хотя бы неправильные, но все еще распространенные способы хранения навоза.

Так, в одном опыте бралась смесь конских экскрементов и мелко изрезанной соломы; смесь эта помещалась в колокол с тубусом, обращенным вниз так, чтобы избыток жидкости мог стекать в находящийся под колоколом закрытый сосуд; сверху колокол был закрыт стеклянной крышкой для уменьшения испарения, смесь поливалась время от времени той же жидкостью, которая стекала вниз. Опыт тянулся 6 месяцев; сухого вещества за это время потерялось 50%; из 100 частей азота аммиака осталось только 14,6; 40,7 части аммиачного азота улетучивались, а 44,7 части перешли в органическое вещество[1].

В другом случае опыт с разложением в искусственной обстановке (при повышенной температуре и щелочной реакции) тянулся 3 месяца. Азота в форме NH_3 до опыта было 2,64 г, осталось 0,40 г, в азот растворимых органических соединений перешло 0,96 г, остальное количество улетучилось.

Какие же причины вызывают обратный переход аммиака в органические соединения?

Здесь играют роль как причины биологического характера, так и часто химические процессы.

Так, если экскременты содержат массу микроорганизмов, а солома дает им безазотистую пищу в виде клетчатки и пентозанов, то, *размножаясь, эти микроорганизмы строят белок своего тела за счет углеводов соломы и азота аммиака* (а у грибов азот входит еще и в состав клеточных стенок).

Далее установлено, что чисто химическим путем аммиак и аминокислоты могут связываться с углеводами, реагируя по типу:

$$R\cdot C\begin{matrix}/O\\ \backslash H\end{matrix} + H_2NR^1 = R\cdot C\begin{matrix}/N\cdot R^1\\ \backslash H\end{matrix} + H_2O$$

При этом получаются темноцветные соединения, подобные гумусу, и они участвуют в той смеси органических веществ, которые окрашивают навозную

[1] Так как в прежних опытах не определялся поглощенный аммиак, то количество азота в органических соединениях часто преувеличивалось.

жижу в свойственный ей темнобурый цвет. Кроме того, можно предполагать переход аммиачных соединений в амидные формы.

Так, вероятно, объясняются прежние наблюдения, сделанные еще в Петровской академии в восьмидесятых годах Тарховым, что если приготовить аммиачное соединение гуминовой кислоты и потом его высушить, то не удается обнаружить весь аммиак при нагревании такого соединения с MgO—часть аммиака уже перешла в органические соединения.

Итак, *аммиак, образующийся в первых стадиях разложения при распаде мочевины, в последующих стадиях может переходить частично в азот органических соединений, отчасти растворимых, отчасти нерастворимых*, обычно принимаемых за белковые вещества (заметим, что при обычном суммарном определении белковый азот не отделяется от азота гуминовых веществ).

Немало работ посвящено было вопросу о том, происходит ли в навозе потери азота иным путем, кроме улетучивания аммиака (и потерь в виде навозной жижи, если не устранено ее стекание на сторону или просачивание через дно колодца). Одно время интересовались вопросом, не происходит ли в навозе *денитрификация* (см. сказанное в общей части, стр. 181). Но чтобы могла итти денитрификация, ей должно предшествовать образование нитратов, одно спорным является вопрос, насколько в навозе может иметь место нитрификация, не говоря о необходимости заражения нитрифицирующими бактериями со стороны, так как, экскременты их не содержат; но одного заражения (например, от соприкосновения с землей) еще недостаточно, нужно еще, чтобы были налицо условия, благоприятные для деятельности нитрификаторов. Здесь же приходится считаться с тем фактом, что *в навозной массе эти бактерии размножаться не могут* (Niklewski); хотя твердые составные части навоза не содержат вещество, прямо мешающих размножению нитрификаторов, но *их резко выраженная потребность в кислороде противоречит предположению о возможности нитрификации внутри навозной кучи*. Действительно, анализы показывают, что нитратов в навозе мало[1] или они совершенно отсутствуют.

Лишь в наружных частях кучи, в особенности в местах соприкосновения с землянной или торфяной подстилкой, их может содержаться заметное количество. В массе же навоза только тогда может быть много нитратов, если навоз смешивается с землей или торфом, но взгляды на причины отсутствия (или малого содержания) нитратов у лиц, изучавших это явление, в отдельных случаях не сходятся; одни говорят, что они и не образуются, а другие—что они распадаются благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий или вследствие других причин (например, по мнению некоторых авторов, потери азота при гнении органического вещества навоза в форме свободного азота возможны благодаря тому, что при соприкосновении азотистокислых солей с аминосоединениями в присутствии CO_2 происходит разложение их с выделением свободного азота, независимо от деятельности бактерий).

Но если в навозе нет условий для нитрификации, то тогда невозможна и денитрификация, ибо для нее нет материала; другое дело, если ввести нитраты искусственно; опыты Эренберга показывают, насколько энергично идет их распадение в таком случае. Брались экскременты различных животных и подвергались анаэробному разложению в колбе с газоотводной трубкой без прибавки нитратов и с ними. Без нитратов шло метановое брожение, а прибавка селитры подавляла его, вызывая выделение свободного азота и углекислоты. Так, в одном опыте после прибавки KNO_3 было в газах, выделенных из колбы (в процентах):

	CO_2	N_2	CH_4
Через 10 дней	75	25	0
» 20 »	53	46	0
» 30 »	47	49	3
» 60 »	45	0	54

Следовательно, метановое брожение временно превращалось под влиянием того кислорода, который бактерии брали из селитры, а после того как разлагалась селитра и потреб-

[1] Вот данные по распределению азота в некоторых образцах навоза, анализированных Мервером:

	Всего N	N нерастворимых органических соединений	N амидный	N аммиака	N нитратов
1 б анализ	0,548	0,364	0,017	0,157	0,004
2 б »	0,730	0,454	0,037	0,225	0,018

лился кислород ее, опять начинало́сь метановое брожение. Этот опыт наглядно показывает, насколько невыгодно было бы вводить в навоз материалы, содержащие нитраты.

Кроме этого рода потерь в условиях анаэробных, наблюдаются иногда потери азота при условиях прямо противоположных. Детерен высказал, на основании своих наблюдений, что потери свободного азота возможны также при избыточном доступе воздуха путем окисления азотистого органического вещества; он наблюдал при протягивании воздуха в течение трех недель через навозу, содержащую нормальный навоз и помещенную в подвижную банку, при 50° Ц потери азота в 10—15% сверх того азота, который был выделен в виде аммиака и уловлен серной кислотой.

Подобные наблюдения относительно выделения свободного азота при аэробном разложении сделаны также и другими авторами. Эренберг на основании своих опытов приходит к заключению, что «биологическое окисление аммиака до свободного азота» может быть столь же (если не более) вероятным источником потерь азота, как и денитрификации.

Однако можно думать, что в этих случаях потери вызываются все-таки благодаря разрушению нитратов, несмотря на вполне аэробные условия, благодаря способности азотистой кислоты разлагать аминокислоты с выделением свободного азота согласно схеме:

$$R(NH_2)COOH + HNO_2 = R(OH)COOH + N_2 + H_2O.$$

Экспериментальные подтверждения этого даны работами Никлевского (1928 г.), который сравнивал содержание общего азота и аминокислот в образцах навоза при заражении нитратными бактериями (в условиях сильного разложения жидких выделений) и без такого заражения; вот примеры из этой работы:

		При заражении	Без заражения
Количество аминного азота (в процентах от всего азота)	1	0,18	19,6
	2	0,05	16,4

Одновременно уменьшалось количество аммиака, который переходил в азотистую кислоту, а затем эта кислота, совместно с аминовой группой гуминовых кислот, разрушалась с выделением свободного азота; поэтому через 11 месяцев общее количество азота в образце, зараженном нитратными бактериями, упало с 2,773 г до 2,168 г, в то время как в образце незараженном оно почти не изменилось (2,693 г азота вместо 2,773 г в исходной пробе).

Конечно, такие условия избыточной аэрации, при которых часть аммиака улетучивается, а другая окисляется и вызывает потери азота описанным способом, могут иметь место только при совершенно неправильном обращении с навозом.

От рассмотрения отдельных процессов перейдем к вопросу об изменении валового состава навоза при хранении. Под влиянием низших организмов всегда происходит значительная потеря сухого вещества навоза вследствие выделения CO_2, CH_4 и H_2O (разумеем здесь не испарение свободной воды, а образование воды при окислении углеводов по схеме: $C_6H_{10}O_5+6O_2=6CO_2+5H_2O$). Потери азота, как правило, меньше, чем потери сухого вещества, но при очень плохом хранении может иметь место и обратное явление, как это известно еще из давнего опыта Фелькера (Англия), который три одинаковые порции свежего навоза поместил в разные условия разложения, а именно: 1) в куче под крышей, 2) в куче, но на открытом воздухе, 3) то же, на открытом воздухе, но в виде слоя небольшой толщины. Результат был следующий (по расчету на 1 000 кг исходного веса):

Время анализа	1		2		3	
	Вес в процентах	Количество N	Вес в процентах	Количество N	Вес в процентах	Количество N
В начале опыта	1 000 кг	6,43 кг	1 000 кг	6,43 кг	1 000 кг	6,43 кг
Через 6 месяцев	405 »	5,91 »	714 »	6,39 »	865 »	4,66 »
» 9 »	398 »	5,77 »	703 »	4,55 »	612 »	2,47 »
» 12 »	379 »	5,02 »	700 »	4,19 »	575 »	2,27 »
Процент воды в конце опыта	41,0	—	74,3	—	65,6	—
Потеря азота (в процентах)	—	14	—	30	—	64
Потеря сухого вещества (в процентах)	34,0	—	46,8	—	41,5	—

Так как в начале этот навоз содержал 66,2% воды, то уменьшение общего веса навоза при хранении его под крышей в значительной мере было связано с потерей воды от испарения; при хранении же под открытым небом дождевая

вода или компенсировала потери от испарения или даже вызывала увеличение содержания воды в навозе. Но главный ущерб дождевая вода причинила вымыванием растворимых составных частей навоза. Особенно велики были потери азота в случае третьем, причем они превысили потери сухого вещества.

Но если не останавливаться на таких крайних случаях, то, как правило, навоз при хранении относительно обогащается азотом и зольными веществами, как это видно, например, из следующих данных Гольдефлейса (в процентах):

	Навоз свежий	Навоз, лежавший 7 месяцев
Азота	0,396	0,444
Сухого вещества	19,1	19,2
P_2O_5	0,148	0,210
K_2O	0,511	0,725
CaO	0,424	0,640

Обогащение азотом и зольными веществами является следствием потери углеводов при разложении, и этот процесс как бы продолжает тот ряд изменений, который претерпели вещества кормов, проходя через органиэм травоядных; однако повышение процентного содержания азота и зольных веществ имеет только относительное значение; перепревший навоз остается все-таки низкопроцентным и громоздким удобрением, и главный смысл перепревания заключается в удалении из навоза легко разлагающихся углеводов (клетчатка, пентозаны и другие представители группы гемицеллюлез), которые могут производить отрицательное действие на азотистое питание культурного растения в случае внесения неперепревшего навоза в почву незадолго до посева.

РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ НАВОЗА

Познакомившись с главными изменениями, происходящими в разлагающемся навозе, посмотрим теперь, насколько применяемые в хозяйствах способы его хранения позволяют регулировать течение этих процессов и, по возможности, снижать те потери питательных веществ, которые так легко могут принимать весьма значительные размеры.

Можно различать четыре главных случая хранения навоза: 1) хранение под скотом, 2) обычное неурегулированное хранение навоза на гноище, 3) приготовление «холодного навоза» путем немедленного уплотнения, 4) приготовление «горячего навоза» путем временной рыхлой укладки и последующего уплотнения.

Хранение под скотом может давать очень хороший навоз, но встречает возражения с точки зрения зоогигиены; поэтому этот способ совершенно не годится для молочного скота и лошадей, но его допускают (даже в крупных хозяйствах) для овец, коз и недоращенного рогатого скота (молодняк, рабочие и частью откармливаемые волы) ввиду крупного удешевления ухода за скотом и за навозом при хорошем качестве последнего. Такой навоз в Германии называют «навозом глубоких стойл» (Tiefstalldünger), потому что в соответственном отделении стойла пол укладывается на 1—1,5 м глубже, чем в соседних отделениях; на цементированный пол укладывают слой соломы (а еще лучше, если под него закладывается слой торфа), подстилку дают обильнее, чем обычно, солому часто режут на части в 15—20 см длиной для лучшего всасывания жижи и более равномерного смешения с экскрементами; при этом *вся экскреция остается в навозе*, и если животные (как это обычно бывает) свободно двигаются по стойлам, то они равномерно увлажняют всю массу и равномерно ее уплотняют, создавая условия для анаэробного разложения и насыщения всей массы углекислотой, что очень сильно понижает потери азота, как видно из следующих данных Меркера (Германия):

Составные части	I. Навоз глубокого стойла	Обыкновенный навоз с гноища	
		II. Под крышей	III. Без крыши
Азот кормов и подстилки	469 кг	469 кг	469 кг
Вес навоза после перепревания	524 ц	483 ц	527 ц
В нем воды	378 »	338 »	441 »
Сухого вещества	146 »	145 »	116 »
Азота	407 кг	292 кг	295 кг
Потеря азота	62 »	177 »	174 »
То же (в процентах)	13,2	37,4	36,9

Таким образом, *потери азота при хранении под скотом были почти втрое ниже, чем при ежедневной выгрузке навоза на гноище*[1].

Из навоза, хранившегося под скотом, не наблюдалось никакого стекания жижи, в то время как из открытого гноища оно было значительным; крытое гноище тоже дало известное количество жижи (здесь не применялось уплотнение, см. ниже о влиянии рыхлой и плотной укладки).

Кроме лучшего сохранения азота вообще, еще и доля растворимых соединений была при хранении под скотом выше:

	Всего азота	Растворимого N	На 100 частей N растворимого
Под скотом	0,777	0,271	34,9%
На гноище (без крыши)	0,554	0,122	22,1%

Кроме высокого качества навоза, при хранении под скотом отпадают работа по ежедневной выгрузке навоза, расходы по постройке гноища и колодца для жижи и трудность ее вывозки, а также и устройство дорого стоящей и потому обычно отсутствующей крыши над гноищем (поэтому, как правило, важным отличием навоза под скотом от обычного является то обстоятельство, что *дождевая вода не участвует в его образовании*); в стойле зимой теплее (от теплоты навоза), но требуются более совершенные приспособления для вентиляции ввиду выделения газов разлагающимся навозом.

То обстоятельство, что жижа при этом способе удерживается в навозе, имеет и еще одну положительную сторону, именно жижа устраняет рост развития нитритных бактерий, чем устраняется значительный источник возможных потерь азота (от разложения аминокислот при взаимодействии с нитритами в присутствии CO_2). Наряду с другими условиями это обстоятельство способствует тому, что потери азота при этом способе являются наименьшими и в среднем содержание азота за время разложения возрастает от 0,40 до 0,70% (Никлевский).

Для молочного скота этот способ хранения навоза исключается ввиду того, что в молоко попадает масса микроорганизмов, оно может приобретать неприятный запах, трудна борьба с мухами и, кроме того, заболевающие животные легче передают друг другу заражение благодаря свободному движению и взаимному соприкосновению. Также и в конюшнях этот способ неудобен, тем более что экскременты лошади выделяют больше аммиака и с порчей воздуха бороться труднее, чем в скотных дворах (но при торфяной подстилке эти недостатки смягчаются в значительной степени).

Хранение навоза на гноище дает весьма разнообразные результаты; смотря по условиям разложения и приемам ухода, навоз может или приближаться

[1] Для фосфора и калия цифры таковы:

	I	II	III
P_2O_5	0,442	0,458	0,385
K_2O	0,82	0,89	0,68

Следовательно, не только по азоту, но и по калию и фосфору навоз на непокрытом гноищи занимал последнее место.

по достоинству к «навозу глубоких стойл», если суметь подражать условиям хранения его под скотом, или же представлять весьма малоценный материал.

Если, например, навозная куча прислонена к стене конюшни и промывается не только непосредственно дождем, но на нее попадает еще и вода, капающая с крыши, и если жижа свободно стекает на сторону, распространяя аммиачный запах и загрязняя двор, то, конечно, навоз будет в сильной степени обесценен благодаря потере наиболее важных составных частей. Но и при обратном случае, если навоз лежит на середине двора нетолстым слоем и при хорошей погоде просыхает во всю толщину, то потери аммиака могут быть очень велики, а когда избыток его удален, то становится возможной работа нитритных бактерий, ведущая к потерям свободного азота.

Обе эти крайности при правильном хранении навоза должны быть избегнуты.

Для лучшего сохранения навоза при постоянной очистке скотного двора надо устраивать специальные навозохранилища, куда и складывать навоз до его вывозки в поле[1].

Обычно требования к устройству навозохранилища формулируют так: оно должно иметь непроницаемое дно, чтобы жижа не терялась, просачиваясь в почву; нужен сток для жижи, чтобы навоз в нижних частях не был погружен в жижу; навоз должен быть защищен от дождя, ветра и солнца, так как чередование смачивания и высыхания способствует проникновению воздуха внутрь кучи, отчего возникают излишние потери сухого вещества и азота.

На деле эти пожелания осуществляются в весьма различной мере, и даже в интенсивном хозяйстве Западной Европы устройство крыши над гноищем часто является слишком тяжелым накладным расходом, поэтому крышу стараются заменить временной защитой навоза от дождей деревянными щитами или толем, а готовую кучу закрывают соломой, торфом, землей и пр.[2].

Значительно больше делается для создания непроницаемого дна (бетон, асфальт, кирпичная кладка, в крайности—вымащивание дна навозохранилища булыжником на глине и пр.) и устройства колодца для собирания жижи[3].

Дно навозохранилища должно иметь уклон по направлению к тем местам, где устраиваются колодцы для сбора стекающей по дну навозной жижи.

Размеры навозохранилища обыкновенно определяют с таким расчетом, чтобы в нем могло поместиться количество навоза, накопляемого в течение $2^1/_2$—3 месяцев (с расчетом на вывозку части навоза зимой), или 2,5—3 м³ площади на 1 голову крупного рогатого скота.

Жижесборники должны вмещать около 1,3 м³ жижи на каждые 100 т навоза[4].

Устройство хорошего навозохранилища является важнейшим мероприятием в борьбе за правильное использование навоза и должно быть признано обязательным для каждого колхоза и совхоза.

Но задача не ограничивается только постройкой навозохранилища. Даже при безупречно устроенном навозохранилище хранение навоза может быть плохим, если он выбрасывается как попало, без применения дальнейшего ухода.

[1] Кроме заботы о сохранении навоза, необходимость устройства навозохранилищ диктуется еще и тем, что неубранный, разбросанный по двору навоз служит источником распространения заболеваний животных глистами и т. п.

[2] Устройство крытого навозохранилища полезно лишь в том случае, если заботится не только об уплотнении, но и увлажнении навоза в сухую погоду, без этого же потери от просыхания навоза могут быть столь большими, что хранение под крышей вследствие пересыхания навоза может дать худшие результаты, чем хранение на открытом воздухе.

[3] Тип навозохранилища, рекомендуемого для устройства в колхозах и совхозах—см., например, проект Е. Д. Иванова и В. Е. Парукина, Сельхозстройпроект НКЗ СССР, № 0115, 1940.

[4] Считают возможным не устраивать жижесборников при навозохранилище, если применить достаточное количество подсушенного торфа (или соломенной резки), подстилая его на дно слоем 30—50 см и пересыпая навоз торфом или соломенной резкой при укладке навоза. Тогда при плотном хранении (см. ниже) можно рассчитывать на полное поглощение жижи торфом или соломой.

Тогда получается неровная (а значит излишне увеличенная) поверхность, солома и экскременты остаются неперемешанными, могут чередоваться влажные и сухие участки, разложение идет неравномерно, проникновение воздуха вызывает потери азота.

Один из способов лучшего вытеснения воздуха из навозной массы состоит в том, чтобы не распределять ежедневно навоз по большой поверхности, а *на меньшей площади, укладывая навоз и уплотняя его*[1], *доводить кучу до полной высоты* (при механизации—свыше 2 м); затем к ней примыкает следующий участок и т. д. до заполнения всего гноища; тогда к уплотнению при укладке присоединяется еще давление массы навоза; к этому еще иногда добавляют землянную покрышку и промазку глиной наружной стенки готовой кучи.

Уплотнение навоза при укладке в навозохранилище имеет очень большое значение. Прежде всего при этом *сухая солома* вдавливается в богатые водой экскременты, пустоты исчезают, доступ воздуха возможно ограничивается, создается атмосфера, насыщенная углекислотой, и потери азота уменьшаются.

Если навоз сложить рыхлым слоем и не уплотнить, то чаще всего происходит сильное разогревание кучи—навоз «горит»; интенсивное разложение навоза в этих условиях (связанное с доступом воздуха) приводит к уменьшению его массы, стекает много навозной жижи и потери азота бывают очень большими.

Разложение не плотно сложенного навоза идет не так бурно, температура высоко не поднимается (почему такой навоз и называют «холодным»). Вследствие менее интенсивного разложения массы, навоза остается больше, жижи стекает меньше, особенно же большое значение имеет уменьшение потерь азота.

С этой точки зрения, чем раньше производится уплотнение, тем лучше, поэтому в большинстве случаев и рекомендуется уплотнять навоз немедленно после помещения его в навозохранилище.

Это правило не соблюдается при приготовлении так называемого *«горячего навоза по Кранцу*. В отличие от предыдущего способа, при котором сразу приводится в исполнение задача—держать навоз *плотным и влажным*, причем значительное повышение температуры не ставится целью, Кранцем предложен способ *временной рыхлой укладки* для достижения *сильного разогревания навоза и лишь последующего его уплотнения*. Для этой цели свежий навоз кладут без уплотнения слоем в 1 м и оставляют лежать до тех пор, пока он не разогреется до 60°, на что требуется от 2 до 4 дней; тогда навоз тотчас уплотняют и на него накладывают новый слой свежего навоза, который также проходит через стадии разогревания и последующего уплотнения, и так доводят высоту до 3—4 м (иногда и более), прикрывая готовую кучу землей (особенно если укладка ведется не под крышей). До применения навоза должно, по возможности, пройти 4—5 месяцев.

Преимущества этого способа его защитники видят в следующем: в стадии аэробного разложения при повышенной температуре развиваются только термофильные бактерии, все остальные погибают (или их число резко падает); далее же, в стадии уплотнения, когда наступают анаэробные условия разложения, погибают и термофильные бактерии как резко выраженные аэробы; таким образом должен получаться навоз, обедненный микроорганизмами и потому более застрахованный от дальнейших потерь азота (между тем обычно считается важным, что навоз вносит в почву массу микроорганизмов и тем повышает разложение органических веществ самой почвы). Утверждают, что этот навоз характеризуется большой однородностью благодаря более совершенному разложению соломы, а так как это разложение происходит, конечно, не в 2—3 дня первого (аэробного) распада, а позднее, то отсюда некоторые делают заключение, что ввиду бедности микроорганизмами позднейшие превращения больше зависят от чисто химических процессов, чем от биологических.

Однако, как мы увидим ниже, многие из этих утверждений высказаны априорно, другие же хотя и подтверждаются фактами, но объяснение этих фак-

[1] Уплотнение навоза достигается тяжелым катком (кольчатый каток лучше гладкого), а по краям кучи большее уплотнение производится ногами работающих (причем на Западе часто пользуются деревянными башмаками).

тов лежит совсем в других обстоятельствах, чем это хотели видеть пропагандисты данного способа. Сторонники этого способа выступили с данными опытов, говорящих будто бы за превосходство навоза, приготовленного по способу разогревания, над всеми другими способами, и назвали даже такой навоз «благородным навозом» (Edelmist). Но это самовосхваление основано было прежде всего на логических ошибках, не говоря о многих дефектах в экспериментальной части.

Так, обычно сравнивали «горячий» навоз, приготовленный по Кранцу, не с навозом, сразу уплотненным, а с обыкновенным навозом, который просто выбрасывается на гноище и остается без ухода, не подвергаясь ни значительному разогреванию, ни уплотнению; наблюдая лучший эффект от «благородного навоза», делали вывод, что причина лежит именно в разогревании в период первых дней, предшествующих уплотнению, не учитывая другого, более естественного допущения, что лучшее действие такого навоза обусловлено именно тем уплотнением, которое производится через 3 дня (следовательно, несмотря на кратковременное разогревание, а не благодаря ему), в то время как при обычном хранении навоз лежит рыхло в течение долгого времени и, конечно, проникновение воздуха должно при этом вызывать значительно большие потери азота и сухого вещества, чем при способе Кранца. Затем, если навоз по Кранцу готовится под крышей, а сравниваемый с ним навоз—на непокрытом гноище, беспрепятственно воспринимая дождевую воду, то это тоже является слагаемым в том перевесе, который имеет «горячий» навоз по Кранцу перед обычным навозом, но с разогреванием это не имеет ничего общего. Далее, когда приводят анализы, по которым «горячий» навоз содержит в итоге не только больше азота, но также больше калия и фосфора, чем обыкновенный навоз, то ясно, что в данном случае имели место или потери жижи в обыкновенном навозе, или были какие-то погрешности во взятии средних проб, потому что разогревание само по себе, конечно, не может увеличивать содержание калия в навозе. Утверждение, что разогревание навоза убивает денитрификаторов, не имеет никакого отношения к вопросу о возможности денитрификации под влиянием неперепревшего навоза в почве, так как почва сама богата денитрификаторами, а навоз дает для них пищу в виде неразложенных углеводов в соломе и кале (для самого же навоза важнее было бы говорить об устранении нитрификаторов, ибо нитрификация может быть источником потерь благодаря даже чисто химическим реакциям, так как взаимодействие азотистой кислоты с аминокислотами приводит к выделению свободного азота).

Что касается опытов с навозом по Кранцу, на которые ссылаются сторонники этого метода, то они были подвергнуты критическому разбору со стороны немецких агрохимиков, особенно Леммермана и Эренберга, причем последний пришел к заключению (1930 г.), что среди этих опытов не было ни одного, который удовлетворял бы требованиям строгой постановки, т. е. давал бы тщательный учет баланса азота и зольных веществ путем правильного взятия средних проб и многочисленных анализов с соблюдением всех условий, кроме одного, подлежащего изучению,—это присутствие или отсутствие периода разогревания.

Накопление данных по сравнению способа Кранца с «обыкновенным» хранением бесполезно, ибо это значит сравнивать один из видов ухода за навозом с хранением без всякого ухода и оставлять неясным, какой из элементов общего комплекса играет главную роль; нужны же опыты по сравнению двух приемов, одинаково тщательных в смысле устранения потерь ценных веществ в жиже и введения ненужных (дождевая вода), одинаковых по степени уплотнения в течение основного (длительного) срока хранения, но отличающихся по способу укладки и ухода в течение первых трех дней.

В СССР обстоятельные опыты по сравнению способа Кранца с другими приемами хранения проведены были в НИУ[1] Перитуриным и сотрудниками

[1] Мамченков и Романкевич. Под руководством Перитурина. Рациональные способы хранения навоза. «Труды НИУ», вып. 97, 1933 г.

в 1929, 1930 и 1931 гг.; при этом определенно выяснилось, что «горячий» навоз имеет преимущество перед обыкновенным беспорядочным способом выгрузки навоза на гноище, но не перед правильно приготовленным навозом, сразу уложенным плотно; так, в опытах 1930 г. наблюдались такие потери (в процентах):

Виды навоза	Соломенная подстилка		Торфяная подстилка	
	Потери сухого вещества	Потери азота	Потери сухого вещества	Потери азота
Обыкновенный навоз (рыхлая укладка)	39,7	24,3	39,1	22,7
«Горячий» навоз (по Кранцу)	34,1	22,3	37,0	14,3
Плотная укладка (без предварительного разогревания)	11,4	13,5	7,8	1,2

Кроме наименьших потерь, навоз плотной укладки оказался наиболее богатым аммиачным азотом, содержание которого является, понимимому, мерной доступности азота навоза в первый год по его внесении; так, если исходное количество азота принять за 100, то после четырехмесячного хранения на общий азот и отдельные формы приходилось (в процентах):

	Общий азот	Азот белков и гуминов	Азот аммиака	Остальные формы	N аммиака в процентах от общего азота
При соломенной подстилке					
Рыхлая укладка	71,0	51,2	18,6	0,2	26,2
Навоз по Кранцу	75,6	56,6	17,5	1,4	23,1
Плотная укладка	85,7	53,4	28,3	4,0	33,0
При торфяной подстилке					
Рыхлая укладка	75,6	50,7	22,5	2,4	30,0
Навоз по Кранцу	83,8	49,7	30,0	4,1	34,5
Плотная укладка	98,7	56,0	38,5	4,2	39,0

Если взять среднее из пяти опытов, проведенных НИУ за три года, то потери азота и сухого вещества для трех видов навоза выразятся такими цифрами:

Виды навоза	Потери сухого вещества	Потери азота	Относительные величины для потерь азота
Обыкновенный навоз	32,6	31,4	4,1
Навоз по Кранцу	24,6	21,6	2,8
Плотная укладка	9,2	7,7	1,0

Таким образом, потери азота при плотной укладке были в 4 раза меньше, чем при рыхлой, и почти в 3 раза меньше, чем при укладке по способу Кранца. Интересны различия в количестве жижи, стекающей из навоза при разных способах укладки и хранения; так, в опытах НИУ получились следующие цифры:

Виды навоза	Количество навозной жижи (в процентах от веса навоза)	
	Соломенная подстилка	Торфяная подстилка
Навоз обыкновенный (рыхлая укладка)	10,5	4,3
«Горячий» навоз	5,1	3,4
Плотная укладка	1,9	0,6

Таким образом, навоз плотной укладки очень хорошо удерживает жижу, превосходя в этом отношении не только обыкновенный, но и «горячий» навоз, приближаясь к навозу глубоких стойл. Особенно же снижается количество жижи при торфяной подстилке, и, очевидно, при небольшом увеличении количества торфа можно совершенно избежать стекания жижи, а следовательно, и всех трудностей ее хранения, вывозки и распределения по полю.

Очевидно, «горячий» навоз отдает жижу главным образом в течение первого периода (рыхлой укладки) вследствие того, что в одних местах есть избыток жижи, а в других солома не вполне ею насыщена, при плотной же укладке сухая солома вдавливается во влажную массу и ее влагоемкость вполне используется.

Утверждение сторонников способа Кранца, будто большее количество жижи в «горячем» навозе зависит от более энергичного разложения и что избыток воды образуется при окислении углеводов, не только является необоснованным, но еще и обоюдоострым аргументом, так как обычно в случае больших потерь сухого вещества и потери азота больше.

Далее утверждали, что «горячий» навоз имеет то крупное преимущество, что в нем полнее погибают семена сорных трав; однако в опытах различие в этом отношении оказалось не столь значительным: так, из 300 семян, заложенных в навоз, при вывозке его было найдено неразложившимися:

	В случаях		
	Raphanus raphanistrum	Galium aparine	Vicia villosa
В «горячем» навозе (а)	241	300	165
В «холодном» навозе (б)	260	300	162
Из них всхожих (в процентах) а	0	0	0
Из них всхожих (в процентах) б	0	0	2,3

В заключение приведем еще из опытов 1929 г. таблицу, в которой дается распределение азота по группам соединений и которая представляет интерес также и вне зависимости от способа Кранца (в процентах сухого вещества):

Навоз	Азот общий	Азот белковый	Азот свободного и углекислого NH_3	Азот связанного NH_3	Азот нитратов	Сумма минерального азота
Соломенный рыхлый	2,35	1,752	0,346	0,152	0,0016	0,499
» «горячий»	2,52	1,587	0,415	0,434	0,0018	0,850
» плотный	2,62	1,698	0,520	0,308	0,0016	0,829
Торфяной рыхлый	2,80	2,296	0,152	0,164	0,0090	0,325
» «горячий»	2,97	1,824	0,829	0,208	0,0018	1,038
» плотный	2,53	1,222	0,809	0,436	0,0022	1,247

Те же величины в процентах от всего азота навоза составляют:

Навоз	Азот общий	Азот белковый	Азот свободного и углекислого NH_3	Азот связанного NH_3	Азот нитратов	Сумма минерального азота	Азот остальных форм (по разности)
Соломенный рыхлый	100	74,5	14,7	6,4	0,07	21,2	4,3
» «горячий»	100	63,0	16,4	17,2	0,07	33,7	3,3
» плотный	100	60,3	19,6	11,6	0,06	31,3	8,4
Торфяной рыхлый	100	82,0	5,4	6,0	0,32	11,7	6,3
» «горячий»	100	61,2	27,8	7,0	0,08	34,9	4,0
» плотный	100	48,3	32,0	17,2	0,09	49,3	2,4

Подводя итоги всему, что было сказано о сравнении способов хранения навоза, в частности, о сравнении способа Кранца с «холодным», или плотным, хранением, мы должны заключить, что в обычных условиях целесообразность рыхлой укладки навоза вначале (как это рекомендуется Кранцем) не оправдывается какими-либо положительными результатами, но, наоборот, это может вести к лишним потерям азота без всякого преимущества в других отношениях.

Однако не исключена возможность использования такого приема со специальной целью. Так, его рекомендуют (И. П. Мамченков) в тех случаях, когда для увеличения выхода навоза применяют повышенные нормы соломенной подстилки (или перестилают навоз соломенной резкой) и навоз получается сильно соломистым; если позаботиться об увлажнении такого навоза (водой или, лучше, жижей, мочой животных), то за счет первой стадии бурного разложения при рыхлой укладке можно достичь более полного разложения соломы, что в этом специальном случае может оказаться полезным[1].

Повышения температуры рекомендуют добиваться также в целях обеззараживания навоза, когда поголовье скота бывает заражено глистами; для этого может найти применение рыхлая укладка навоза вначале, с последующим уплотнением.

В качестве меры к более быстрому установлению анаэробного брожения и создании атмосферы, насыщенной углекислотой, было предложено Дегеревом при закладке новой кучи класть на дно гноища некоторое количество навоза от предыдущего разложения, который своим обилием микроорганизмов и выделяющейся углекислотой ускоряет создание благоприятных условий для разложения и новой порции навоза. По наблюдениям Швейдевинда, этот метод более действителен в углубленных гноищах, чем при надземном хранении; в одном опыте, когда, кроме слоя прежнего навоза внизу, была применена вторая прослойка посередине, Швейдевинд наблюдал значительное сокращение потерь азота (17% вместо 30% в контрольной куче).

Другое предложение регулирования биологических процессов в навозной куче сделано было Бартелем (Швеция); именно он наблюдал благоприятное влияние молочной кислоты на связывание аммиака навоза и поэтому рекомендует в хозяйствах, связанных с сыроваренными заводами, добавлять сыворотку к навозу, чтобы вызвать молочнокислое брожение. В одном из опытов через 3 месяца хранения наблюдались такие различия в составе навоза (в процентах):

	Связанный аммиак	Свободный аммиак
С прибавкой сыворотки	0,143	0,008
Без сыворотки	0,064	0,101

Кроме того, для предотвращения потерь азота предлагались чисто химические меры борьбы, как введение в навоз суперфосфата, карналлита, бисульфата, хлористого кальция, частью для переведения углекислого аммония в хлористый с образованием $CaCO_3$ или $MgCO_3$ путем обменного разложения с $CaSO_4$ (в суперфосфате) и $MgCl_2$ (в карналлите), частью для прямого связывания аммиака кислыми солями, как $Ca(H_2PO_4)_2$ и $NaHSO_4$; но и любая соль, в том числе и хлористый натрий, может уменьшать потери аммиака, так как повышением концентрации раствора подавляется развитие микроорганизмов; однако в этом случае прекращается и перепревание такого осоленого навоза, поэтому теперь оставлен этот путь, ведущий к остановке процессов разложения.

Но из того, что прежде консервирующие средства применяли неправильно, не следует, что их вовсе нельзя применять. Так, например, вполне возможно внесение в навоз суперфосфата (или бисульфата, раствора фосфорной кислоты и пр.) после перепревания, чтобы избежать потерь аммиака при распределении

[1] Потери азота бывают в этом случае небольшими, так как при разложении сильно соломистого навоза происходит интенсивное потребление азота микроорганизмами.

навоза в поле, когда на больших площадях моментальная запашка невозможна и в сухую ветреную погоду из разбросанного навоза теряются громадные количества аммиака. Далее, вопрос времени внесения в навоз умеренных доз суперфосфата, не останавливающих разложения, вообще заслуживает изучения заново; в тех особенно случаях, когда прибегают к сушке навоза (см. ниже), введение суперфосфата может быть средством сохранения навоза от потерь аммиака при сушке.

Добавление фосфатов (суперфосфата, фосфоритной муки) к навозу может иметь значение и в качестве фактора, регулирующего биологические процессы при разложении навоза. Так, по данным лаборатории органических удобрений ВИУА (Мамченков), развитие микробиологической деятельности *в сильно соломистом* навозе (когда солома добавляется для увеличения выхода навоза) может затрудниться из-за недостатка фосфора. В этих случаях внесение фосфатов (30—40 кг фосфоритной муки или 20—25 кг суперфосфата на тонну затраченной соломы) способно усилить развитие микроорганизмов, что ускоряет гумификацию навоза и создает условия для энергичного биологического связывания азота и закрепления его в микробной плазме. Вследствие этого накопление летучих форм азотистых соединений может быть уменьшено и потери азота снижены. Вот данные из опыта в производственной обстановке, проведенного на центральной опытной станции ВИУА (Барыбино, Московской области) в 1938 г. (в процентах):

	Потери азота	Потери органического вещества
Навоз	49,6	58,1
Навоз+фосфоритная мука (3%)	5,4	42,6
Навоз+суперфосфат (2%)	3,3	41,4

В этом опыте применялась повышенная норма соломенной подстилки: 8 кг на голову скота (срок компостирования—4 месяца). Интересно отметить, что добавление фосфатов уменьшало не только потери азота, но и потери органического вещества (это находится в некотором противоречии с представлением об усилении процессов разложения при добавлении фосфатов).

В той же лаборатории проводятся интересные опыты с хлорированием навоза[1], которое в присутствии органического вещества приводит к образованию HCl, что в сильной степени способствует уменьшению потерь азота и обогащению навоза усвояемыми соединениями азота.

О потерях фосфора при хранении навоза. При учете превращений фосфора в навозе М. А. Егоровым были замечены некоторые потери его, что обычно объясняют образованием летучих соединений фосфора под влиянием восстановительных процессов (таковым является, например, фосфористый водород PH_3, однако не установлено, чтобы именно в виде этого соединения происходило улетучивание фосфора при хранении навоза).

При вышеописанных опытах НИУ также наблюдались некоторые потери фосфора, но только при обычной рыхлой укладке и при приготовлении «горячего» навоза по Кранцу; в случае же плотной укладки навоза потерь фосфора не наблюдалось.

Укажем еще на некоторые приемы, которые рекомендовались для хранения навоза и его компонентов, но могут быть использованы лишь в отдельных случаях (наибольшее

[1] Насыщение газообразным хлором. Баллон с жидким Cl_2 соединяется с системой трубок с отверстиями (форитоссов), которые вставляются в кучу навоза. При подогревании баллона хлор испаряется и, проходя через форитоссы, насыщает навоз. При этом, очевидно, происходит частичное образование HCl в результате взаимодействия хлора с органическими веществами по такому, например, типу: $CH_4+Cl_2=CH_3Cl+HCl$. Образование некоторой части HCl возможно и таким путем: $Cl_2+H_2O=HCl+HClO$ и далее $2HClO=2HCl+O_2$ (при этом кислород идет на окисление органических веществ навоза). Соляная кислота связывает аммиачный азот:

$$[NH_4]_2CO_3 + 2HCl = 2NH_4Cl + H_2O + CO_2,$$

чем в основном и можно объяснить снижение потерь азота при хлорировании навоза.

распространение должен получить описанный выше плотный, или «холодный», способ хранения).

Отдельное хранение жидких выделений. Известно, что большие количества азота теряются в первых стадиях разложения навоза вследствие аммиачного брожения мочевины, в то время как азотистые вещества твердых выделений и соломы изменяются медленнее и для их консервирования не требуется столь быстрых мероприятий, или для сохранения азота жидких выделений. Для уменьшения потерь азота в Германии Сокслетом был предложен способ отдельного собирания и хранения твердых и жидких выделений с тем, чтобы твердые экскременты и солома подвергались разложению в целях гумификации при смачивании водой в меру надобности, а жижа собиралась отдельно и сохранялась в закрытых резервуарах; в них избегается потери аммиака, а потребление последнего микроорганизмами исключается вследствие отсутствия безазотистых веществ.

Таким путем одновременно можно достигнуть и уменьшения потерь азота и повышения коэфициента действия азота, ибо, сохраняя и вноси жижу отдельно, мы вносим, в сущности, углекислый аммоний, т. е. нечто лучшее, чем сернокислый аммоний (если мы только сумеем внести его в почву без потерь при распределении). Между тем при оставлении жижи в навозе не только трудное боротьси с потерями аммиака, но и та часть аммиака, которую нам удается предохранить от улетучивания, может входить в состав органического вещества; таким образом, вместо хорошо усвояемого аммиачного азота могут получаться трудно усвояемые формы азотистых соединений.

Способ Сокслета дает превосходные результаты, если только обеспечено сохранение и внесение жижи в почву без потерь. В Германии этот способ был испытан на опытных станциях и в хозяйственном масштабе, причем выработаны как способы возможно быстрого отделения жидких испражнений от твердых, так и способы отведения их без соприкосновения с воздухом в закрытый резервуар (плавающие крышки, масляный затвор и пр.). По сделанному расчету, расходы на эти приспособления дошлися 10% на азот мочи, если посчитать последний по стоимости азота в сернокислом аммиаке, что, конечно, не точно, потому что здесь к аммиаку присоединяется масса воды, что сильно удорожает вывозку (жижа содержит 97,5% воды).

Главная трудность состоит во внесении в почву (без потерь) раствора такого летучего вещества, как углекислый аммоний; отсюда—стремление связать его с серной кислотой (бисульфатом) или формальдегидом[1]; но тогда является вопрос, нельзя ли избавиться от перевозки и распределения жидкости, ибо это требует особого инвентаря. Некоторое приближение к решению этого задания, может быть, можно искать в применении торфа для поглощения жижи; если следовать мысли Сокслета, то надо применять не Sphagnum, богатый углеводами, а разложившийся торф, богатый гуминами, притом в комбинациях, когда торф не смешивается с соломой, но лишь вбирает в себя жижу, стекающую с ложа животных (см. ниже о применении торфа). Еще более прочно, чем торф, связывает аммиак жижи бурый уголь, взятый в количестве от 50 до 60%.

Наиболее радикальным способом избавиться от массы жидкости и получить аммиак в виде соли была бы перегонка и улавливание аммиака кислотой; в качестве меры удешевления этого приема Леммерман и Висман изучали выделение аммиака из жижи при протягивании воздуха через нее; но оказалось, что при обыкновенной температуре процесс этот идет довольно медленно: чтобы удалить $^{9}/_{10}$ аммиака, нужно продувать воздух в течение 44 часов (может быть, стоит испытать еще один вариант—поглощение аммиака жижи серной кислотой, поставленной в плоских сосудах над жижей при вводящем всей системы от окружающего воздуха).

Высушивание навоза. С первого взгляда кажется совершенно парадоксальным, каким образом можно предлагать сушить навоз, когда при этом заведомо потеряется углекислый аммиак (останется только поглощенный аммиак); но разнообразие предложений по приготовлению навоза объясняется тем разнообразием почвенных и хозяйственных условий, которое особенно велико в такой обширной стране, как наша; если Бельгия или Дания могут для себя установить некоторый общий стандарт наилучшего приготовления навоза, то у нас о таком едином типе говорить не приходится, так как мы имеем все переходы от подзолистой зоны до южных черноземов и средне-азиатских сероземов с весьма различными почвенными, климатическими и хозяйственными условиями. Сообразно сказанному, самая мысль о сушке родилась в свое время в условиях черноземной полосы, под влиянием распространенной в прошлом идеи о том, будто бы для чернозема азот не нужен, а ценен лишь фосфор навоза, особенно при хорошей обработке пара, когда обеспеченность азотом бывает повышена (по крайней мере, для озими). Кроме того, здесь выступали еще такие соображения: при плохом хранении навоза потери азота за долгий период его хранения так велики, что потери при сушке будут меньше, а дальше сухой навоз будет храниться уже без потерь. Кроме потерь при хранении, часто навоз еще теряет много азота, будучи разбросан по полю, если он не тотчас запахивается: в сухую погоду при ветре (особенно для открытых полей в черноземной полосе) навоз высыхает; тогда в особенности встает вопрос, не лучше ли эту невольную сушку разложившегося навоза, налагающую на потери азота при хранении еще новые потери при высушивании перед запашкой, заменить сушкой до разложения[2]; тогда мы не только умень-

[1] При применении формалина не только подавляется бактериальная деятельность, но химически связывается аммиак (с образованием гексаметилентетрамина).

[2] Такое предложение было сделано проф. Егоровым в Харькове.

шим общие потери азота, но еще в 4 раза уменьшим массу, подлежащую вывозке в поле (так как навоз содержит в среднем 75% воды).

Однако в этом случае возникает вопрос, как же быть с тем обстоятельством, что высушивание остановит разложение и в почву попадут неперепревшая солома и твердые испражнения. Здесь, очевидно, опять-таки играют роль местные условия; так, например, на Безенчукской и Харьковской станциях наблюдалось, что высушенный навоз действовал не хуже обычного навоза. Но паровые поля черноземной полосы вследствие обильного накопления в них нитратов вовсе не являются подходящим фоном для испытания действия навоза как источника азота; вполне возможно, что при известных дозах навоза, при заблаговременном внесении в пару, при громадной аэрации чернозема сравнительно с почвами нечерноземными, при повышенной биологической деятельности, влияние неразложившегося органического вещества не будет столь значительным, чтобы оказать заметное влияние на урожай зерна в следующем году (если навоз вносится под озимое). Для нечерноземных почв дело может обстоять иначе, и даже для чернозема, при внесении навоза в севооборотах, не имеющих чистых паров, вопрос этот требует особого исследования.

Что касается механических препятствий в запашке неразложившейся соломы, то они отпадают, если в подстилку идет не целая, а резаная солома. Желательны опыты по сушке навоза с применением веществ, переводящих углекислый аммиак в нелетучие соединения, а это может достигаться не только введением кислот и кислых солей (фосфорная кислота, бисульфит, суперфосфат) или хлорированием, но и применением органических веществ, как лигнит (бурый уголь) и виды торфа, богатые перегнойными кислотами. Тогда вопрос о сушке навоза возможен также и в другой постановке, а именно: нельзя ли сушить навоз после разложения органического вещества в обычно требуемой мере, а потери аммиака предотвратить связыванием его теми или иными примесями?

Кроме облегчения в 4 раза работы по вывозке, применение сухого навоза (при использовании на подстилку соломенной резки) могло бы облегчить и механизацию его внесения в крупных хозяйствах.

ВЫВОЗКА НАВОЗА И ЗАДЕЛКА

При вывозке навоза следует брать навоз во всю высоту кучи, а не снимать слоями с большой площади, чтобы не получить неравномерного по качеству распределения навоза в поле (ввиду меньшего перепревания верхних слоев, как позднее поступивших на гноище). Для погрузки обычно пользуются вилами; в случае хорошо перепревшего навоза пользуются иногда особыми орудиями для проведения вертикальных срезов—это или подобие очень большого ножа с поперечной ручкой, позволяющей использовать для нажима обе руки, или лопаты сердцевидной формы с режущими краями[1].

Для большей равномерности распределения навоза поле, подлежащее удобрению, предварительно *лехают*, т. е. размечают неглубокими бороздами (лехами) по квадратам такой величины, чтобы каждый воз или полвоза на квадрат (или точку пересечения лех) отвечали тому количеству навоза на гектар, каким хотят удобрить данное поле. Вывезенный навоз должен быть как можно скорее разбросан и запахан, а не оставаться лежать в тех небольших кучах, какие получаются при вывозке. В дождливую погоду такие кучи подвергаются вымыванию, растворимые азотистые вещества проникают с дождем в почву, а место под кучей оказывается переудобренным; при разбрасывании остальные части поля получат главным образом солому, которая не окажет положительного или даже проявит только отрицательное действие; следствием является пятнистая картина пестрого поля, на котором темной зеленью и пышным ростом выделяются места бывших куч, остальная же часть поля покрыта растениями, плохо развитыми и бледной окраски.

Точно так же в сухую погоду мелкие кучи теряют ценные азотистые составные части, так как они просыхают и проникаются воздухом, уносящим аммиак.

Полагали, что сказанное выше о мелких кучах не относится в такой мере к зимней вывозке навоза, которая удобна для хозяйства с точки зрения равномерного распределения работы лошадей в хозяйстве и использования санного пути; указывалось, что при суровых зимах малые кучи легко промерзают и легко

[1] Для повышения производительности труда при работе с навозом (погрузка, распределение в поле) большое значение будет иметь *механизация* соответствующих процессов—применение механизмов для погрузки и навозоразбрасывателей, пока еще мало распространенных в нашей практике.

сохраняются без изменения до весны, так что потерь не происходит, а при таянии снега кучи оставятся лежать как бы на ледяных подставках. Однако часто приходится разбрасывать их не сразу, а по мере оттаивания, которое замедляется и для почвы под кучами; если же запоздать с разбрасыванием и запахиванием вывезенного зимой навоза, то наблюдаются потери, а также (при дожде) избыточное удобрение мест, где лежали кучи. Поэтому если почему-либо вывозка навоза должна быть произведена тогда, когда запахать его сразу нельзя (например, при зимней вывозке или когда поле занято растениями), то рекомендуется складывать навоз в поле в большие, уплотненные кучи правильной формы (штабели), которые подстилаются и прикрываются торфом или землей во избежание потерь жижи и летучих продуктов и в которых навоз продолжает разлагаться так же, как и на гноище, до тех пор, пока будет возможно распределить его по полю (что в этом случае, однако, связано со вторичной нагрузкой и возкой, хотя и на малые расстояния).

Прежде нередко рекомендовалось при вывозке навоза на паровое поле разбрасывать его по полю сейчас же и оставлять лежать разбросанным, причем утверждали, что под покровом навоза почва приобретает особенно благоприятные свойства («спелость почвы») и что при этом потерь азота не происходит, так как почва поглощает аммиак. Однако ясно, что поглощение не может быть полным, если навоз не смешан с землей и лишь разбросан по поверхности: значительная часть аммиака уносится током воздуха и в почву не попадает. Скорее можно думать, что благоприятное влияние этого приема, представляющего своего рода «мульчирование», может сказываться, например, в условиях сухого климата, *несмотря на потери азота*, так как всякий мертвый покров (солома, листва, навоз) сберегает влагу в почве, и если влага в минимуме, то это влияние и перевешивает вред от потерь азота; кроме того, на черноземных почвах и чистом пару почва накопляет много нитратов, поэтому потребность во внесении азота вообще может быть сниженной; здесь чаще всего ощущается недостаток фосфора, особенно же важно сохранение в почве влаги. От этих специфических условий, конечно, неправильно делали переход к общему выводу о полезности такого приема, как оставление навоза разбросанным по полю на сколько-нибудь продолжительное время.

Дегерен приводит несколько опытов по сравнению действия навоза, непосредственно запаханного и оставленного лежать на поверхности. Во всех случаях немедленное запахивание оказывалось лучшим приемом; вот примеры:

Культура	Навоз тотчас запахан	Навоз оставлен лежать на поверхности
Кукуруза на зеленый корм	78,0 т	71,6 т
	87,0 »	58,0 »
Картофель	202 гл	188 гл
	275 »	257 »

Для наших условий имеем опыт Жукова (Ивановская станция) с озимыми; навоз частью запахивался тотчас, частью оставался лежать разбросанным или в мелких кучах в течение месяца и лишь после этого заделывался; вот результаты:

	Все участки запаханы при вывозке	Запашка производилась через месяц при заделке навоза
Навоз оставлен в кучах	20 ц зерна	13 ц зерна
» разбросан по поверхности	26,5 ц зерна	20 » »
» тотчас запахан	30,5 » »	—

И здесь непосредственная запашка дала лучшие результаты, нежели оставление навоза разбросанным на значительный срок. Так как опыт проведен в условиях довольно засушливого климата, то действие навоза, разбросанного по поверхности, могло включать положительное влияние мертвого покрова, поэтому оставление в мелких кучах дало еще меньший урожай, чем разбрасывание за месяц до запашки.

На Тульском опытном поле двухнедельное лежанье разбросанного навоза дало 13% понижения урожая по сравнению с немедленной заделкой.

Причина понижения действия навоза при лежанье незапаханным, конечно, зависит прежде всего от потерь азота в виде аммиака. Дегерен отмечает, что это ясно без всяких анализов, так как «каждый охотник знает, что если, идя по лесу, он слышит запах аммиака, то это значит, что недалеко находится распаханная поляна, на которой лежит разбросанный навоз». Но анализы дают возможность установить также и размеры этих потерь.

Наиболее обстоятельные опыты (с достаточной повторностью) по этому вопросу проведены были на опытной станции в Аскове (Дания); на небольших образцах навоза, выставлявшихся в поле на противнях, наблюдались такие колебания в размерах потерь, смотря по температуре и силе ветра:

За 1 сутки	За 2 суток	За 3 суток
11—14%	17—22%	22—27%

Затем в полевых опытах, проведенных в 15 пунктах, производился учет урожая при запашке навоза через разные сроки; относительная высота урожая выражалась такими цифрами (в процентах):

Запашка тотчас (в течение 20 минут)	100	Через 4 дня	85
Через 6 часов	90	При запашке тотчас половинной дозы	86
» 24 часа	86	Без навоза	71

Таким образом, оставление навоза незапаханным в течение суток вызывало потерю половины действия навоза. Если это происходит за 24 часа в умеренном климате Дании, то, например, в Средней Азии тот же результат, очевидно, получится за срок гораздо меньший.

Что касается *глубины запашки* навоза, то она колеблется чаще всего от 10 до 20 см, причем на связных почвах заделывают мельче, а на песчаных—глубже. Более глубокую заделку допускают также почвы высокой связности, как черноземы и лессовидные суглинки; так, на Полтавской опытной станции заделка навоза в пределах от 12 до 20 см не оказывала еще заметного влияния, а лишь начиная с заделки на глубину 26—27 см проявилось замедление разложения навоза. На связных почвах такое замедление скажется гораздо раньше, а именно условия разложения навоза более, чем другие соображения, должны определять глубину его заделки; неправильно было бы, например, сообразовать глубину заделки навоза с глубиной распространения корней тех растений, которые в сильной мере используют подпочву; тогда навоз попадал бы в условия, неблагоприятные для разложения, тогда как при заделке не столь глубокой энергичное разложение дает больше подвижных соединений (нитратов), способных к передвижению вместе с влагой, и корни растения, улавливая нитраты, будут лучше ими обеспечены, чем при такой глубокой заделке, которая неблагоприятна для нитрификации.

Кроме свойств почвы, на глубину заделки влияет также и климат: при малом количестве осадков более глубокая заделка навоза (так же как и других удобрений), как правило, дает лучшие результаты. Иногда свойства навоза заставляют пускать плуг глубже, чем было бы желательно, как это бывает в случае соломистого навоза (при применении в подстилку соломенной резки это неудобство отпадает).

Применение смеси экскрементов без подстилки. В экстенсивных хозяйствах с развитым овцеводством встречается способ внесения удобрения, называемый *толокой*. Способ состоит в том, что животные (обыкновенно овцы) сгоняются на ночь на место, которое имеется в виду удобрить; оставшиеся после ночевки экскременты запахиваются. При таком способе устраняется необходимость перевозки навоза, употребление подстилки и устройство специальных приспособлений для хранения навоза и избегаются потери. Для экстенсивных хозяйств с обширным овцеводством этот прием заслуживает внимания. Считают сильным удобрением, если овцы проводят 12 часов на одном месте при густоте одной

головы на 1 м²; нормальным же удобрением считают уже 6 часов такого пребывания. Хотя по весу получается даже в первом случае лишь половинное количество экскрементов, по сравнению с нормальным навозным удобрением, но эффект его значителен, так как здесь действует главным образом азот жидкой части экскрементов, без утрат попадающий в почву и не сопровождаемый массой соломы.

Тотчас после удобрения толокой поле перепахивается; иногда рекомендуют и предварительно перед ночевкой вспахать удобряемое место, но при этом овцы сильнее грязнятся.

ОБ ОЦЕНКЕ УДОБРИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НАВОЗА

Вопрос о значении навоза как удобрения является очень сложным. Прежде всего, несомненно, навоз является обильным источником азота и зольных веществ[1], но подлежит выяснению вопрос об их усвояемости, которая, конечно, не является для всех случаев постоянной. Далее, органическое вещество навоза наряду с содержанием азота в нем оказывает и другого рода влияния на химические и физические свойства почвы; так, оно чрезвычайно повышает буферность почвы (чем облегчается также и применение значительных доз минеральных удобрений, необходимое при интенсивных культурах), емкость поглощения, что позволяет почве повышать запас поглощенного кальция, оказывающего значительное влияние на почвенную структуру; при правильном внесении навоза и обогащении органическим веществом возможно повышение влагоемкости почвы. Затем с навозом вносится много микроорганизмов и много материала для усиления биологической деятельности почвы; при этом, конечно, наряду с полезными сторонами (например, заведомо благоприятное действие органического вещества на размножение клубеньковых бактерий в почве) могут встречаться частично и нежелательные влияния, например, на процесс накопления нитратов в почве при избыточном внесении неперепревшего, богатого соломой навоза. Таким образом, наряду с главным, прямым действием навоза как источника азота, фосфора и калия (а частично и других элементов) имеется ряд косвенных воздействий на растения через посредство почвы. Известное значение при внесении навоза имеет также *повышение содержания углекислоты в надпоченном слое воздуха* вследствие выделения CO_2 при разложении органического вещества навоза в почве. Остановимся, однако, прежде всего на оценке действия главных питательных веществ—азота, фосфора и калия, вносимых с навозом.

Относительно *азота* давно известно, что в навозе обычно только *меньшая часть его используется растением в первый год*, но что навоз *оказывает значительное последействие* благодаря наличности другой, большей по количеству части азота, лишь в следующие годы переходящей в усвояемое состояние.

В Германии Вагнер проводил в конце XIX века много опытов по усвояемости азота навоза по сравнению с селитрой как формой наибольшего и устойчивого действия и пришел к выводу, что в среднем усвояемость азота навоза составляет 25% от усвояемости азота селитры, если рассматривать действие только первого года. Даже если не входить в детали отдельных опытов, то такой вывод намечается уже из тех соотношений, в каких вносятся на Западе навоз и селитра для достижения приблизительно равного действия по азоту: считается хорошей нормой для навоза внесение 35 т на гектар, что отвечает в среднем 175 кг азота, в селитре же вносят чаще всего 45—60 кг азота на гектар, но это последействие в случае навоза является более длительным, чем в случае селитры; поэтому навоз вносят один раз в несколько лет, селитру же нужно

[1] Притом не только P и K, но и других зольных элементов (S, Mg, Ca, Mn, B и др.), ибо в состав кормов и подстилки входят все элементы пищи растений, а следовательно, они содержатся и в навозе. Однако главная роль N, P и K в этом отношении несомненна, так как именно в них чаще всего растения испытывают недостаток для образования высокого урожая.

вносить чаще. Однако последующие работы показали, что на каждом шагу встречаются значительные отклонения от среднего коэфициента, данного Вагнером. Так, другой германский агрохимик—Меркер, предпринял в девяностых годах исследование значительного ряда образцов навоза, взятых из различных хозяйств, нашел такие отклонения от величины вагнеровского коэфициента (действие азота селитры принято за 100):

Число образцов	7	10	5	8	7	3	5
Действие азота навоза по сравнению с селитрой	60%	45%	36%	25%	14%	9%	—13,8%

Таким образом, образцы разного происхождения оказали весьма различное действие, причем иногда действие это было даже отрицательным.

Меркер пытался установить связь коэфициентов использования азота с составом и происхождением навоза, что ему отчасти и удалось сделать.

Если ту же серию анализированных образцов разгруппировать по видам животных, то оказывается, что количественно более богатый азотом овечий навоз также и качественно стоит выше других видов навоза:

Действие азота навоза по сравнению с селитрой

Овечий навоз	48%
Конский »	29%
Коровий »	26%

Если же, не различая происхождения, расположить образцы в порядке по содержанию азота, то коэфициент его использования тем выше, чем больше N содержит навоз.

Действие азота навоза по сравнению с селитрой

В среднем, если процент N=1	+61%
» » » » N=0,6	+47%
» » » » N=0,2 и меньше	—17%

Но такое совпадение замечается лишь на средних числах, в отдельных случаях последовательность не вполне правильная[1].

Тогда Меркер и другие авторы стали определять действие азота отдельных составных частей навоза—кала, подстилки, жидкой части. Полученные результаты обнаружили резкую противоположность в значении отдельных ингредиентов. Так, при внесении равных количеств азота в разных формах получились следующие изменения в урожае (вегетационный опыт):

	Прирост урожая
При удобрении мочой	+55,0 г
» » лошадиным навозом	— 8,9 »
» » экскрементами рогатого скота	— 3,7 »
» » » овцы	+ 9,9 »
» » селитрой	+59,0 »

Азот жидкой части навоза по действию был довольно близок к действию азота селитры, а азот в форме кала не только плохо используется, но еще мешает использованию азота почвы и вызывает понижение урожая. Этот опыт не представляет чего-нибудь исключительного, он повторялся очень многими исследователями, и в наших опытах не раз то же действие проявлялось в резкой форме, если удобрения вносились *под яровые весной*.

Так как Меркеру и Вагнеру высказан был упрек, что они брали слишком большие количества соломы, никогда не встречающиеся в практике, то в одном из наших опытов испытано было влияние различных количеств соломы, начи-

[1] О зависимости между усвояемостью азота органических удобрений и их составом (процентное содержание N, отношение C : N и др.) см. подробнее ниже, где говорится об «искусственном навозе».

ная с 0,25% и до 1% от веса почвы (что отвечает приблизительно 7,5—30 т на 1 га); вот полученные результаты:

Урожай ячменя (в граммах на сосуд)

Без соломы	16,2
0,25% от веса почвы	10,0
0,5% » » »	6,6
1% » » »	3,0

Подобные результаты были получены нами и в других опытах с различными растениями (кроме бобовых).

Таким образом, уже 0,25% соломы вызывали значительное понижение урожая, а такое количество может заключаться в неперепревшем навозе, вносимом в обычных на практике дозах. Конечно, резкость приведенных цифр чрезвычайно повышена тем, что солома внесена под яровое перед его посевом, что на практике обычно не встречается. Далее указывали, что приводимые цифры относятся к опытам в искусственной обстановке (в сосудах), где обильная поливка может создавать условия недостаточной вентиляции, в поле же при лучшей вентиляции денитрификация не достигает таких размеров; но все-таки и там внесение неперепревших органических материалов дает себя знать понижением урожая. Так, Швейдевинд наблюдал отрицательное действие соломы и кала в полевом опыте; при этом солома, внесенная весной под яровое, понижала в течение двух лет урожаи горчицы и лишь на третий год обнаружила положительное действие, смесь же соломы и кала понизила урожай первого года, и со второго года уже наблюдалось полезное действие.

Нужно, однако, заметить, что при не слишком больших количествах и заблаговременном внесении (в пару, а особенно с осени, за год до посева озимых) действие даже неперепревших материалов успевает или сгладиться совершенно или выражается далеко не столь резко, как в вышеупомянутых опытах Вагнера и Меркера.

Но хотя бы на почвах с энергичной бактериальной деятельностью (как черноземы) вредное действие соломы и кала на озими не проявлялось, все же в других случаях оно может иметь место, и важно было установить причины, которыми объясняется не только плохое использование азота в твердых экспрементах и соломе, но и возможность понижающего влияния их на урожай. Сначала высказано было предположение, что с соломой и калом вносится большое количество денитрифицирующих бактерий, которые разрушают нитраты, образующиеся за счет азота навозной жижи или азота почвы. Но оказалось, во-первых, что стерилизация соломы и кала не изменяет картины (так как почва и сама содержит достаточное количество денитрификаторов), но *неперепревшая солома и кал содержат углеводы* (клетчатку, пентозаны), *доставляющие материал для развития бактерий, потребляющих нитраты* (и аммиак), после же перепревания углеводы переходят в гуминовые вещества и не дают уже столь доступной пищи для этого рода микроорганизмов.

В одном опыте был взят свежий навоз разных видов животных и определено было его действие на нитраты почвы. Затем навоз был помещен на 50 дней в термостат при благоприятных условиях разложения, после чего снова было измерено это действие. Изменение видно из следующих цифр (в процентах):

Уменьшение количества нитратов под влиянием

	Свежего	Бывшего в термостате
Конского навоза	100,0	27,7
Навоза рогатого скота	97,7	14,4
Овечьего навоза	70,4	17,0

Во-вторых, впоследствии выяснилось, что главную роль в уменьшении количества нитратов в почве под влиянием значительных количеств неперепревшей соломы и кала играют не процессы денитрификации в собственном смысле слова (т. е. разрушение нитратов с выделением газообразного азота, безвозвратно уходящего из почвы), а *фиксация нитратного* (и аммиачного) *азота разными микроорганизмами*, как бактериями и грибами, образующими белки и другие азотистые органические вещества за счет углеводов соломы и азота нитратов. Таким образом, это есть главным образом *временная убыль нитратов*; когда же избыток углеводов почезнет, начнется обратный переход белкового азота отмирающих организмов в аммиак и нитраты.

Следовательно, отклонения от среднего коэфициента, обнаруженные Меркером, объясняются тем, что в разных образцах навоза имеет место разное соотношение между растворимыми азотистыми соединениями жидких выделений, с одной стороны, и белковым азотом кала и соломы—с другой; так же неодинаково содержание углеводов, зависящее от степени разложения навоза. Поэтому если два образца навоза резко отличаются по содержанию общего азота, то это не значит, что пропорциональным повышением дозы низкопроцентного навоза можно исправить дело; если, например, в одном образце содержится 0,3% N, а в другом—0,6%, то двойная доза навоза первого типа не заменит однократной дозы второго; одинаковое абсолютное количество азота будет в первом случае сопровождаться вдвое большим количеством безазотистых веществ, которые будут снижать действие азота тем, что дадут пищу массе микроорганизмов и переведут, по крайней мере, на время, известное количество растворимых азотистых соединений в нерастворимые формы. Таким образом, навоз низкосортный по малому количеству содержащегося в нем азота может получить еще и более низкую качественную оценку по степени усвояемости этого азота для первого растения, идущего по навозу.

В то время как в предыдущих опытах преобладало стремление получить характеристику действия азота навоза вообще, в сравнительно недавних опытах НИУ было прослежено действие навоза как азотистого удобрения в связи с содержанием в нем аммиачного азота; оказалось, что при опытах с весенним внесением навоза под яровые они использовали только аммиачный азот, и возможно, что коэфициент усвояемости, установления которого в суммарной форме искали западные авторы, главным образом зависит от содержания в навозе простейших азотистых соединений и прежде всего аммиака, если принимать во внимание не только растворимый в воде, но и поглощенный аммиак[1].

Так, в опытах НИУ 1930 г. имеем такие соотношения для овса, если весь азот навоза принять за 100 (в процентах):

		Обыкновенное хранение	По Краузу	Плотная укладка
Торфяная подстилка	Усвоено азота	29,0	30,3	38,8
	Содержалось в навозе аммиачного N	29,9	35,7	38,8
Соломенная подстилка	Усвоено азота	20,5	22,6	26,7
	Содержалось в навозе аммиачного N	26,2	23,7	32,9

Отсюда видно, что образцы навоза с большим содержанием аммиачного азота дали также и лучшее действие; при этом количество усвоенного азота не превосходило содержания аммиачного азота, а иногда приближалось к нему, чаще же всего усваивалось 70—80% от аммиачного азота.

[1] Наличность поглощенного аммиака, не переходящего в водную вытяжку, но вытесняемого катионами нейтральных солей (или водородом 0,05-н HCl), которая раньше не учитывалась, показывает, что прежнее представление о растворимости «гуминовокислого аммиака» вообще приводило к неправильным выводам; очевидно, смотря по количеству связанного аниодными аммиака и по составу одновременно входящих других катионов (кальция и пр.), отношение этих сложных соединений к воде различно; во всяком случае, важно было установить, что не одна только растворимая часть азотистых соединений, но и поглощенный аммиак навоза должен быть принимаем во внимание при учете усвояемых форм азота в навозе.

При вегетационных опытах с навозом, из которого весь аммиак был удален, обнаружилось или отсутствие всякого эффекта от азота навоза на овсе (на супеске), или отрицательное действие (на суглинке); очевидно, в этом случае бактерии, использовавшие органическое вещество навоза, должны были заимствовать необходимый для своего развития азот из растворимых соединений почвы и это уменьшало количество азота, доступного растениям.

Но при культуре картофеля, имеющего более длинный вегетационный период, чем овес, встречались уже случаи использования азота навоза (внесенного весною) в размерах, несколько превышающих наличность аммиачного азота; поэтому можно ожидать, что при внесении в пару под озимь участие в питании растений, помимо аммиачного, также и азота органических соединений (в меру их минерализации) может быть еще большим.

Во всяком случае, непосредственно усвояемой формой азотистых соединений в навозе является аммиак, не только растворенный в жиже, но и поглощенный органическим веществом; азот же, входящий в состав самих органических соединений, лишь медленно и постепенно поддается минерализации (о конечных размерах этого процесса будет говориться ниже).

Если в навозе находятся нитраты, то они, конечно, также хорошо усвояются, но нормально накопления нитратов не происходит (кроме случаев соприкосновения с земляной покрышкой или стадии очень длительного разложения), и, как сказано выше, такое накопление является нежелательным, ибо является источником потерь азота от денитрификации, для которой обычно имеются в навозе самые благоприятные условия.

Что касается *усвояемости фосфора и калия* в навозе, то она обычно выше, чем для минеральных удобрений, например, для фосфорной кислоты даже до 50% от всего ее количества в навозе; для калия встречаются еще более высокие цифры, но главное различие состоит в том, что *азот навоза усвояется значительно хуже азота селитры, а фосфор и калий—не только не хуже, а часто лучше, чем в соответственных минеральных удобрениях*, содержащих калий и фосфор в растворимых солях.

В опытах Шнейдеминда имеется интересное сопоставление сравнительных размеров усвоения питательных веществ из навоза и растворимых минеральных удобрений двумя последовательными культурами: картофель и ячмень, свекла и ячмень, из которого мы приведем лишь конечные цифры (в процентах):

Усвоение питательных веществ	N	P_2O_5	K_2O
Усвоено картофелем и ячменем			
Навоз	36,2	32,7	78,2
Минеральные удобрения	76,9	14,6	52,7
Усвоено свеклой и ячменем			
Навоз	40,9	41,9	47,5
Минеральные удобрения	93,5	23,2	48,7

Отсюда видно, что калий и фосфор навоза усвояются лучше, чем K и P минеральных удобрений (или же K не хуже), но азот гораздо хуже.

Приведенные коэфициенты относятся, однако, к условиям, благоприятным для использования навоза, именно к умеренным дозам (18 т) и навозу хорошего качества[1]; при больших дозах (36 т) и менее благоприятных условиях полу-

[1] Кроме того, эти прежние определения теперь должны быть подвергнуты некоторому пересмотру, хотя с практической стороны благоприятное действие навоза на фосфатное питание растений остается при этом незатронутым. Дело в том, что, независимо от степени усвояемости фосфорной кислоты самого навоза, органическое вещество навоза способно мобилизовать также фосфорную кислоту почвы даже при нейтральной реакции (явление десорб-

чаются, например, такие проценты использования для навоза (Шнейдеминд):

N	P_2O_5	K_2O
22,2	28,7	47,6

Зависимость использования P_2O_5 от дозы навоза в вегетационных опытах НИУ (песчаные культуры) отражается следующим образом:

Дано P_2O_5 на сосуд (в граммах)	Использовано при внесении в виде			
	KH_2PO_4	навоза (соломенная подстилка)		
		обыкновенного	по Кранцу	плотного
0,250	44,8%	34,4%	55,6%	43,6%
0,500	31,2%	26,0%	34,2%	25,6%

Таким образом, и при этой постановке опытов усвояемость фосфорной кислоты навоза была высокой.

Для калия навоза в песчаных культурах наблюдалась усвояемость от 67 до 88% от внесенного калия по сравнению с 75%, усвоенными из хлористого калия, т. е. усвояемость калия в навозе была в этом случае еще выше, чем для P_2O_5.

Если мы примем во внимание не только средний состав навоза, в котором калий представлен втрое сильнее, чем фосфор (0,5% N, 0,2% P_2O_5 и 0,6% K_2O), но и среднюю усвояемость отдельных питательных веществ, которая для калия

ция в противоположность адсорбции). Растворы гуминовых веществ (высокодисперсные золи) способны оказывать стабилизирующее (защитное) действие на различные суспензии и противодействовать образованию осадков трудорастворимых фосфатов, например:

pH	Осаждение P_2O_5 раствором $CaCl_2$	То же, в присутствии гумата аммония
5,39	0 мг	0
5,82	2,93 »	0
6,28	32,19 »	0
7,47	77,00 »	0

Под гуматом аммония здесь разумеется аммиачная вытяжка из бурого угля с одинаковым количеством органических веществ во всех случаях, но при разных количествах аммиака для регулирования pH. В опытах извлечения фосфорной кислоты из трудорастворимых фосфатов (при взбалтывании в течение 14 дней, по 8 часов ежедневно) переведены были в раствор (без уточнения характера этого растворения) такие количества P_2O_5 (в миллиграммах):

Фосфаты	Без добавления гумата	С добавлением гумата натрия (pH=7,48)
Фосфат «Ривиши»	34,90	88,96
Фосфорит из Алжира	3,52	60,64
» » Марокко	0,80	54,00
» » Флориды	4,44	117,60
То же, после прокаливания	4,00	25,16

Ясно, что такое же растворяющее (или, вообще говоря, мобилизующее) действие должны оказывать гуминовые вещества навоза и на фосфаты почвы; поэтому в опытах Шнейдеминда должно было суммироваться действие фосфорной кислоты самого навоза с повышением усвояемости фосфорной кислоты почвы.

В связи с приведенными выше данными высказано было мнение, что когда применяют подпашку навозной жижей старых плодовых деревьев для усиления плодоношения, то смысл этой меры заключается не столько в доставлении растениям азота, сколько в мобилизации и продвижении в глубину фосфорной кислоты, которая так нужна для плодоношения, но которая наклонна задерживаться в верхних слоях почвы благодаря энергичному ее поглощению.

Поэтому для нахождения действительного коэфициента усвояемости фосфорной кислоты навоза правильнее прибегать не к полевым опытам и вообще не к опытам с почвой, а к опытам в песчаных культурах, с введением навоза в качестве источника только фосфорной кислоты, как это и было сделано в опытах НИУ (см. выше).

Однако необходимость предлагаемых поправок к опытам Шнейдеминда не умаляет значения приведенных выше данных.

является наилучшей (25% для N, 30—40% для P_2O_5 и 60—70% для K_2O), то придем к заключению, что *навоз наиболее обильно снабжает растения калием.*

Кроме хорошей усвояемости калия в навозе, нужно отметить, что в этом случае калий не сопровождается излишними катионами и анионами (Na, Cl, SO_4), которые обычно содержатся в калийных солях и которые производят на некоторые растения отрицательное действие: так, в Германии пришли к выводу, что *для картофеля лучшую форму калийного удобрения представляет навоз.* Но если нужно дать растению такое же количество усвояемого азота и фосфора, как и калия, к навозу приходится добавлять некоторые количества названных веществ в виде минеральных удобрений. Если вносить навоз по потребности в фосфоре или азоте, то мы дадим избыток калия, а если бы стали вносить его по калию, то в большинстве случаев получили бы недостаточно азота и фосфора. Это отвечает факту, не раз отмечавшемуся выше, что *потребность в усилении навозного удобрения минеральными удобрениями возникает обычно раньше по линии фосфора и азота, чем по линии калия* (кроме, конечно, почв, от природы особенно бедных калием).

В предыдущем мы касались вопроса об использовании питательных веществ навоза за краткие периоды, один или два года; но действие навоза растягивается, конечно, и на большее число лет, которое на разных почвах может быть различным; не входя пока в эти различия в темпах использования навоза, остановимся прежде на другом общем вопросе, а именно: насколько используются растениями питательные вещества навоза за все то время, пока он проявляет свое действие, т. е. если взять достаточное число лет и сложить как действие, так и сумму приростов от последействия навоза, то *каково будет конечное использование питательных веществ навоза* само по себе (в процентах от внесенных количеств) и по сравнению с растворимыми формами минеральных удобрений. Для этой цели годятся только такие опыты, в которых количество питательных веществ в навозе и в минеральных удобрениях за весь севооборот было выравнено, и опыт охватывал несколько ротаций севооборота.

Исследований, удовлетворяющих этому требованию, пока немного; в частности, по вопросу о конечном использовании азота навоза имеются систематические опыты, проведенные почти в течение тридцатилетнего периода в Дании, в зоне подзолистых почв, притом на двух разностях—на суглинке и на легкой песчаной почве.

В отличие от исторически известных опытов с удобрениями в Ротамстеде, ведущихся при бессменной культуре с 1843 г.[1], датские опыты велись в четырехпольном севообороте норфолькского типа (пропашное, яровое, клевер, озимое) при двух вариантах этого севооборота[2] на каждой почве (итого, собственно, четыре опыта), не считая четырехкратной повторности делянок в пределах каждого опыта.

Опыты велись при возможном выравнивании количеств питательных веществ (N, P и K), вносимых за время севооборота с навозом (40 т за 4 года) и в тех минеральных удобрениях[3], с которыми должно было сравниваться

[1] Ротамстедские опыты для нашей цели в данном случае непригодны, так как в них количества азота в навозе не только не были выравнены с минеральными удобрениями, но были чрезмерно велики по сравнению с обычными в полеводстве (они отвечали огородной культуре). Условию выравнивания количества питательных веществ отвечают у нас многолетние опыты, заложенные в Мироновке С. Л. Франкфуртом; эти опыты, как и датские, не обнаружили преимущества навоза над минеральными удобрениями (при условии вышеотмеченном—выравнивании питательных веществ), но так как эти опыты заложены на черноземной почве и всегда высказывается предположение, что влияние органического вещества навоза здесь не проявилось потому, что чернозем и так богат перегноем, то мы предпочитаем цитировать данные датских опытов, которые проведены на почвах подзолистого типа, к которым такое выравнивание относиться не может.

[2] В одном случае пропашной клин был занят свеклой, в другом—картофелем.

[3] Доза минеральных удобрений согласовалась не со средним составом навоза, взятым из справочника, а с составом действительно применявшегося навоза, а именно: в год на гектар давалось 40 кг N, 29 кг P_2O_5 и 37 кг K_2O.

использование питательных веществ навоза (селитра, суперфосфат и калийная соль); навоз вносился в течение севооборота в два приема, минеральные удобрения—под каждое растение.

Нужно подчеркнуть, что датские опыты имели в виду *исследовательские задачи* (оценку действия составных частей навоза), а вовсе не практическое предложение по замене навоза минеральным удобрением, как это по недоразумению иногда думают (как раз в Дании высокий уровень урожаев достигается в первую очередь внесением больших количеств навоза).

Конечно, заранее можно было сказать, что в первый год опыта растворимые формы питательных веществ в минеральных удобрениях должны дать больший эффект, чем равное количество питательных веществ в навозе, так как часть их (по крайней мере, это относится к азоту) находится первоначально в неусвояемом для растений состоянии; однако в последующие годы и вообще при повторении севооборота к действию вновь вносимого навоза должно присоединиться последействие от предыдущих внесений, поэтому в итоге действие навоза должно бы выравняться с действием минеральных удобрений, если только весь азот навоза постепенно (хотя бы, например, за 10 лет) переходит в усвояемые формы.

Если бы в конечном итоге азот навоза (как и другие вещества) переходил со временем благодаря процессам минерализации целиком в усвояемое состояние, то при длительном опыте эффект от навоза должен бы быть, по крайней мере, равным эффекту от минеральных удобрений или даже выше его вследствие наличности органического вещества; однако этого не наблюдалось, как видно из следующих цифр (ограничимся для краткости данными только для суглинистой почвы и для четырехполья со свеклой).

Культура и условия опыта \ Периоды (годы)	1894—1901	1902—1909	1910—1917	1918—1923
Урожай овса (зерно) (в центнерах с 1 га)				
Без удобрения	17,4	14,0	11,4	9,9
Навоз	23,0	22,1	22,0	18,9
Минеральные удобрения	26,2	24,7	23,9	22,0
Урожай клеверного сена (в центнерах с 1 га)				
Без удобрения	48,0	38,7	25,9	40,2
Навоз	58,5	54,8	41,1	66,4
Минеральные удобрения	64,1	64,3	45,8	73,0
Урожай ржи (зерно) (в центнерах с 1 га)				
Без удобрения	13,6	11,2	11,0	10,1
Навоз	19,6	19,2	18,9	14,9
Минеральные удобрения	22,7	22,3	24,9	20,4
Урожай свеклы (корни) (в центнерах с 1 га)				
Без удобрения	266	93	123	81
Навоз	436	429	411	354
Минеральные удобрения	489	478	554	524

Если выразить все урожаи в зерновых эквивалентах и перечислить продукцию за целый севооборот с 1 га в среднем за каждый год, то ход изменения урожаев на делянках с навозом, минеральными удобрениями и контрольных выразится такими кривыми (см. рис. 54).

Таким образом, при выравнивании количеств N, P и K действие навоза оказалось ниже действия минеральных удобрений, несмотря на большую продолжительность опыта и возможность суммирования действия новых порций навоза с последействием длинного ряда раньше внесенных порций. Необходимо было выяснить причины этого явления, что и было сделано в Аскове.

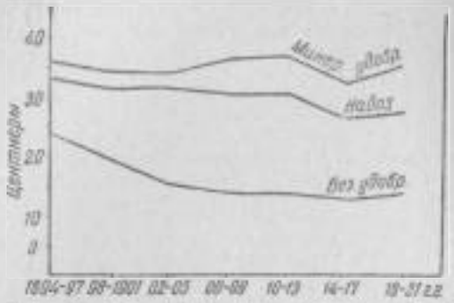


Рис. 54. Урожаи по минеральным удобрениям и по навозу при условии выравнивания доз N, P и K (Асков, Дания).

Так как мы видели, что более низкая усвояемость свойственна именно азоту навоза, а фосфор и калий могут использоваться не хуже (а нередко даже лучше), чем в минеральных удобрениях, то естественно ожидать, что и в данном случае фактором, ограничивающим действие навоза, было худшее использование азота по сравнению с селитрой. Действительно, анализы урожаев показали, что, несмотря на большую продолжительность опытов, и в данном случае все-таки наблюдается для навоза меньшее суммарное использование азота, чем для селитры, именно: во всей сумме урожаев за 28 лет недоставало азота (в процентах от внесенного за это время с удобрениями):

	Минеральные удобрения	Навоз
При подсчете для всех растений .	45	38
То же, если исключить клевер . .	48	51

Использование азота минеральных удобрений составляло, таким образом, по первому подсчету 85%, а азота навоза—62% (но более правильным нужно считать второй способ подсчета, дающий 82 и 49%).

Анализ почвы при этом обнаружил, что *обогащение ее азотом* (в органических веществах) *было больше в случае навоза, чем в случае минеральных удобрений*[1], следовательно, главный источник неполного использования азота навоза состоит в том, что в нем отчасти содержатся (или за его счет образуются в почве) азотистые соединения, неспособные к минерализации, увеличивающие мертвый запас азота в почве.

Кроме того, в случае навоза есть еще источник потерь азота, которого нет в случае минеральных удобрений,—это потери аммиака от улетучивания, если навоз после разбрасывания не тотчас запахивается; далее, потери от вымывания в условиях датской зимы (мягкой и влажной) могли быть больше для навоза, чем для минеральных удобрений, потому что последние полнее использовались растениями за вегетационный период и на зиму оставалось меньше материала для вымывания, навоз же, меньше использованный за лето, осенью продолжал давать нитраты, которые за зиму вымывались. Поэтому необходимо повторение этого типа опытов в наших условиях для различных почвенных и климатических зон.

Если же оценивать результаты этих опытов не по балансу азота, а по приросту урожаев, то оказывается, что при обычных для полевой культуры нормах внесения действие питательных веществ в навозе при длительном опыте равносильно действию половины того же количества питательных веществ в минеральных удобрениях[2].

[1] Но и в случае минеральных удобрений почва стала богаче органическим веществом, чем без удобрения вообще; градация была такова: 2,0—2,2—2,4 (на тысячу частей почвы).

[2] Поскольку ограничивающим фактором для использования фосфора и калия навоза является неполное использование азота; если бы поставить опыт с исключением внесения азота (путем внесения селитры на всех делянках), то ясно, что, например, для калия получились бы гораздо более высокие цифры.

Такие соотношения сохраняют некоторое постоянство, конечно, только в пределах известных доз удобрения при данных условиях опыта; в данном случае нормой являлось количество удобрений, вносимых с 40 т навоза в четырехпольном севообороте, и тогда в условиях этих опытов (при достаточно длинном сроке) оказывалось, что навоз[1] может быть заменен половинным количеством питательных веществ в минеральных удобрениях; при этом нужно принять во внимание, что половинное против указанной нормы количество минеральных удобрений давало как всегда не 50% прироста, а больше, в условиях данного опыта—от 66 до 70% эффекта от полного их количества. При 12-летних опытах на двух опытных станциях в Дании наблюдались такие приросты урожаев[2]:

		Количество питательных веществ в удобрении					
		Минеральные удобрения			Навоз		
		1/2	1	1 1/2	1/2	1	1 1/2
Приросты урожая	1	12,7	19,2	22,4	6,6	11,5	15,2
	2	10,0	13,9	15,4	6,4	10,3	12,7

т. е. половинное количество минеральных удобрений заменяло полное количество навоза, а единица удобрения превосходила по действию полуторное количество навоза, приближаясь к действию двойного количества (см. также рис. 55).

На основании этих опытов автор отчета (Иверсен) предлагает такой способ оценки питательных веществ в навозе для датских условий: взять 50% от цен за азот, фосфор и калий в стандартных минеральных удобрениях, вычесть из полученного разницу в стоимости доставки в поле навоза, с одной стороны, и минеральных удобрений—с другой.

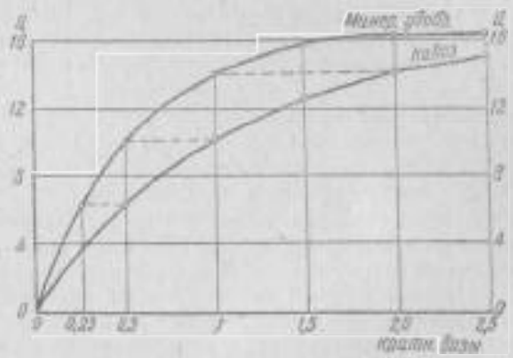


Рис. 55. Сравнительное действие навоза и минеральных удобрений при условии выравнивания количества питательных веществ (однократная доза отвечает 40 т навоза на гектар).

Однако, помимо других условностей в этого рода подсчетах, нужно еще отметить, что, например, калий навоза в этих опытах действовал наполовину, *несмотря* на свою высокую усвояемость, поэтому нецелесообразно скидывать со счета калия 50% за то, что азот навоза за 12 лет дал лишь половинный эффект; то же относится и к фосфору.

Таким образом, предложение Иверсена должно относиться только к азоту.

Нужно отметить, что наблюдавшаяся эквивалентность действия (включая последействие за ряд лет) для питательных веществ навоза действию половинной нормы минеральных удобрений не будет сохраняться при значительном повышении доз удобрения сверх обычной нормы; так, на основании суммы опытов на двух датских опытных станциях с несколькими севооборотами

[1] Totavee—азот навоза.

[2] Центнеры на гектар за год для средней продукции всего севооборота в пересчете на зерновые эквиваленты по принятому в Дании способу (см. выше). Единица удобрения—40 т навоза на гектар в год.

в каждом случае выведены были следующие общие (точные лишь для местных условий) закономерности (рис. 55).

Мы видим, что с возрастанием доз различие между действием навоза и минеральных удобрений сглаживается.

Но этим еще не все сказано: *при еще более высоких дозах действие навоза будет превосходить действие минеральных удобрений*, если они вносятся сразу (до посева), потому что они благодаря полной растворимости могут давать уже вредную для молодых растений концентрацию раствора; поэтому, если в графическом изображении продолжить датскую схему на еще большие количества, то должен получиться следующий результат (см. схему, рис. 56); в случае же навоза первоначальная концентрация будет меньше, а во вторую половину вегетационного периода благодаря процессам минерализации навоз даст некоторое добавочное количество растворимых соединений (по крайней мере, это относится и азотистым веществам). *Максимальные же урожаи достигаются комбинацией навоза и минеральных удобрений*, которая позволяет обильно снабдить растения усвояемой пищей в первых стадиях развития и дать в то же время в виде навоза резерв постепенно приходящих в действие питательных веществ; так, например, Шнейдевинд получил в опытах с сахарной свеклой такие результаты (урожай корней в центнерах с гектара):

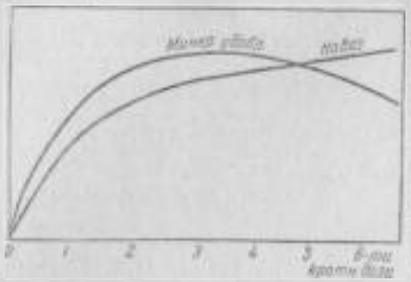


Рис. 56. Схема действия равных доз питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях (в случае перехода к высоким дозам удобрений).

Без удобрения	200 ц навоза	300 ц навоза	200 ц навоза + минеральные удобрения
335	438	461	482

Сказанным объясняется, почему так ценит именно эту комбинацию с навозом при такой интенсивной культуре, как культура овощей и, в частности, при культуре овощей под стеклом, где требуется высокий уровень снабжения растений питательными веществами. То же самое относится к условиям получения высоких урожаев полевых культур; известно, что стахановцы, добившиеся рекордно высоких урожаев, широко использовали именно этот путь—сочетание навоза с минеральными удобрениями (наряду с применением подкормок растений во время вегетации).

Кроме *условий концентрации*, при высоких дозах питательных веществ и энергичном потреблении требовательными культурами отдельных компонентов почвенного раствора возможны сильные *сдвиги реакции* в ту или другую сторону (проявление физиологической кислотности и щелочности) и возможны *нарушения физиологической уравновешенности раствора*; в этом случае гуминовые вещества навоза играют двоякую роль (кроме постепенности в отщеплении усвояемых соединений): 1) обладая высокой буферностью благодаря наличности как основных групп (NH_2), так и кислотных (COOH), они сдерживают сдвиги реакции питательного раствора, тенденция к которым создается взаимодействием корней растений с солями, вносимыми с удобрениями; 2) обладая высокой поглотительной способностью, они способствуют в то же время понижению концентрации питательного раствора и таким образом страхуют требовательные культуры от ряда неблагоприятных воздействий, обеспечивая возможность снабжения их гораздо большим количеством питательных веществ.

Поэтому при культуре овощных растений (а при обильных дозах удобрений и в полевой культуре) навоз мог бы быть заменен только при условии не однократного, а хорошо отрегулированного повторного внесения минеральных

удобрений (подкормки во время роста). *Но еще лучше, конечно, сочетание навоза с минеральными удобрениями и с применением подкормок во время вегетации.*

В литературе встречаются неверные утверждения, будто датские опыты не дали ничего нового, так как давно было известно, что азот навоза действует гораздо хуже, чем азот селитры, и еще Вагнер считал, что усвояемость азота навоза составляет только 25% от усвояемости азота селитры. Но при этом смешиваются два совершенно разных вопроса, а именно: 1) вопрос об усвояемости азота навоза в первый или второй год или самое большее в пределах одного севооборота; 2) вопрос о конечном использовании азота навоза в очень длительном опыте (почти 30 лет). Для второго вопроса датские опыты впервые дали достоверный материал, тогда как опыты в Ротамстеде совершенно непригодны для учета использования азота навоза вследствие чрезмерных доз навоза, достигавших 35 т на 1 га ежегодно; использование азота не могло быть нормальным, так как урожаи уносили около 60—80 кг азота, с навозом же давалось 175 кг азота в год. Таким образом, если при поверхностном рассмотрении данных ротамстедских опытов с ячменем они создают иллюзию неизменного превосходства навоза над всеми другими видами удобрений, то по использованию азота, наоборот, они ставят навоз в невыгодное положение, так как, например, для 50-летнего периода (1861—1914 гг.) наблюдается только 35-процентное использование азота вместо 50—60%, полученных в датских опытах для навоза за 30-летний период, в то время как для азота селитры Ротамстед указывает не менее хорошее использование, чем в датских опытах (т. е. свыше 80% от внесенного за все время азота).

Ясно, что нормальным для навоза является датский коэфициент, а не те данные, которые были получены в Ротамстеде (что не мешает признанию ценности ротамстедских данных в других отношениях, кроме сравнимости указанных делянок с остальными в опыте с ячменем).

В предыдущем изложении, говоря о длительных опытах с навозом, мы имели в виду главным образом вопрос о конечном использовании азота навоза, и в этом отношении датские опыты, как сказано, впервые дали определенный ответ.

Но гораздо труднее в западной литературе найти ответ на другой вопрос, а именно, как сказывается на высоте урожаев само органическое вещество навоза, независимо от содержания азота в нем (разумеется, конечно, влияние на урожай через посредство почвы, а не прямое влияние на растения).

Раньше могло казаться, что именно та постановка, какая имела место в датских опытах, должна дать ответ на такой вопрос, так как раз количества N, P и K выравнены (следовало бы выравнять еще и Ca и остальные элементы), то по методу разницы мы должны бы учесть влияние органического вещества на урожаи. Однако этот ход мысли основывался на предположении, что через какой-то большой промежуток времени (25—30 лет) весь азот навоза подвергнется минерализации; тогда, благодаря суммированию последействия всех предыдущих лет, азот навоза в конце концов сравнялся бы по действию с азотом селитры; но датские опыты показали, что это не так, и метод разницы оказался в этой форме неприложимым для разрешения вопроса о влиянии на урожаи органического вещества навоза[1].

Можно только констатировать, что урожаи на безнавозных делянках, получавших минеральное удобрение за 7 ротаций четырехпольного севооборота, нисколько не уменьшились, следовательно, внесение органического вещества

[1] Казалось бы, что имеется другой путь для учета роли органического вещества, именно внесение его в почву без изменения азота в ней. Так как внесение клетчатки и других углеводов вызывает заведомо снижение урожаев вследствие переведения легко усвояемых азотистых соединений почвы в труднорастворимые, то автором была высказана мысль (1927 г.), нельзя ли прибегнуть к посеву на зеленое удобрение небобовых, чтобы запахивать массу, хотя и содержащую азот, но только азот той же почвы, который после разложения запаханной массы должен опять переходить в усвояемые соединения; при этом почва должна постепенно обогащаться гумусом, влияние которого нужно проследить на урожаях. Но оказалось, что в Германии на опытной станции в Бернбурге уже ведется такой опыт (с 1917 г.), именно: при одинаковом севообороте в одном случае после ржи поочередно высевается горчица на зеленое удобрение, в другом—подсевается сераделла для той же цели и в третьем—поле после ржи ничем не засевается; результат к 1927 г. был таков: запахивание сераделлы (бобового) все время давало плюс, запахивание горчицы все время давало минус. Значит, этот путь тоже не пригоден для учета действия на урожай органического вещества как такового, и остается испытать по прекращении подсева горчицы после ряда лет внесение значительных количеств азотистых удобрений на все делянки, чтобы заведомо устранить азотный минимум, и тогда учесть, будет ли разница между делянками, получившими зеленое удобрение в виде горчицы и не получившими его.

изане для данной почвы (при данном ее культурном состоянии) никакого влияния на урожай не оказало.

Было высказано мнение, будто бы такой результат датских опытов зависел от наличности в севообороте клевера, корневые остатки которого заменили собой органическое вещество навоза. Но не видно, почему здесь особенное значение нужно приписывать клеверу; озимая рожь способна оставлять в почве тоже немалое количество корневых остатков (до 5 т по определениям, произведенным в Германии в восьмидесятых годах, когда урожаи были гораздо ниже современных), и если клевер способен давать в $1\frac{1}{2}$—2 раза больше этих остатков, чем рожь, то зато он занимал в датском опыте только 25% от всей площади, и другие растения, занимавшие втрое большую площадь, должны были оставить в сумме все-таки больше корневых остатков, чем клевер (опыт, подобный датскому, но включающий бесклеверный севооборот, заложен в 1931 г. на Долгопрудном опытном поле НИУ; результаты получены в общем близкие к тем, которые наблюдались в датских опытах, но обнаружена тенденция лучшего действия навоза по сравнению с минеральными удобрениями в годы с малым количеством осадков).

Наиболее длительные опыты с навозом и минеральными удобрениями ведутся в Ротамстеде (Англия)—они начаты были еще в 1843 г. Лоэзом и по той же схеме продолжаются до сих пор.

С точки зрения оценки усвояемости азота навоза эти опыты не могут итти в сравнение с датскими, потому что в них навоз вносился ежегодно в количестве 35 т на 1 га, при этом коэфициент использования азота, конечно, получается ненормально низким, но в смысле учета роли органического вещества навоза здесь есть нечто интересное, и в известной части этих опытов мы можем найти как бы невольное дополнение к датским опытам.

Именно, если в датских опытах продуктивность делянок была снижена малой усвояемостью азота навоза, которая даже за долгий период не превышала 30—60% от усвояемости азота селитры, то можно представить такую постановку опыта, в которой навоза дано в 3—4 раза больше, чем в датских опытах, и вопроса о недостатке азота быть не может, а если в то же время имеются делянки с минеральными удобрениями, тоже обильно снабженные азотом, то можно сравнивать урожаи тех и других делянок и искать ответа на вопрос о влиянии органического вещества как такового.

Как раз такой случай мы имеем в ротамстедских опытах с озимой пшеницей, который, правда, имеет тот недостаток, что азот в течение 80 лет давался только в виде $(NH_4)_2SO_4$, но богатый ротамстедский суглинок, имеющий, кроме большого количества поглощенного кальция, еще и запас $CaCO_3$, вынес это испытание, повидимому, без ущерба для урожая. В этом опыте при бессменной культуре пшеницы $(NH_4)_2SO_4$ давался на разных делянках в трех различных дозах, именно по расчету 47 кг, 94 кг и 141 кг азота на гектар (на фоне KP), а навоз давался также ежегодно по 35 т на 1 га, или из расчета на азот по 175 кг на 1 га. Вот результаты этого опыта за 80 лет (отбрасываем 1844—1851 гг., когда схема была неполна):

Урожаи пшеницы (в гектолитрах с 1 га)

Периоды	По минеральному удобрению				По навозу (175 кг N)
	Без N	47 кг N	94 кг N	141 кг N	
1852—1861 гг.	16,5	24,4	31,2	32,4	30,7
1862—1871 »	13,9	23,1	32,2	36,4	33,7
1872—1881 »	10,9	17,2	24,2	28,0	25,8
1882—1891 »	11,4	22,0	31,4	34,5	34,3
1892—1901 »	13,3	20,7	28,6	34,6	35,2
1902—1911 »	12,1	19,2	27,7	33,4	31,5
1912—1921 »	8,5	14,1	20,6	23,5	23,1
1922—1931 »	9,4	14,6	21,0	21,0	19,8
Среднее	12,1	19,3	27,1	30,4	29,3

Из сравнения цифр двух последних столбцов видно, что если устранен азотный дефицит внесением высоких доз как навоза, так и минеральных удобрений, то на ротамстедской почве получаются одинаковой высоты урожаи, и значение органического вещества навоза ни в чем не проявляется, несмотря на совершенно исключительную продолжительность ведения опытов (это относится, конечно, и почве, обладающей и без того высокоразвитым поглощающим комплексом, и не может быть переносимо на какой-нибудь бедный подзол или песчаную почву, нуждающуюся в повышении как влагоемкости, так и емкости поглощения и буферности[1]).

Мы намеренно привели с достаточной подробностью результаты опыта с пшеницей, потому что в литературе чаще цитируются данные другой серии ротамстедских опытов, как представляющие будто бы пример ясного положительного действия органического вещества навоза. Данные этого опыта выше приводились нами (на стр. 183), но с другой целью, для суждения же о роли органического вещества этот опыт не дает никаких указаний, потому что в нем не было делянок с достаточным количеством азота в виде минеральных удобрений; так, в виде селитры давалось только 47 кг азота, с навозом же вносилось 175 кг, а из приведенной выше таблицы урожаев пшеницы ясно видно, что 47 кг еще далеко не достаточны для хорошего снабжения растений азотом на почве Ротамстеда, и, конечно, в данном случае разница между урожаями по минеральным удобрениям и урожаями по навозу вызвана низкой дозой азота в селитре. Если еще для одного года опытов возможно, что 47 кг азота дадут меньший эффект, чем 175 кг азота в виде навоза, то при дальнейшем ежегодном внесении тех же доз влияние последействия должно дать ясный перевес урожаям по навозу, это и имело место в опытах с ячменем (см. рис. 11 на стр. 184).

Кроме опытов в Ротамстеде и Аскове (Дания), имеется еще большое число опытов по тому же вопросу, которые не отличаются той же выдержанностью, но стоят ближе к сельскохозяйственной действительности. Именно, если в датских опытах в целях исследовательских количество азота в навозе было выравнено с количеством азота в селитре (а на практике дается больше азота в навозе, чем в селитре) и если в ротамстедских опытах имела место другая крайность (навоз вносился в слишком больших количествах), то промежуточное положение между той и другой постановкой мы находим в опытах, проведенных в Германии Вагнером по той же самой схеме в 20 хозяйствах. Опыты были заложены в четырехпольном севообороте (кормовая свекла, озимая пшеница, ячмень, рожь), навоз вносился в количестве 66 т за каждые 4 года (или 82 кг азота в среднем на 1 год), в виде селитры давалось каждый год 57 кг азота; приведем в качестве примера данные только для одного из хозяйств (Ernsthofen):

Культуры	Урожаи (в центнерах с 1 га)					
	за 1-ю ротацию		за 2-ю ротацию		за 3-ю ротацию	
	Навоз	Минеральные удобрения	Навоз	Минеральные удобрения	Навоз	Минеральные удобрения
Кормовая свекла	409	584	552	839	448	659
Озимая пшеница	19,8	25,1	34,6	52,0	24,0	40,5
Ячмень	16,1	27,7	24,3	36,5	17,6	27,7
Рожь	—	—	23,8	37,0	20,4	29,4

[1] Нужно отметить, что, конечно, на делянках, получивших минеральное удобрение, имело такое место накопление органических веществ, так как ясно, что если надземный урожай при 141 кг азота составляет 36 ц, а без азота 12, то в подземной части (и вообще в пожнивных остатках) тоже должна быть известная разница, и постепенно почва должна обогащаться органическим веществом. В датских опытах анализ показал увеличение содержания органического вещества под влиянием минеральных удобрений к концу опыта как на делянках с минеральными удобрениями, так и с навозом, но, конечно, в разной степени, а именно (на тысячу частей почвы):

Без удобрения	Минеральные удобрения	Навоз
2,0	2,2	2,4

В одном из американских опытов почва без удобрения содержала после 15-летней культуры 48 т органических веществ на гектар, а при минеральных удобрениях—68 т.

Таким образом, в подобных опытах мы имеем дело не с исключением органического вещества вообще, а только с исключением его из состава вносимых удобрений на безнавозных делянках.

Мы видим, что при этой постановке, более близкой к хозяйственным условиям Запада, действие навоза далеко не достигало действия минеральных удобрений; при соответственно меньшей продолжительности опыта различие это больше, чем в датских опытах (если подсчитать продукцию на 1 га за последнее четырехлетие, приравняв 5 ц свеклы к 1 ц зерна, то получим для навоза величину в 38 ц на 1 га, а для минеральных удобрений—57,4 ц на 1 га). Таким образом, в этой постановке нельзя было уловить положительного влияния органического вещества навоза на высоту урожаев.

Упомянем еще об одной постановке опыта по тому же вопросу сравнения действия навоза и минеральных удобрений, принадлежащей проф. Леммерману; последний исходил из того факта, что навоз, с которым велся опыт, содержал $^1/_3$ своего азота в усвояемом (в первый же год) состоянии (аммиачный азот), поэтому в минеральных удобрениях дано было не равное количество азота, а только $^1/_3$ этого количества; за 2 года ведения такого опыта получились равные урожаи как по навозу, так и по минеральным удобрениям: роль органического вещества и в этой постановке не проявилась.

В итоге можно сделать следующее заключение: бесполезно искать таких данных о полезном влиянии внесения органического вещества на почвах старой культуры, каковыми являются не только почвы Ротамстеда, но и то почвы подзолистой зоны, на которых ставились датские опыты; для этого нужно пойти в сторону «злых» подзолов с разрушенным поглощающим комплексом, с плохими физическими свойствами, в частности, с малой влагоемкостью.

Наиболее четко такое влияние органического вещества сказывается в тех районах новой культуры, которые создались теперь за Полярным кругом в связи с возникновением на Кольском полуострове такого промышленного центра, как Кировск. Там малоразвитые почвы («карликовые подзолы») с большой примесью каменистых обломков обладают такой высокой водопроницаемостью и малой поглотительной способностью, что внесением одних минеральных удобрений нельзя поднять урожаи, так как питательные вещества вымываются в подпочву. Поэтому на таких почвах внесением органического вещества надо повысить и влагоемкость и емкость поглощения, тогда хорошо будут действовать и минеральные удобрения. Культура здесь начинается прежде всего с осушенных низовых болот, которые при внесении минеральных удобрений дают обильные урожаи кормов и позволяют организовать молочное хозяйство, а следовательно, иметь навоз; только после этого можно переходить к культуре на минеральной почве с внесением навоза. Понятно, что подобный случай с «карликовым подзолом» является крайним проявлением таких условий, когда чрезвычайно резко проявляется роль органического вещества навоза в повышении плодородия почвы. Несомненно, что положительное действие органического вещества навоза имеет место и во многих других случаях, в особенности на бедных почвах подзолистой зоны, которые без внесения навоза не дают хороших урожаев.

Между южной границей подзолистой полосы и началом тундры лежат все оттенки почвенных разностей, которые при обращении в культуру испытывают на себе *благотворное влияние* не только *органического вещества навоза*, но и его зольных составных частей (CaO, MgO и др.), которым до сих пор недостаточно уделялось внимания, а между тем систематическое применение навоза не только повышает поглотительную способность почвы, но и постепенно устраняет почвенную кислотность.

Обычно упускается из виду, что сухое вещество навоза богато зольными веществами (оно процентно обогащается ими как вследствие того, что животный организм сжигает значительную часть органического вещества, так и благодаря тому, что бактерии во время разложения навоза продолжают дело разрушения углеводов). Поэтому повторное внесение навоза, помимо внесения питательных веществ и повышения емкости поглощения почвы, повышает еще степень насыщенности поглощающего комплекса основаниями, частично заменяя известкование (так, с 35 т навоза вносится около 1 т зольных веществ).

В какой степени навозное удобрение может изменять свойства подзолистых почв, видно из следующего примера:

Почвы совхоза Грибово (по Францессону)

Образцы почвы	Емкость поглощения (миллиграммов на 100 г почвы)	Гидролитическая кислотность (миллиграммов-эквивалентов на 100 г почвы)	Степень насыщенности основаниями (в процентах)	Сумма поглощенных оснований, миллиграммов-эквивалентов на 100 г почвы	pH солевой вытяжки	P_2O_5 по Арнеуту (миллиграммов на 100 г почвы)	Потенциальная кислотность (миллиграммов на 100 г почвы)
I. Некультурная почва (из-под леса)	12,1	5,5	54,4	6,6	4,2	2,3	14,0
II. Полевой участок (мало удобрявшийся навозом)	12,7	4,6	63,2	8,0	4,5	4,5	Не опр.
III. Приусадебный полевой участок, систематически удобрявшийся навозом	18,8	4,3	77,1	14,5	5,3	19,5	19,0
IV. Огород (сильно унавоживается)	21,5	2,8	86,8	18,7	5,5	90,0	64,2
V. Старый огород (кроме интенсивного унавоживания имело место известкование)	44,8	0,4	99,1	44,4	6,8	192,0	80,5

Сравнивая данные для почв III и IV со случаями I и II, мы видим, что систематическое применение навоза, помимо обогащения почвы питательными веществами, удваивает и утраивает сумму поглощенных оснований, повышает в $1^1/_2$—2 раза емкость поглощения, вдвое уменьшает гидролитическую кислотность. Сравнивая те же данные с цифрами для старого огорода (V), где применялось еще и известкование, мы видим, что применение навоза постепенно (III и IV) изменило ряд показателей в том же направлении, как и известкование; так, характерно, что степень насыщенности основаниями под влиянием унавоживания могла быть поднята до 77—87% против 54% насыщенности у почвы, не видавшей навозного удобрения, а pH солевой вытяжки—до 5,5 (вместо 4,2).

Одновременно возрастала под влиянием длительного унавоживания и буферность почв, как видно из следующего сопоставления:

Изменения pH при введении кислоты

Степень унавоженности	Внесено миллилитров 0,1-н кислоты		
	0	4	8
Почва, не видавшая навоза	5,34	3,74	2,22
Та же почва при среднем унавоживании	5,93	5,47	3,36
Сильно унавоженная почва (плюс известкование)	7,20	6,99	6,57

Благодаря повышению буферности почвы, регулярно удобрявшиеся навозом, являются более подготовленными и к применению минеральных удобрений, потому что введение солей, оставляющих кислые (или щелочные) остатки, может переноситься такими почвами гораздо лучше, чем малокультурными (и малобуферными) почвами, недостаточно заправленными навозом. Этим объясняется прежде казавшийся парадоксальным факт, что нередко на более плодородных землях минеральные удобрения дают большие приросты, чем на более бедных почвах, но то, что раньше объяснялось улучшением физических свойств

почв под влиянием навоза, в большей своей части должно быть отнесено к изменению физико-химических свойств.

Таким образом, правильное применение навоза является мощным фактором приведения в культурное состояние бедных подзолистых почв, и на этих почвах (а не на почвах старой культуры, как в Ротамстеде или Аскове, и не на черноземах) нужно в первую очередь ставить опыты по сравнению действия навоза и минеральных удобрений и по учету роли органического вещества навоза в деле поднятия урожаев.

Роль навоза как источника CO_2. Наряду с действием содержащихся в навозе питательных веществ, а также влиянием его на физические и физико-химические свойства почвы известное положительное значение для повышения урожаев культурных растений может иметь также повышение содержания CO_2 в надпочвенном слое воздуха в результате разложения навоза в почве. О том, какое количество CO_2 может образоваться при разложении навоза в почве, могут дать представление следующие подсчеты, сделанные Шнейдевиндом: при полном разложении органического вещества (до CO_2 и H_2O), содержащегося в 30 т навоза, должно было бы образоваться около 10 т углекислоты. Если допустить, что в течение вегетационного периода разложится половина всего органического вещества внесенного навоза, то это должно дать около 5 т CO_2, или 2 730 м³ углекислого газа. Если далее принять, что это количество выделяется равномерно в течение вегетационного периода в 170 дней, то среднесуточное выделение CO_2 на 1 га будет составлять 16 м³, или 1,6 л на 1 м² поверхности почвы. Допуская, наконец, что выделенное в течение суток количество CO_2 будет распределяться в метровом слое надпочвенного воздуха, получим, что повышение концентрации CO_2 в воздухе составит 1,6 л в 1 м³ (или 0,16 объемного процента), тогда как в атмосферном воздухе концентрация CO_2 равна всего 0,3 л в 1 м³ (или 0,03 объемного процента).

Понятно, что любые подсчеты подобного рода сугубо условны и приблизительны; они указывают лишь на порядок величин, с которыми мы имеем здесь дело. Поэтому интересно сопоставить их с результатами прямых определений количества углекислоты, выделяющейся из почвы, удобренной и не удобренной навозом.

В опытах Люндегорда, например, при определении количества CO_2, выделяемой в 1 час с 1 м² поверхности почвы наблюдалось увеличение (под влиянием навоза) в одном случае на 47 мг CO_2 и в другом—на 170 мг CO_2. Это отвечает 25—90 мл углекислого газа в час, что близко к приведенным выше расчетам, так как 1,6 л за сутки составляют в среднем 66 мл в час.

Надо заметить, что повышение выделения CO_2 почвой при внесении удобрения является в действительности результатом более сложных процессов и зависит не только от количества внесенного органического вещества, но и от влияния удобрения на интенсивность микробиологической деятельности в почве. Поэтому, например, тот же Люндегорд наблюдал повышение выделения CO_2 из почвы не только под влиянием навоза, но и минеральных удобрений, как это можно видеть из следующих данных:

Выделение CO_2 *в миллиграммах в 1 час на 1 м²*

Удобрение	Без растений	Под капустой
Без удобрения	228	411
NPK	330	468
NPK + навоз	Не опред.	545

Тот факт, что повышение концентрации CO_2 в надпочвенном воздухе может оказывать благоприятное влияние на рост растений, доказывается опытами, в которых углекислота вводилась искусственным путем, или же когда при внесении в почву навоза он был изолирован от корней растений и не мог служить источником азота, фосфора и калия. Так, в одном из опытов Люндегорда с кормовой свеклой на делянках размером в 100 м² были такие варианты: 1) 20 кг CO_2 вводились из бомбы в течение одного месяца (в августе); 2) 300 кг навоза, смешанного с почвой, вносились в конце июля в междурядья, выложенные толем; в этом случае действие навоза как источника N, P и K было исключено. Эти два варианта сравнивались с делянками, не получившими навоза и CO_2. Вот результаты этого опыта:

Варианты опыта	Урожай кормовой свеклы (в килограммах) с делянки площадью в 100 м²	
	корней	листьев
NPK	379,4	144,2
NPK + CO_2 (из бомбы)	405,6	145,6
NPK + навоз в междурядья, выложенные толем	454,2	139,4
Без удобрения	304,4	119,0

Здесь довольно отчетливо обнаруживается положительное действие CO_2, как введенной искусственно, так и выделенной при разложении навоза, внесенного в междурядья.

Опыты, проведенные в нашей лаборатории (Журбицкий, 1926—1929 гг.) по другой методике, также показали отзывчивость растений на CO_2, выделяющуюся при разложении навоза. Вегетационные сосуды с растениями помещались в соответствующие углубления в почву, причем в одном из вариантов в почву, окружающую сосуды, был внесен навоз, в другом варианте навоз не вносился.

Приведем здесь результаты некоторых из этих опытов (с сахарной свеклой).

Варианты	Вес корня (в граммах)	Вес листьев (в граммах)	Процент сахара в корне	Сахар (в граммах)
I опыт				
Контроль	445	664	15,5	22,5
+ CO_2 (навоз внесен в почву, окружающую сосуды)	480	638	15,9	28,2
II опыт				
Контроль	232	477	17,8	41,3
+ CO_2 (навоз внесен в почву, окружающую сосуды)	276	417	17,6	48,6

В этих опытах увеличение веса корня свеклы не сопровождалось увеличением веса листьев; повидимому, при повышении концентрации CO_2 интенсивность ассимиляции была выше, что и дало возможность растениям при меньшей массе листьев образовать больший корень и накопить в нем больше сахара.

Роль навоза как источника углекислоты, понятно, должна быть более заметной при получении высоких урожаев, для образования которых растения должны быть поставлены в наиболее благоприятные для интенсивной ассимиляции условия. Поэтому стремление сочетать применение навоза и других органических удобрений с минеральными удобрениями в целях создания оптимальных условий корневого питания растений находит оправдание и с другой точки зрения, а именно—обеспечения лучших условий и для процесса ассимиляции углерода благодаря воздействию на состав надпочвенного слоя воздуха.

Указывают иногда на то, что выделяющаяся из почвы CO_2 быстро рассеивается в атмосфере и что поэтому трудно рассчитывать на то, чтобы внесенные в почву удобрения могли оказать сколько-нибудь существенное влияние в этом направлении. Однако если это справедливо для случая, когда почва не покрыта растительностью или же растения недостаточно мощны, чтобы препятствовать передвижению воздуха у поверхности почвы, то под покровом мощных растений обмен воздуха, несомненно, происходит менее интенсивно. Поэтому как раз в моменты максимального развития вегетативной массы и ассимилирующей поверхности поступление CO_2 из почвы может оказаться существенным фактором снабжения растений углекислотой.

Таким образом, ко всему тому, что было сказано ранее о целесообразности сочетания органических и минеральных удобрений, *несомненно, надо добавить возможную роль навоза в снабжении растений углекислотой*, тем более что, как это видно из приведенных опытов Люндегорда, именно сочетание внесения навоза и минеральных удобрений сильнее всего повышает выделение углекислоты из почвы.

ПРИМЕНЕНИЕ НАВОЗА И ЕГО ДЕЙСТВИЕ НА РАЗНЫХ ПОЧВАХ

Размер действия навоза весьма различен по разным почвенным зонам и даже на том же типе почвы, смотря по давности введения ее в культуру, по частоте повторения навозного удобрения и другим условиям. В общем наиболее резкое положительное действие навоза наблюдается в нечерноземной полосе (причем продолжительность последействия в общем уменьшается по направлению к северу); хотя не столь резкое, но продолжительное действие наблюдается в средней части черноземной полосы; слабее действие его в той части степной полосы (без орошения), где культура еще очень молода и урожаи (в среднем за ряд лет) невысоки вследствие засушливости климата,—в этих условиях встречались даже случаи отрицательного действия соломистого навоза.

Установление размеров действия навозного удобрения было в свое время предметом изучения сети с.-х. опытных станций. Приведем здесь сводную таблицу, характеризующую сравнительную эффективность навоза в разных почвенных зонах по прежним данным[1] опытных станций.

Нечерноземная полоса		Чернозем (преимущественно лесостепь)		Степной юго-восток	
Опытные учреждения	Прибавка (в процентах)	Опытные учреждения	Прибавка (в процентах)	Опытные учреждения	Прибавка (в процентах)
Новозыбковская станция	93	Орловское опытное поле	81	Чишмийская станция	13
Московская областная станция	81	Елецкое опытное поле	46	Новоузенское опытное поле	12
Киноведворская (Западная область)	78	Носовская станция	40	Бежичувская станция	11
Могилевское опытное поле	70	Плотянская станция	44	Тамбовская станция	8
Тульское опытное поле	65	Харьковская станция	45	Вазьское опытное поле	2
Энгельгардтовская станция	61	Сумская станция	33	Анненковская станция	1
Московское картофельное опытное поле	59	Воронежская станция	22	Сердобское опытное поле	1
Владимирская станция	39	Полтавская станция	12		
Радомысльская станция	32	Верхнеднепровская станция	12		
		Сеть свеклосахарных хозяйств	11		
Среднее для нечерноземной зоны (опыты на 16 опытных станциях)	59,9	Среднее по 25 станциям (161 опыт)	30,3	Среднее для 7 станций (40 случаев)	6,0

Приведенные в этой таблице прибавки от навоза, выраженные в процентах от урожая без удобрения, имеют, конечно, лишь некоторое ориентировочное значение, но все же данные эти достаточно отчетливо выявляют более высокое действие навоза в нечерноземной зоне (также частично и на черноземах лесостепи) и общую тенденцию изменения величины прибавок при движении с северо-запада на юго-восток.

В абсолютных величинах прибавки урожая зерновых от удобрения навозом достигают (при дозе в 36 т на 1 га), по данным опытных учреждений подзолистой зоны, 8—11 ц на 1 га. Такого же порядка абсолютные прибавки (7—11 ц на 1 га) наблюдались в опытах Шатиловской опытной станции на деградированных черноземах, на Плотянской станции—до 7 ц на 1 га, опускаясь в более южных районах черноземной зоны до 4,5—3,5 ц на 1 га. Случаи отрицательного действия навоза наблюдались в прежних опытах Херсонского опытного поля

[1] «Вестник сельского хозяйства», № 3, 1926 г.

(на озими), а также на Донском опытном поле (при посеве озими по раннему пару; на поздних же парах действие навоза было и здесь положительным).

Однако по мере того, как урожаи повышаются в результате лучшей и более своевременной обработки почв (а следовательно, и лучшего сохранения влаги), создаются условия и для более эффективного применения удобрения, в частности, навоза, в тех районах (на юге и юго-востоке), где не так давно его совсем не применяли. При этом оказалось, что здесь существенное значение имеет глубина заделки навоза—при более глубокой заделке в районах недостаточного увлажнения удается получать лучшие результаты[1].

Вот, например, полученные в последнее время данные по действию навоза в степной части УССР[2]:

Место проведения опыта	Годы	Урожай озимой пшеницы (в центнерах с 1 га)	
		без удобрения	20—30 т навоза на гектар
Синельниковское опытное поле	1938	19,3	26,0
Зрастовское опытное поле	1935	24,5	29,7
Одесская опытная станция	1938	20,1	25,0
Артемовская опытная станция	1938	20,5	25,9

Для характеристики действия навоза в засушливых районах юго-востока приведем результаты опытов Камышинской и Сталинградской опытных станций.

Место проведения опыта и культура	Годы	Урожай зерна (в центнерах с 1 га)	
		без удобрения	по навозу[3]
Камышинская опытная станция			
Озимая рожь	1928	14,3	18,1
	1929	9,1	14,6
	1930	19,0	21,0
Яровая пшеница	1928	11,2	14,3
	1929	9,7	12,2
	1930	7,6	9,3
Сталинградская опытная станция			
Яровая пшеница	1933	5,7	6,5
	1934	11,4	16,3
	1935	9,0	14,2

Эти данные, как и ряд других наблюдений над действием навоза в колхозах Чкаловской, Сталинградской и других областей, говорят за то, что в борьбе

[1] Граница области, в которой применение навоза считалось ненужным (или даже вредным), постепенно передвигалась во времени от черноземной полосы к юго-востоку. Так, во времена Ивана Грозного безнавозное хозяйство господствовало в Рязанской области, как о том свидетельствует очевидец, описывающий эту богатую область—«Ворота земли Русской и Москвы»: «Земля тучна; при высеве небольшого количества зерна у крестьянина ело-ело хватает сил, чтобы собрать урожай. Весь навоз сносится к рекам, и когда сходит снег и прибывает вода, то навоз уносится водой». 100 лет назад навозное удобрение в Харьковской губернии считалось вредным, теперь же внесение навоза здесь имеет не меньшее значение, чем ранняя вспашка пара, а области безнавозного хозяйства все более и более сокращаются даже и на юго-востоке.

[2] По материалам Украинского научно-исследовательского института зернового хозяйства (Е. Степанов, «Химизация социалистического земледелия», № 7, 1939 г.).

[3] Дозы навоза в этих опытах: по Камышинской станции—35 т на 1 га и на Сталинградской—54 т на 1 га. В условиях засушливой полосы (без орошения) эти дозы надо считать повышенными.

на повышение урожаев необходимо повсеместное и возможно более полное использование навоза в целях удобрения, включая и такие районы, где раньше применение навоза считалось ненужным.

Заметим, что по данным обследования, относящимся к 1926—1927 гг., мы имели такую картину накопления и использования навоза по почвенным зонам европейской части СССР[1]:

	Зоны			
	подзолистая	лесостепная	степная	юго-восточная
Собирается навоза на голову (в тоннах)	6,3	5,0	3,4	2,1
Общая масса собираемого навоза (в тысячах тонн)	135 072	81 396	62 545	1 630
Процент использования навоза на удобрение	99	87	25	4
Посевная площадь (в тысячах гектаров)	17 412	26 225	32 275	837
Собирается навоза на гектар посевной площади (в тоннах)	7,8	3,1	1,9	1,9
Применяется на гектар (в тоннах)[2]	7,7	2,7	0,5	0,07

Цифры показывают быструю убыль в количестве навоза на 1 га посевной площади при переходе от подзолов лесного севера к деградированным черноземам лесостепи; очевидно, здесь сказывается как недостаток лугов, так и слабое развитие травосеяния, создающее недостаток навоза, тогда как потребность в навозе в зоне давно распаханной лесостепи ясно выражена.

В южной же (степной) и юго-восточной зонах имело место лишь самое незначительное использование навоза на удобрение.

При этом весь навоз или во всяком случае большая его часть в этих зонах применялась на приусадебных участках, тогда как в подзолистой зоне и в лесостепи главная масса навоза применялась и применяется под полевые культуры (преимущественно под озимые)[3].

Таким образом, если в зоне подзолистых почв и лесостепи увеличение применения навоза находится в зависимости от увеличения навозонакопления (за счет роста поголовья скота, лучшего хранения навоза и т. д.), то в районах юга и юго-востока имеется большая возможность увеличения размеров применения навоза и за счет резкого повышения процента использования его на удобрение в полевом севообороте.

[1] Статья Кирьянова в журнале «Удобрение и урожай», № 2, 1929 г.

[2] В эту среднюю цифру вошли сады, огороды и коновязники, поэтому по ней нельзя еще судить об обеспеченности навозом полевых посевов.

[3] Вот данные, характеризующие распределение навоза между озимым, яровым и приусадебным клином по данным того же обследования (1926—1927 гг.).

Зоны	Озимый клин		Яровой клин		Приусадебный клин	
	Процент от всего навоза	Обеспеченность 1 га в тоннах	Процент от всего навоза	Обеспеченность 1 га в тоннах	Процент от всего навоза	Обеспеченность 1 га в тоннах
Подзолистая	66,6	13	21,6	3	11,8	26
Лесостепная	44,3	3	20,3	1	35,9	10
Степная	18,9	0,3	17,0	0,15	64,1	5
Юго-восток	—	0	0	0	100,0	9

В пределах подзолистой зоны встречаются местные исключения: так, если в общем большая часть навоза применяется в пару, то на севере сильно удобряют яровые, и, например, в области Коми только 4% от применяемого навоза идет под озимь, главным же образом удобряют навозом ячмень, имеющий там большое пищевое значение («северная пшеница») и занимающий до 68% посевной площади; то же относится и другим районам крайнего распространения земледелия на севере, но немного южнее (например, в Шенкурском районе) уже значительное количество навоза берет и озимый клин.

Кроме влияния общих почвенно-климатических условий, относительный и абсолютный размер прибавок от удобрения навозом сильно зависит от фона, на котором ставится опыт, прежде всего от того срока, который прошел между постановкой опыта и последним внесением навоза на данном поле до опыта.

В качестве примера такого влияния фона могут быть приведены данные опытов в Ротамстеде (непрерывная культура ячменя).

	1852—1861 гг.	1862—1871 гг.	1872—1881 гг.	1882—1891 гг.	1892—1901 гг.	1902—1911 гг.
Уровень урожая без навоза (в центнерах с 1 га)	12,1	9,4	7,4	6,8	4,4	5,0
На навозу	24,2	27,7	27,0	25,6	22,8	23,8
Прибавка урожая от навоза (в центнерах на 1 га)	12,1	18,3	19,6	18,8	18,4	18,8
То же, в процентах	100	195	—	—	—	376

Как видно из данных этого опыта, абсолютная величина прибавки от навоза резко возросла от первого десятилетия ко второму (с 12,1 до 18,3 ц на 1 га) и далее почти стабилизировалась. Относительная же прибавка (в процентах) непрерывно увеличивалась; так, если в первом десятилетии навоз удвоил урожай, то во втором урожай был утроен, а в последнее десятилетие по навозу был получен почти в пять раз больший урожай, чем без удобрения.

Правда, в этом опыте навоз вносился каждый год в значительной дозе, и мы имеем дело с суммированием последействия с действием данного года, но это в данном случае не имело особого значения, как видно из другого опыта, где был 20-летний перерыв во внесении навоза.

Естественно, что при постановке опытов относительно размера действия навоза на землях, плохо удобрявшихся, действие навоза в первой ротации может быть иным, чем в последующих ротациях, хотя и нельзя сказать, что чем ниже урожай контроля, тем абсолютная прибавка от навоза выше, если в процентном отношении это и имеет место. Это различие в изменении абсолютных и процентных прибавок при разном урожае контрольных делянок в разных случаях видно из следующего сопоставления, сделанного Геркеном для двух групп опытных станций Московской области, расположенных на разных почвах (озимая рожь, в центнерах на 1 га):

Почвы, переходные к серым лесным землям			Суглинки подзолистой зоны		
Урожай без навоза	Прибавка абсолютная	То же, в процентах	Урожай без навоза	Прибавка абсолютная	То же, в процентах
8,0	5,6	72	11,3	8,6	76
14,5	8,5	58	18,3	6,5	35
15,5	3,6	24	21,5	3,3	16

В среднем по области наблюдается (по Геркену) наибольший абсолютный прирост от навоза при урожаях на контрольных делянках в 10—15 ц (а в процентах он правильно растет при понижении уровня контроля и падает при его повышении).

Приведенные соотношения были получены в опытах с полной дозой навоза—36 т на 1 га; но часто навоза вносится за его недостатком меньше; поэтому интересно установить действие меньших доз. Чаще всего оказывается, что половинная доза (18 т) оказывает не вдвое меньшее действие, но равное по край-

ней мере двум третям от действия 36 т; так, для Московской области наблюдались такие приросты (среднее из данных 3 опытных полей):

Дано навоза (на гектар)	18 т	36 т
Прирост урожая ржи	4,6 ц	6,1 ц

Поэтому при некоторых (средних) условиях в случае недостатка удобрения выгоднее удобрить под рожь большую площадь половинным количеством, чем меньшую площадь полной нормой (однако при культуре корнеплодов может иметь место обратное: сосредоточить удобрение и культуру в известных пределах на меньшей площади с тем, чтобы получать достаточно высокие урожаи, может быть выгоднее, чем слишком разбрасываться вширь).

Но на севере и при культуре хлебов в случае бедных почв (вероятно, в связи с сильным вымыванием питательных веществ) применяют чрезвычайно высокие дозы навоза при ограниченных размерах посевной площади, причем нередко вносят навоз и под озимь и под яровое (ячмень).

Резким контрастом к высоким дозам, принятым на суровом севере, является германский рецепт—вообще не вносить больше чем 18 т навоза (Шнейдевинд), но нужно знать, к каким условиям относится эта норма: если в четырехпольном севообороте под каждую культуру применяются обильно минеральные удобрения и, кроме того, дважды вносится навоз, то понятно, что на хороших почвах больше 18 т можно не давать даже и под корнеплоды; так, Шнейдевинд получил такие результаты для сахарной свеклы:

	Без навоза	Навоз	
		18 т	27 т
Урожай корней (в центнерах с 1 га)	347	438	494
Процент сахара	18,1	18,4	18,0
Урожай сахара (в центнерах с 1 га)	60	80	82,9

В этих условиях, конечно, выгоднее удобрить большую площадь 18 т, чем повышать норму навоза, сокращая удобренную площадь.

В некоторых случаях может иметь значение внесение и еще меньших доз навоза, но тогда выступает на первый план уже не столько прямое, сколько косвенное действие навоза как в качестве носителя микрофлоры (например, при совместном внесении с торфом и зеленым удобрением), или органического вещества для размножения бактерий (особенно это имеет значение при одновременном внесении калия и фосфора в минеральных удобрениях).

Так, замечено, что на свежеподнятых глинистых землях, не видавших навоза, клевер плохо растет—в них, видимо, нехватает органического вещества для размножения клубеньковых бактерий; так же при посевах люпина сравнительно небольшие количества навоза (например, 10 т на гектар) сильно стимулируют развитие клубеньков на корнях люпина, поэтому совместное действие такой дозы навоза и люпинового удобрения оказывается более высоким, чем сумма действия навоза и люпина, применяемых порознь.

Кроме природных свойств почвы и степени ее «взаправленности» удобрением в предыдущие годы, культурное растение также является фактором, от которого зависит применение навоза в той или иной норме, так как отзывчивость отдельных культур к повышению количества навоза весьма различна.

Для ржи наблюдается обычно, что наибольший эффект производят первые 18—20 т навоза, и повышение доз навоза выше 25—27 т уже дает сравнительно небольшое увеличение прибавки, как это видно, например, из следующих данных (урожай зерна в центнерах с 1 га):

Опытные учреждения	Внесено навоза				
	0	9 т	18 т	27 т	36 т
Ясновольское опытное поле (Московская область)[1] . .	9,0	—	14,0	15,0	16,5
Симбилейская опытная станция (Горьковская область) .	16,3	18,1	21,2	22,5	23,7
Харьковская опытная станция[2]	17,3	20,6	21,5	23,3	23,4

[1] Гернет. Эффект навоза в ЦЧО. «Труды Московской областной с.-х. станции», 1927 г.
[2] Рождественский и Заславский. Главные выводы Харьковской опытной станции за 1913—1923 гг. (1924 г.).

Однако при оценке действия разных доз навоза надо учитывать не только прямое действие навоза на первой культуре, но и эффект последействия на следующих культурах севооборота: тогда более сильное действие высоких доз навоза выступает гораздо более отчетливо. Так, в опытах Харьковской опытной станции при внесении разных доз навоза в пару под рожь в четырехпольном зерновом севообороте (пар, озимая рожь, яровая пшеница, ячмень) наблюдалось значительное увеличение прибавок урожая яровых культур (пшеницы и ячменя) при возрастании доз навоза до 54 т на 1 га (см. таблицу, приведенную на стр. 488).

Кроме того, при систематическом внесении навоза действие его не исчерпывается одной ротацией севооборота, и особенно при более высоких дозах наблюдается возрастание прибавок урожая в последующих ротациях. Это может быть объяснено как тем, что в течение одной ротации не происходит еще полного использования питательных веществ, внесенных с навозом, так и положительным влиянием навоза на физико-химические свойства почвы при его систематическом применении в севообороте.

В опытах Новозыбковской опытной станции на песчаной почве при чередовании двух культур—картофеля и ржи—прибавки урожая ржи при внесении навоза в разных дозах под предшествующий ржи картофель изменялись, например, так:

Доза навоза (в тоннах на 1 га)	Прибавки урожая ржи (в центнерах на 1 га)		
	I ротация	II ротация	III ротация
18	4,4	7,4	7,7
36	5,9	9,2	11,6

Таким образом, разница в пользу более высокой дозы навоза в последующих ротациях становится более заметной, чем в первой ротации севооборота.

При внесении навоза под картофель повышение дозы от 18 до 36 т на 1 га на подзолистых почвах, как правило, оказывается весьма эффективным; несколько менее это проявляется на черноземах.

Приведем здесь данные из опытов, проведенных Институтом картофельного хозяйства в разных пунктах[1].

Почвы	Число опытов	Урожай картофеля (в центнерах с 1 га)		
		без удобрения	18 т навоза	36 т навоза
Супесчаные, слабоподзолистые	21	106	145	165
Суглинистые	17	81	103	123
Деградированный чернозем центрально-черноземной полосы	11	96	124	144
Деградированный чернозем зоны недостаточного увлажнения	3	83	108	113
Мощный чернозем центрально-черноземной полосы	6	120	163	175

На подзолистых почвах (особенно на песчаных и супесчаных) и дальнейшее увеличение дозы навоза (сверх 36 т на 1 га) может давать хороший эффект, как это видно из следующих данных Новозыбковской опытной станции (навоз вносился под картофель при чередовании посевов картофеля и ржи):

Ротации	Урожай картофеля (в центнерах с 1 га) при внесении навоза в дозе (на гектар)		
	18 т	36 т	54 т
I	82	111	136
II	86	119	128
III	112	179	219

[1] А. Тамман и В. Ильин. Применение удобрений под картофель. М., 1938 г.

Понятно, что в том случае, когда навоз вносится не непосредственно под картофель, а под предшествующую картофелю озимь, преимущество более высоких доз (как и вообще в последействии) и на черноземах выявляется резче.

Так, на Харьковской станции при внесении навоза в пару под рожь в севообороте: пар, рожь, картофель, овес, прибавки урожаев изменились так:

Доза навоза (в тоннах на 1 га)	20	40
Прибавка урожая зерна ржи (в центнерах на 1 га)	7,1	8,9
То же, клубней картофеля (сухое вещество) (в центнерах на 1 га)	2,6	6,8
Прибавка зерна овса (в центнерах на 1 га)	1,7	2,6

Аналогичные данные были получены на той же станции в севообороте с сахарной свеклой (пар, рожь, сахарная свекла, овес) при внесении навоза в пару под рожь:

Дозы навоза (в тоннах на 1 га)	20	40
Прибавка урожая зерна ржи (в центнерах на 1 га)	6,5	8,8
Прибавка корней сахарной свеклы (сухое вещество) (в центнерах на 1 га)	12	18
Прибавка зерна овса (в центнерах на 1 га)	1,2	2,9

Сахарная свекла вообще весьма отзывчива на удобрение навозом не только при непосредственном внесении его под свеклу, но и при удобрении навозом предшествующей озими.

Приведем здесь данные нескольких опытов, в которых учитывалось как прямое действие навоза, внесенного под сахарную свеклу, так и последействие той же дозы, внесенной под предшествующую свекле озимь:

Опытные станции	Прибавка урожая корней сахарной свеклы от 40 т на 1 га навоза, внесенного	
	под свеклу	под озимь
Сумская опытная станция (мощный черноземом)	149	131
Харьковская опытная станция (мощный черноземом)	91	75
Чарторийская опытная станция (легкосуглинистый, выщелоченный чернозем)	50	42

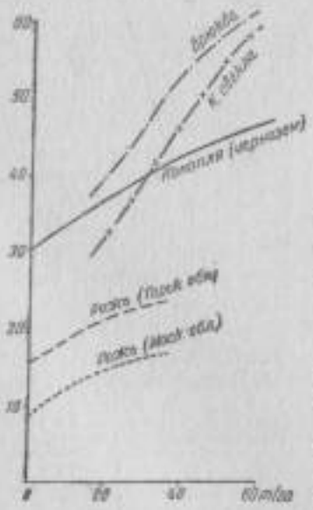


Рис. 57. Действие возрастающих доз навоза на различные культуры. Для корнеплодов нанесен вес сухого вещества корней (в центнерах на 1 га).

На внесение повышенных доз навоза особенно сильно реагируют такие культуры, как конопля и кормовые корнеплоды, как это видно из следующих примеров (см. также рисунок 57)[1]:

Культуры	Навоз в тоннах				
	0	18	36	54	60
	Урожай (в центнерах с 1 га)				
Конопля (солома)	30	(38)	41,7	—	46,6
Кормовая свекла (корни)	—	218	305	400	—
Брюква (корни)	—	312	408	477	—
Турнепс (корни)	—	357	427	459	—

При этом для конопли отмечено особенно большое значение предшествующей заправки почвы навозом.

Наконец, при культуре овощных растений еще большие дозы навоза могут оплачиваться продолжающимся приростом урожая; вот примеры из опытов Всесоюзного института овощного хозяйства (урожаи в центнерах с 1 га):

[1] Данные для конопли и корнеплодов взяты из справочников по соответственным культурам, изданных ВНУАА и НИУ.

Культуры и почвенные условия \ Дозы навоза (в тоннах на гектар)	0	20	36	60	72	99
Капуста (среднее из 8 опытов в подзолистой зоне)	263	336	—	352	—	—
Капуста (Туркестанская станция, сероземы)	105	—	155	—	217	—
Огурцы (среднее из 10 опытов в подзолистой зоне)	78	150	—	170	—	218

Влияние времени внесения навоза. Сравнение осеннего и весеннего внесения навоза дает различные результаты, смотря по климатическим условиям и другим обстоятельствам (например, идет ли речь об удобрении озимых или яровых культур).

Во влажном климате, с мягкой зимой, осеннее внесение навоза в черном пару может быть связано с большими потерями от вымывания, особенно на песчаных почвах; так, в Дании на опытной станции в Аскове получены были такие результаты (в процентах):

Почвенные условия	Урожаи зерна	
	при весеннем внесении	при осеннем внесении
На песчаной почве	100	86
» суглинке	100	93

Так как в других опытах наблюдалось, что урожай в 86% получается от дозы навоза в 65% от нормы (если иметь в виду весеннее внесение), а урожай в 93% получается при внесении (весной) дозы в 70% от нормы, то отсюда делается вывод, что в условиях Дании 10 т навоза, внесенных осенью, равноценны 6,5 т, внесенным весной, если мы имеем дело с песчаной почвой (соответственно для суглинка 10 т осеннего внесения отвечают 7,8 т, внесенным весной).

Совершенно другие соотношения могут иметь место в континентальном климате при внесении навоза под яровые культуры. Так, например, на Анучинской опытной станции при внесении навоза под коноплю были получены такие результаты:

Внесено навоза	50 т		70 т	
	Осенью	Весной	Осенью	Весной
Урожай соломы (в центнерах с 1 га)	28,4	24,6	32,6	25,6

Аналогичные результаты в пользу осеннего внесения навоза (под зяблевую пахоту) имеют место и при удобрении сахарной свеклы. Это связано еще и с тем, что весной под свеклу производится лишь культивация (а не вспашка плугом), поэтому осеннее внесение означает и более глубокую заделку удобрения.

Таким образом, влияние времени внесения навоза для нашей черноземной полосы оказывается прямо противоположным тому, что наблюдается в климате Дании. Условия, подобные датским, могут встречаться в песчаных районах севера (например, в Шенкурске), где хотя зимой вымывания не происходит (почва замерзает), но зато остальное время испарение ниже, чем в Дании (тепла меньше), а влагоемкость почвы так мала, что не только при внесении навоза в черном пару с осени, но и вообще в чистых парах могут иметь место потери нитратов через вымывание.

О продолжительности последействия навоза. Данные относительно распределения действия навоза между последовательными культурами севооборота весьма разнообразны в связи с условиями климата, почвы и культуры. Как упоминалось выше, на севере (например, на песчаных почвах под Шенкурском) под яровое приходится снова вносить навоз, настолько мало последействие навоза, внесенного под озимь; южнее это действие более длительно.

По опытам в Бреславле (широта Курска, но почва нечерноземная) в четырехпольном севообороте из общего действия навоза на первую культуру приходится 60%, а на остальные три—по 13%*.

На черноземе наблюдается более растянутое действие навоза; так, на Плотянской станции урожаи для трех последовательных культур изменялись следующим образом (в центнерах с 1 га):

	Озимая пшеница	Кукуруза	Яровая пшеница
Без навоза	22,3	21,6	12,1
36 т навоза	28,1	25,3	16,3
Разность	5,8	3,7	4,2

На Полтавской опытной станции даже наблюдались случаи, когда действие на второй год на зерновые культуры было бо́льшим, чем в первый год; это объясняется тем, что на богатых почвах озимь, которой предшествует пар, меньше нуждается в удобрении, чем яровое, высеваемое непосредственно за озимью. Затем размер последействия, конечно, сильно зависит от дозы навоза, как это видно, например, из следующих данных Харьковской опытной станции (10-летние средние):

Показатели	Количество навоза (в тоннах на 1 га), вносимого под рожь				
	0	9	18	36	54
Урожай ржи (в центнерах с 1 га)	17,3	20,6	21,5	23,2	23,4
Сумма урожаев двух яровых: пшеницы и ячменя (в центнерах с 1 га)	17,8	19,5	22,0	25,1	29,0
Прирост урожая яровых (в центнерах с 1 га)	—	1,7	4,2	8,3	10,2

Наиболее длительные наблюдения над последействием навоза производились в Англии на Ротамстедской станции, правда, в несколько необычных условиях, так как навоз вносился ежегодно с 1852 г. в количестве 35 т на 1 га, но на данном поле после 1871 г. внесение удобрений было прекращено. Средний урожай ячменя за период с 1852 по 1871 г. на удобрявшемся навозом поле был равен 31 ц с гектара.

В последующие годы мы имеем такой ход падения урожаев на этом поле и на поле, где навозное удобрение и ранее не вносилось (средние урожаи ячменя в центнерах с гектара):

	Без навоза					
	1872—1874 гг.	1875—1877 гг.	1878—1883 гг.	1884—1889 гг.	1890—1896 гг.	1897—1900 гг.
Урожай с поля, которое удобрялось до 1871 г.	26,9	20,2	18,3	13,5	15,5	11,2
Урожай с поля, не получавшего удобрения до 1871 г.	8,5	8,6	8,9	6,6	7,1	5,7

Таким образом, сильная заправка, данная почве ежегодным внесением навоза в течение 20 лет (1852—1871), оказала очень длительное действие: даже через 30 лет оно еще не свелось к нулю.

Последействие навоза является более длительным, чем последействие минеральных удобрений, что видно из данных той же Ротамстедской станции (хотя

* Но если взять не урожайные данные, а принять за 100 все количество азота, взятое из навоза за 4 года, то на первый год приходилось 40%, на следующие—29, 18 и 13% от этого количества.

и для другого растения и на другом поле); именно пшеница получала ежегодно минеральное удобрение в течение 13 лет (с 1852 по 1864 г. включительно) при дозе сернокислого аммония, отвечающей 215 кг N на гектар; по прекращении удобрения падение урожаев выражалось такими цифрами (в центнерах с 1 га):

Условия опыта	1864 г.	1865 г.	1866 г.	1868—1870 гг.	1871—1873 гг.	1874—1876 гг.	1877—1879 гг.	1880—1882 гг.	1883—1895 гг.	1896 г.
Минеральные удобрения до 1864 г. .	27,0	21,3	14,6	12,2	8,8	7,1	7,4	8,4	10,5	8,8
Навоз ежегодно . .	23,0	24,9	21,8	26,1	22,5	20,5	15,3	22,7	23,5	22,7
Не удобривать с 1844 г. .	10,7	9,0	8,1	10,2	7,1	6,3	5,8	8,1	9,3	9,0

Здесь мы видим, что урожаи по минеральному удобрению, до 1864 г. превосходившие по уровню урожаи унавоженных делянок, после прекращения внесения удобрения быстро снижаются, уже через 10 лет они мало отличаются от делянок, не удобрявшихся с самого начала опытов в Ротамстеде; конечно, в английском климате сильное вымывание нитратов является фактором, ускоряющим ход падения урожаев, и хотя это не касается в такой большой мере фосфора и калия, но очевидно, азотный минимум проявился гораздо раньше в случае минеральных удобрений, чем в случае навоза.

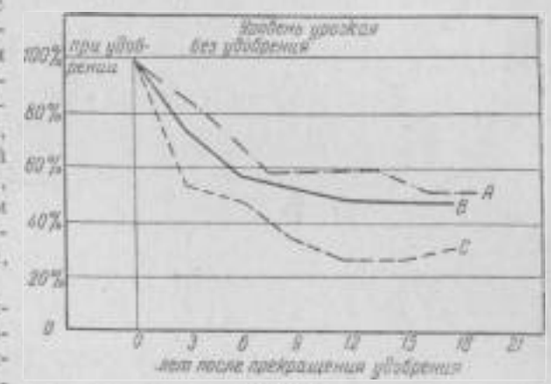


Рис. 58.

A—падение урожаев после прекращения внесения навоза (Ротамстед); Б—то же, по данным опытам; С—падение урожаев после прекращения внесения минеральных удобрений (Ротамстед).

Кроме Англии, систематические опыты по изучению последействия навоза велись также и в Дании на опытной станции в Аскове; они, конечно, прямо не сравнимы с английскими, так как почва в Аскове представляет более легкий суглинок и является более или менее оподзоленной (в то время как в Ротамстеде богатый, довольно тяжелый суглинок содержит немалое количество углекислого кальция); но данные опытов в Аскове в том отношении стоят ближе к с.-х. действительности, что они велись в севообороте и навоз (40 т) вносился один раз в четыре года, а не ежегодно, как в Ротамстеде.

Почвы	Уровень урожаев при навозе	Без навоза				Уровень урожаев в последующие годы
		1-е трехлетие	2-е трехлетие	3-е трехлетие	4-е трехлетие	
На суглинке	32,5	23,0	18,2	16,6	16,1	15,3*
» песчаной почве	31,5	19,7	15,7	14,1	12,9	10,7

* Урожаи в центнерах с 1 га в переводе на зерновые единицы в севообороте: 1) озимь, 2) пропашные (свекла, картофель), 3) овес с подсевом клевера, 4) клевер.

Автор датского отчета Иверсен отмечает, что, кроме остатков удобрения в почве, сама корневая система каждого предыдущего урожая составляет заметную часть того, что называется «старой силой почвы», так как при разложении корневой массы освобождаются питательные вещества, используемые следующим урожаем.

Таким образом, систематическое применение навоза (и других удобрений), повышая урожаи с.-х. культур и увеличивая вследствие этого массу пожнивных остатков, также и этим путем способствует улучшению свойств почвы, делая ее более культурной и плодородной.

С введением правильных севооборотов эта роль навоза повышается еще более, так как под влиянием удобрения улучшается развитие клевера, люцерны и других трав и усиливается их положительное влияние на физические свойства почвы и на накопление азота клубеньковыми бактериями бобовых.

С другой стороны, в результате введения правильных севооборотов и расширения посевов кормовых растений повышается обеспеченность животноводства кормами, а следовательно, создаются условия и для дальнейшего роста размеров накопления и применения навоза.

НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Навозная жижа получается непосредственно при скотных дворах за счет той части жидких выделений животных, которая остается не впитанной подстилкой, а кроме того, образуется при разложении навоза и скапливается в жижеприемниках при навозохранилищах.

Количество жижи как в одном, так и в другом случае бывает весьма неодинаковым. Оно зависит от устройства скотного двора и принятой системы очистки его, от вида подстилки и ее количества и от способа хранения навоза. При большем количестве подстилки (особенно подстилки торфяной) и плотном способе хранения навоза жижи стекает меньше, чем в том случае, когда подстилки применяется мало, а навоз хранится без тщательного уплотнения. Затем чем больше времени находится навоз в навозохранилище и чем больше он подвергается разложению, тем меньше он способен удерживать влагу (так как при разложении уменьшается общее количество органического вещества) и, следовательно, больше образуется жижи. Наконец, количество навозной жижи, стекающей в жижеприемник при навозохранилищах, зависит от того, защищено ли оно от попадания осадков, и в открытых навозохранилищах (во влажном климате), понятно, оно будет больше, чем в крытых навозохранилищах.

Приблизительные размеры годового накопления навозной жижи (при обычных способах хранения навоза) за стойловый период от одной молочной коровы таковы:

Продолжительность стойлового периода	Количество жижи (в кубических метрах)
240 дней	2,2
220 »	2,0
200 »	1,8
180 »	1,5

Примерно такое же количество жижи, как от одной молочной коровы, получается от 3 рабочих лошадей, или от 3 голов молодняка до двух лет, или от 10—12 телят.

Состав навозной жижи бывает весьма неодинаковым; он зависит и от происхождения жижи (например, моча животных, как правило, содержит больше азота, чем жижа, образующаяся при разложении навоза в навозохранилище) и от условий ее хранения, оказывающих особенно большое влияние на размеры потерь азота.

В отличие от навоза, являющегося полным удобрением, *навозная жижа представляет главным образом удобрение азотисто-калийное*. Фосфора в жиже содер-

жится очень мало. Что же касается азота и калия, то примерное содержание этих элементов в жидких выделениях разных животных составляет (в граммах на 1 *л*):

	N	K_2O
Крупный рогатый скот	10	16
Овцы	15	19
Лошади	14	17
Свиньи	6	8

В жиже, взятой из жижеприемников, содержание этих элементов бывает меньшим: особенно это относится к азоту, который подвергается потерям. В среднем обычно принимают содержание в жиже N—0,2—0,25%, K_2O—0,4—0,5%; но отклонения бывают большие, например:

N	0,01—1,0%
K_2O	0,2—1,2%

Второй особенностью жижи как удобрения является то обстоятельство, что содержащиеся в ней питательные вещества находятся в растворимой форме. Поэтому навозная жижа является быстро действующим удобрением. Если действие азота навоза в первый год после его внесения значительно уступает действию азота минеральных удобрений, то азот навозной жижи может быть использован растениями не менее полно, чем азот минеральных удобрений.

Как уже было сказано ранее, содержащиеся в жидких выделениях животных азотистые вещества (мочевина и др.) быстро подвергаются процессу аммонификации, который приводит в конечном счете к образованию углекислого аммония:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3.$$

Углекислый аммоний в результате диссоциации на аммиак и углекислоту легко теряет аммиак:

$$(NH_4)_2CO_3 = 2NH_3 + CO_2 + H_2O.$$

Эти потери могут быть очень значительными и сильно обесценивать качество жижи как удобрения. Поэтому сохранение азота от потерь представляет одну из главных задач рациональных способов сбора, хранения и внесения жижи. Условия, необходимые для более полного сохранения жижи и содержащихся в ней питательных веществ, обычно формулируют следующим образом:

1. Пол в скотном дворе, канавки для стока жижи, отстойника и жижесборника должны быть сделаны так, чтобы не было потерь жижи путем просачивания ее в грунт.

2. Канавки (лотки) для стока жижи должны иметь достаточный уклон для того, чтобы жижа не застаивалась и быстро стекала в жижесборники.

3. В жижесборнике жижа должна храниться по возможности без доступа внешнего воздуха, в спокойном состоянии, без взбалтывания.

4. Канавки для стока жижи, отстойники и жижесборники должны содержаться в чистоте; при загрязнении жижи растительными остатками наблюдаются повышенные потери азота. Для лучшего отделения жижи от примесей посторонних веществ ее направляют в отстойник (который устраивается в самом скотном дворе, чтобы жижа не промерзала), откуда она поступает в жижесборники.

5. Жижесборники должны иметь хорошее перекрытие, защищающее жижу от замерзания, и люк с плотно пригнанной крышкой (лучше двойной). Изоляция жижесборника от внешнего воздуха способствует сохранению азота, так как над поверхностью жижи создается повышенная концентрация углекислоты[1].

Для уменьшения потерь азота предлагалось в жижесборник на поверхность жижи помещать слой отработанного тракторного масла (слой масла должен

[1] Это обстоятельство надо иметь в виду, когда рабочему приходится опускаться в жижесборник (надевать противогаз или предварительно проветривать жижесборник для удаления CO_2).

быть не меньше 3 мм или 3 л на 1 м² поверхности) и плавающие деревянные крышки.

6. При выборке жижи из жижесборника лучше пользоваться специально приспособленным для этой цели насосом; помимо вообще большего удобства в работе, этим достигается и лучшее сохранение азота, так как вся масса жижи не подвергается взбалтыванию.

Каких размеров могут достигать потери азота при хранении жижи, показывают, например, такие наблюдения[1]:

Варианты опыта	Потери азота (в процентах) через		
	1 месяц	2 месяца	3 месяца
Свежая неконсервированная моча	69,5	89,1	97,1
Покрытая слоем масла	16,4	28,2	44,8

Кроме потерь при хранении, азот жижи может быть потерян и при вывозке в поле. Здесь необходима быстрая ее заделка. Жижу нельзя вносить на поле, сохранившем жнивье,— это дает большую поверхность испарения, и особенно при ветре в теплую погоду потери аммиака могут быть громадными. Не меньшие потери имеют место и в том случае, если жижу вносят на поля в зимнее время. Надо, чтобы жижа непосредственно впитывалась землей при выходе из распределителя; точно так же не следует применять жижу слишком малыми порциями в несколько приемов—при внесении сразу больших количеств потери аммиака бывают меньше. Некоторое сокращение потерь азота при внесении жижи достигается, если производить разбавление ее водой (в 2—3 раза), чем одновременно избегается повреждение растений (возможное при высокой концентрации), если жижа применяется для поверхностной подкормки культур сплошного посева (например, для весенней подкормки озимых).

Количество навозной жижи, вносимой как основное удобрение (до посева), составляет обычно около 10—20 т на гектар; при внесении хорошо хранившейся жижи дозы могут быть уменьшены. В подкормках вносятся также меньшие дозы.

В опытах с весенней подкормкой озимых культур навозной жижей (перед боронованием) часто получаются хорошие результаты. Так, например, в опытах, проведенных в колхозах Винницкой области в 1936 г., были получены такие прибавки от весенней подкормки навозной жижей озимой пшеницы:

	Опыты			
	I	II	III	IV
Количество внесенной жижи (в тоннах на 1 га)	4,7	5,0	5,0	5,0
Урожай зерна без подкормки (в центнерах с 1 га)	12,6	12,0	26,0	17,3
Урожай зерна при подкормке жижей (в центнерах с 1 га)	14,2	14,5	33,6	27,7
Прибавка (в центнерах на 1 га)	1,6	2,5	7,6	10,4

Навозная жижа в качестве подкормки была широко использована стахановцами при получении высоких урожаев сахарной свеклы, овощных и других культур. Лучшим способом внесения жижи в подкормку при удобрении пропашных культур является применение растениепитателя для жидкой подкормки, так как при этом она сразу заделывается в почву без потерь. Подкормку навозной жижей с успехом применяют и для удобрения лугов (около 5 т при хорошем сохранении жижи или 15—20 т более слабой концентрации).

В целях лучшего сохранения азота жижи испытывались различные способы ее консервирования, в частности, добавление с этой целью суперфосфата. Таким

[1] А. Г. Иванов. Вопросы накопления и хранения местных удобрений. «Научные записки ВНИИСЛ», 1939 г.

путем потери азота могут быть действительно снижены, особенно если суперфосфат вносится в свежую мочу, еще не подвергшуюся разложению. В процессе разложения (и накоплении углекислого аммония) жижа приобретает щелочную реакцию и при добавлении суперфосфата происходит снижение растворимости фосфорной кислоты (образуется осадок). Вообще вопрос о консервировании жижи нельзя считать достаточно хорошо разработанным, и в настоящее время надо признать весьма целесообразным еще один путь использования жижи, а именно употребление ее в качестве одного из компонентов тех или других компостов. В тех случаях, когда хозяйство располагает торфом, хорошим способом применения жижи будет приготовление компостов на навозной жижи и торфа. Торф, особенно мало разложившийся моховой, в подсушенном состоянии хорошо впитывает жижу и сохраняет от потерь азот. На 1 весовую часть воздушно-сухого мохового торфа можно брать 4—5 весовых частей жижи (для лугового, сильно разложившегося торфа—2—3 весовые части жижи). Такие компосты из торфа и жижи действуют часто не хуже (или даже лучше) навоза, удобны для применения и позволяют неплохо сохранить азот жижи. Если налажено приготовление компостов, то объемы жижесборников могут быть небольшими, так как по мере накопления жижи чем скорее ее смешать с торфом, тем лучше.

При оценке действия жижи (и жиже-торфяных компостов) следует иметь в виду, что жижа почти не содержит фосфора и представляет, как уже было сказано, удобрение преимущественно азотисто-калийное. В связи с этим представляет интерес добавление небольшого количества суперфосфата к жиже, идущей для приготовления компостов с торфом; с одной стороны, это может еще лучше сохранить азот, а с другой стороны, превратить жиже-торфяной компост в более полное удобрение. Надо полагать, что при этом не будет снижения усвояемости P_2O_5 суперфосфата, так как известно, что, несмотря на то, что в навозе фосфор находится главным образом в соединениях, нерастворимых в воде, степень использования его растениями не уступает, а, наоборот, часто превосходит использование фосфора минеральных удобрений.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО НАВОЗА ИЗ СОЛОМЫ

Под этим разумеется компостирование соломы с добавкой азотистых (иногда и других) соединений, имеющее целью получить в конце концов без участия животных удобрение, близкое по составу к навозу. При этом под влиянием микроорганизмов солома теряет легко усвояемые углеводы, которые обусловливают понижение урожаев при внесении в почву неперепревшей соломы, а внесение азотистой пищи имеет целью, с одной стороны, усилить работу микроорганизмов, а с другой—повысить содержание азота в разлагающейся массе, чтобы приблизить ее по составу к навозу.

Так как пентозаны являются одной из легко разлагающихся составных частей соломы и она в то же время легко поддаются определению, то некоторые авторы предлагали судить о степени разложения соломы по содержанию пентозанов. Так, в одном из опытов наблюдалось такое изменение в содержании пентозанов против исходной величины (25,8%):

через 4 недели—20,3%; через 12 недель—12,8%.
через 9 недель—13,5%; через 10 месяцев—10,5%.

Принимают, что когда содержание пентозанов опускается до 12%, то солома теряет свои вредные свойства. Другим критерием может отчасти служить общая цифра содержания азота в органическом веществе. Принимают, что если это содержание ниже 2%, то органическое вещество вызывает в почве переход минерального азота в органический под влиянием бактериальных процессов, отчего условия жизни культурного растения могут ухудшаться. Так как ржаная солома содержит в сухом веществе около 0,45% азота, то она оказывает такое действие, если внесена незадолго до посева (кроме очень богатых азотом черноземов); изменить соотношение азота к органическому веществу в соломе можно или длительным перегниванием или добавкой азотистых соединений непосредственно к соломе при внесении ее в почву. Но перепревание без добавки азотистых соединений идет слишком медленно, и одна добавка более значительных количеств азотистых соединений (без перепревания) является слишком большим накладным расходом, поэтому и прибегают к комбинации этих двух мер.

достигая, с одной стороны, сокращения времени перепревания, а с другой стороны—экономии на азоте, которого можно добавить меньше, если часть углеводов будет удалена путем перепревания.

По опытам, произведенным в Германии, прибавку азотистых соединений следует производить по расчету 0,7% азота по отношению к весу сухой соломы. Лучше всего брать мочевину или цианамид, так как при введении селитры наблюдаются потери азота от денитрификации, а соли аммония неблагоприятно влияют на деятельность микроорганизмов своей остаточной кислотностью; обычно с ними советуют вносить известь, но интереснее вводить фосфорит по расчету на серную кислоту сульфата аммония в целях усиления разложения фосфорита (без сульфата аммония фосфорит очень мало изменяется; так, в одном опыте компостирование с соломой вызвало переход в усвояемую форму только 7% от всей P_2O_5 фосфорита).

Наилучшей формой введения дешевого азота и одновременно большого количества микроорганизмов была бы примесь к соломе содержимого выгребных ям или смачивание ее не чистой водой, а навозной жижей или сточными (канализационными) водами. Наибольшую трудность представляет равномерное промачивание всей массы соломы. Для облегчения смачивания в всех последующих операций прибегают к резке соломы на части в 10—15 см, а еще лучше применять солому с нарушенной структурой, рваную или мятую[1].

Кроме того, кучу закладывают не сразу, а послойно; после укладки первого слоя (30 см) он смачивается водой, после ее впитывания опрыскивается раствором мочевины и тогда поливают всю массу еще водой, но так, чтобы вся сумма добавленной воды не превышала влагоемкости соломы, после чего дают соломе некоторое время лежать для постепенного набухания (иногда, по Кранцу, до достижения температуры около 60°Ц), затем накладывают второй слой и т. д., доводя высоту кучи[2] до 2 м.

Не только в процессе закладки кучи, но и впоследствии нужно не допускать утечки жидкости, так как при этом теряется не только азот введенной мочевины или сульфата аммония, но даже если этих добавок и не было, то жидкость, вытекающая из кучи разлагающейся соломы, уносит с собой питательные вещества, входившие в состав самой соломы. Вообще здесь должны находить применение все те меры, какие выше были отмечены по поводу устройства гноищ для хранения навоза.

Что касается действия искусственного навоза, то оно существенно зависит от содержания азота в нем, которое должно быть не ниже 2%, считая на сухое вещество (что отвечает среднему составу навоза). При одном опыте (Flieg) по влиянию искусственного навоза разного состава на нитрификацию через 4 недели обнаружились такие различия в накоплении нитратов в почве (если содержание нитратов в ней без внесения удобрения принять за 100):

Процент N в сухом веществе искусственного навоза	1,48	1,60	1,80	2,07	2,32
Убыль или прибыль нитратов (в процентах)	—52,9	—16,0	+36,9	+111,1	+158,2

Размер действия искусственного навоза, кроме его собственных свойств, зависит и от рода почвы (так как, смотря по богатству почвы азотом, к вносимому органическому веществу предъявляются разные требования в смысле отношения в нем азота к углероду), также и от рода растения (например, культуры поздней уборки, как картофель, допускают более широкое отношение C : N в навозе, чем культуры, ранее созревающие).

[1] Неизрезанная солома или нарезанная слишком крупно (например, на 20 см) обнаруживает потом явления стекания жидкости и образования сухих мест в массе компоста, отчего получаются гнезда неразложившейся, но напесенной соломы.

[2] Обычная ширина кучи—2,5 м внизу и 2 м вверху, длина зависит от количества соломы, подлежащей переработке, и удобства размещения куч по условиям места. Приведенная высота кучи относится к моменту закладки, в процессе разложения масса «садится», и через 12 недель высота уменьшается раза в два.

Тем не менее на почвах нечерноземных и для картофеля может проявляться отрицательное действие избытка углеводов в удобрении. Возьмем пример из опытов Леммермана с картофелем, в которых вносилось 6 т (по расчету на сухое вещество) соломы и искусственного навоза разной степени разложения:

Урожай и прибавки		Без удобрения	При внесении в поле добавочного количества азота (в килограммах на 1 га)		
			20	40	60
Урожай картофеля без органического удобрения (в центнерах с 1 га)		140	177	220	242
Прибавка против неудобренной (в центнерах с 1 га)	солома неразложившаяся	— 58	— 41	— 11	— 4
	искусственный навоз (месяц компостировавшийся)	— 23	+ 22	+ 36	+ 69
	то же, через 6 месяцев компостирования	+6,7	+ 33	+ 64	+ 77

Здесь действие соломы было резко отрицательным, а искусственный навоз только через 6 месяцев разложения обнаружил переход от отрицательного действия к положительному; добавление азота вызывало перемену знака и для одномесячного компоста.

У нас опыты с искусственным навозом были проведены НИУ на двух видах почв—суглинистой и песчаной и с двумя растениями—картофелем и овсом. Приведем данные урожаев картофеля в процентах от неудобренных делянок, чтобы сделать цифры для двух почв более сравнимыми между собою.

Почвы	Без соломы	Солома сухая (10 т)	Солома, компостированная без добавок (10 т)	Солома, компостированная с мочевиной и фосфоритом
Суглинистая	100	97	127	129
Песчаная	100	103	168	225
То же, на фоне азота и фосфора, внесенных в поле				
Суглинистая	127	132	158	—
Песчаная	143	180	274	—

Из опыта с картофелем видно, что: 1) в данном случае простое компостирование соломы уже превратило ее в положительно действующее удобрение; 2) солома, компостированная с прибавкой мочевины и фосфорита, дала на песчаной почве значительно больший эффект, чем мочевина и фосфорит; 3) неперепревшая солома становилась фактором положительного действия на фоне мочевины и фосфорита, особенно на песчаной почве, а без такого фона действие ее было нулевым[1]; 4) *неперепревшая солома с добавкой (в поле) мочевины и фос-*

[1] В других же случаях добавление азотистых удобрений к неперепревшей соломе способно вызвать переход от отрицательного действия к положительному, как видно из следующего примера (взят из той же серии опытов Flieg в Германии, откуда были выше приведены данные о влиянии искусственного навоза на нитрификацию):

Прибыль или убыль нитратов в почве (в процентах от начального количества)

Солома с 0,45% N	То же, с добавкой $(NH_4)_2SO_4$ до содержания азота (в процентах)				
	1,26	1,60	1,84	2,07	2,32
—91,2%	—82,6%	—82,6%	—48,4%	+19,2%	+57,6%

Мы опять наблюдаем поворотный пункт к положительному действию около 2% N, как это было и в случае повышения содержания азота в массе, подвергавшейся разложению.

форита дала больший эффект, чем солома, компостированная с мочевиной и фосфоритом. Зависело ли это от потери части азота мочевины при хранении навоза, его вывозке и заделке или от перехода части азота в медленно разлагающиеся органические соединения, сказать нельзя.

Так как картофель, как было отмечено выше, лучше использует навоз, чем хлеба, и для него соломистый навоз менее вреден, то приведем еще данные для овса (которые, однако, не вполне сравнимы, так как с овсом были проведены вегетационные опыты, а с картофелем—полевые) (относительный урожай в процентах):

Почвы	Без соломы	Соломенная резка	Солома, компостированная без добавки	Солома, компостированная с мочевиной и фосфоритом
Суглинистая	100	50	65	188
Песчаная	100	36	57	210
То же, на фоне азота и фосфора				
Суглинистая	186	125	203	—
Песчаная	211	108	208	—

Здесь замечаются следующие отличия от опыта с картофелем: 1) солома, как свежая, так и перепревшая, действовала отрицательно, притом не только в отсутствие минеральных удобрений, но и на их фоне; 2) для превращения соломы в фактор положительного действия здесь нужно было совмещение двух способов противодействия вредному влиянию углеводов, именно одновременное применение как частичного перепревания, так и добавки минерального азота, а в полевом опыте с картофелем каждый из этих приемов в отдельности давал уже положительный эффект; 3) предварительное компостирование одной соломы с последующей добавкой удобрений и здесь дало наилучший результат для суглинка; для песчаной же почвы результаты были одинаковы с тем, какой получился от компостирования соломы совместно с удобрениями.

Как видно на примере опытов с искусственным навозом, одним из главных факторов, определяющих положительное или, наоборот, отрицательное действие некоторых органических удобрений, является влияние процессов разложения органического вещества на азотный режим в почве. А именно, при внесении в почву органических веществ с малым содержанием азота, часто наблюдается уменьшение количества усвояемых форм азота в почве вследствие перехода его в белковые вещества тел микроорганизмов, разлагающих безазотистые органические соединения.

В тех же случаях, когда содержание азота в составе органического удобрения выше известного предела, его оказывается не только достаточно для питания микроорганизмов, но он еще и освобождается в минеральной форме (NH_3, а затем и NO_3).

Как уже было сказано, для суждения о том, в каком направлении пойдут эти процессы (биологическое поглощение или минерализация азота), обычно судят или по процентному содержанию азота (на сухое вещество органического удобрения), или (что почти то же) по соотношению между углеродом и азотом (C : N) в составе удобрения. Чем ниже процент азота или чем выше отношение C : N в органическом удобрении, тем вероятнее, что при внесении его в почву будет иметь место биологическое поглощение азота (например, при содержании N меньше 2% на сухое вещество или отношении C : N выше 25 : 1, как это часто наблюдается для искусственного навоза из соломы).

Однако надо иметь в виду, что, помимо общего содержания N или отношения C : N в органическом удобрении, определенное влияние на динамику минеральных форм азота должно оказывать и то, какие именно безазотистые органические соединения входит в состав удобрения. Дело в том, что разные органические вещества обладают различной стойкостью по отношению к микробиологическому разложению в почве. Понятно, что если в составе удобрения много таких безазотистых веществ, которые лишь очень медленно подвергаются разложению, то и влияние их на иммобилизацию азота будет слабее, чем в том случае, когда безазотистые вещества подвергаются энергичному разложению. Соответственно этому в опытах лаборатории органических удобрений ВИУАА наблюдалось, что при одном и том же соотношении C : N, но разном составе безазотистой части удобрения, действие его оказывалось весьма неодинаковым. Приведем здесь результаты одного из таких опытов[1], в котором то или другое

[1] С. П. Гусев (диссертация), 1939 г.

соотношение C : N создавалось внесением в вегетационные сосуды кровяной муки в смеси с разным количеством крахмала, клетчатки, соломы или лигнина:

Общий урожай овса в граммах на сосуд

Соотношение C : N в удобрении	Кровяная мука	Кровяная мука + крахмал	Кровяная мука + клетчатка	Кровяная мука + лигнин	Кровяная мука + солома
—	18,77	—	—	—	—
10 : 1	—	12,25	13,70	21,75	17,82
15 : 1	—	11,20	11,30	22,60	15,25
20 : 1	—	4,00	5,25	20,20	11,30
25 : 1	—	1,65	3,33	20,80	5,90
30 : 1	—	0,85	1,00	19,75	2,80

Как видно из данных этого опыта, при внесении кровяной муки вместе с крахмалом или клетчаткой наблюдалось резкое снижение урожая при отношении C : N = 20 : 1 и даже 10 : 1, тогда как в случае с лигнином и при отношении C : N = 30 : 1 никакого снижения урожая (против действия одной кровяной муки) не наблюдалось. Солома занимала по своему действию среднее положение.

Таким образом, биологическое связывание азота гораздо сильнее вызывается такими легко поддающимися разложению безазотистыми веществами, как крахмал и клетчатка. Отсюда становится еще более понятной роль предварительного компостирования, которое прежде всего сопровождается убылью легко поддающихся разложению углеводов.

Кроме состава органического вещества, на интенсивность процессов мобилизации (или связывания) азота оказывают влияние и другие факторы, обусловливающие деятельность микроорганизмов в почве. Так, в опытах той же лаборатории было констатировано, что в условиях кислой реакции связывание азота микроорганизмами в присутствии лигнина повышается, тогда как для клетчатки имело место обратное.

Таким образом, для оценки влияния органического удобрения разного состава на азотный режим в почве не может быть дано какого-то общего критерия (как процент N или отношение C : N), ибо в зависимости от конкретных условий интенсивность процессов превращения азотистых веществ в почве может быть неодинаковой.

Азот, связанный микроорганизмами под влиянием внесения в почву органических безазотистых веществ, конечно, не теряется бесследно. В дальнейшем происходит отмирание микроорганизмов и вторичное освобождение минеральных форм азота. Часто эти процессы наступают достаточно быстро; в отдельных опытах уже через 3 месяца после внесения удобрений с широким отношением C : N наблюдалось начало вторичного освобождения минеральных форм закрепленного ранее азота. В связи с этим находится и лучшее действие удобрений такого состава на культуры, имеющие продолжительный вегетационный период и растянутый во времени ход поступления питательных веществ (как, например, картофель, в особенности поздние его сорта).

Вместе с тем и заблаговременное внесение таких удобрений, которые могут вызывать временную иммобилизацию азота, несомненно может иметь существенное значение для повышения их эффективности, приближая момент наступления вторичной мобилизации азота к тому времени, когда он особенно необходим для питания растений.

Не раз высказывалось предположение, что метод приготовления искусственного навоза будет интересен для крупных зерносовхозов, где получается большое количество соломы, не находящей применения вследствие недостаточного развития животноводства в ряде таких хозяйств, благодаря чему иногда наблюдается сжигание избыточной соломы. Однако как общая мера этот путь вряд ли может быть широко использован, потому что наиболее крупные зерносовхозы расположены в степных районах, где даже тот навоз, который получается от животных, недостаточно используется из-за трудности возки на дальние расстояния. Там, где почвы более истощены и навоза дает значительный эффект, а в то же время животноводство почему-либо недостаточно развито и солома не может быть полностью «переработана в навоз» под ногами животных, вопрос о приготовлении искусственного навоза может иметь существенное значение.

В степных же местностях, где навоз не применяется, солома должна, конечно, не сжигаться, а, например, итти на приготовление бумаги, которая так нужна Союзу[1].

[1] Ржаная солома дает целлюлозу, которая может участвовать на 75—80% в образовании массы для приготовления хорошей писчей бумаги, бристольского картона и пр. Пшеничная солома годится на производство бумаги для печатания газет, причем из нее может

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПЕРЕПРЕВШЕЙ СОЛОМЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Попытки такого использования соломы делались неоднократно с тем, чтобы возвращать в почву часть взятых урожаями питательных веществ в тех случаях, когда по каким-либо причинам солома остается неиспользованной на подстилку для скота и для получения навоза. Допустимости этого мероприятия могут способствовать некоторые особенности почвы; например, на особенно богатых черноземных почвах при накоплении в пару избытка нитратов некоторая (временная) убыль нитратов может не иметь значения, а зольные вещества соломы (ее фосфор) могут быть полезными. Иногда положительные результаты более ясно сказываются на последующих растениях, чем на озими, идущей по пару. В нечерноземной полосе чаще наблюдается переход от отрицательного действия соломы в первый год к положительному в следующие годы; на глинистых почвах иногда полезное влияние оказывает механическое разрыхление почвы, которое вызывает, очевидно, усиление нитрификации благодаря большему проникновению воздуха в почву, и это обстоятельство может компенсировать отрицательное действие углеводов соломы даже в первый год, а в последующие годы гумифицированная солома проявляет еще больший положительный эффект, чем оказала на первый хлеб солома свежевнесенная. Так, на Менделеевском опытном поле (Приуралье) наблюдались такие приросты урожая (в центнерах на гектар) от внесения соломенной резки (18 т) на последовательные культуры (трехлетнее среднее):

Приросты урожая

Озимая рожь	+1,9	Клевер второго года	+7,5
Овес	+4,9	» третьего »	+7,4
Клевер первого года	+6,3		

Цифры показывают, что овес и особенно клевер дали гораздо большие приросты, чем рожь. Нужно сказать, что на бобовых, имеющих свой источник азота, не зависящий от количества нитратов в почве, вообще отрицательное действие соломы не проявляется так, как на злаковых, даже при внесении соломы весной, незадолго до посева.

Иногда опыт позволяет установить, что эффект соломы слагается из положительных и отрицательных влияний, которые в некоторых случаях могут друг друга уравновешивать; так, на Шатиловской станции наблюдалось ясное положительное действие золы соломы и почти нулевое (—1%) действие самой соломы; ясно, что в случае внесения соломы полезное влияние ее зольных составных частей парализовалось вредным влиянием неразложившихся углеводов; но если такая комбинация имела место в первом году, то в следующие годы должно взять верх положительное действие. В сводке Балашова «Навозное удобрение» (1929 г.) находим такое сопоставление результатов применения соломы на разных опытных станциях:

	Действие	Последействие		Действие	Последействие
Драбовская	—	+	Полтавская	+	+
Плотинская	—	+	Менделеевское оп. поле	+	+
Одесская	—	+	Чишминская станция	+	+
Шатиловская	—	+	Киевская станция	+	+

Отсюда видно, что изменчивое по знаку действие соломы на первый хлеб в последующие годы обычно становится положительным. Быть может, представляло бы интерес провести опыты внесения соломы не в пару перед рожью, а после уборки ржи осенью, составив набор яровых культур из зерновых бобо-

готовиться «полуфабрикат», т. е. целлюлозная масса, путем обработки соломы щелочью, а затем целлюлоза, доставленная на бумажные фабрики, может перерабатываться в смеси с другими видами целлюлозы в бумагу разных типов. В интересах транспорта такого громоздкого сырья, как солома, заводы должны устраиваться по берегам больших рек, протекающих в степных районах (Дон, Волга, Урал, Иртыш, Обь, особенно река Чу, где возможно производство высококачественной бумаги из рисовой соломы).

вых—гороха, вики, чечевицы, конских бобов, фасоли (смотря по климатическим и почвенным условиям); тогда, вероятно, и в первый год и в последующие наблюдалось бы только положительное действие соломы.

ТОРФ

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОРФА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАВОЗА

Торф содержит значительно больше азота, чем солома. Кроме того, азот соломы берется из почвы, поэтому участие соломы в навозе означает только возвращение части взятого из почвы азота, тогда как внесение торфа в том или ином виде является введением в круговорот хозяйства новых количеств азота, следовательно, оно стоит в одном ряду с такими мероприятиями, как внесение азотистых удобрений или обогащение почвы азотом с помощью культуры бобовых.

Химический состав торфа характеризуется такими средними цифрами (в процентах на сухое вещество):

Торфяники	N	P_2O_5	K_2O	CaO	Всей золы	Органические вещества
Моховые (верховые)	1,0	0,1	0,1	0,4	4,9	95,1
Луговые (низинные)	2,8	0,4	0,2	2,0	12,9	87,1

Площадь торфяников в одной только европейской части Союза составляет свыше 26 млн. га и в Сибири, по приблизительному подсчету, имеется около 68 млн. га; таким образом, размер общего запаса азота в торфе является колоссальным. Но так как мы имеем дело с материалом, не выносящим далекой перевозки, то наибольшее внимание должно быть обращено на использование торфа в соседних с торфяными болотами хозяйствах.

Особенно нужно обратить внимание на использование отходов торфяной топливной промышленности, которая по размерам у нас стоит на первом месте в мире, и в таких областях, как Московская, Ивановская, Ленинградская, имеются десятки тысяч гектаров, разрабатываемых на топливо торфяников, причем получается много торфяного очеса, торфяной крошки, которые должны быть использованы при приготовлении навоза и торфо-фекальных туков.

Торф является материалом для приготовления навоза уже в том случае, если его применяют в подстилку, притом нередко в количествах бо́льших, чем это требуется по соображениям животноводства; но и *помимо* такого «проведения через скотный двор», из торфа можно готовить удобрение, подобное навозу, если нейтрализовать кислоты торфа, добавить недостающие вещества и, заразив микроорганизмами, вызвать в нем аэробные процессы разложения с образованием аммиака и отчасти нитратов («проведение через компостную кучу»). Реже возможно непосредственное применение торфа на удобрение (это относится и низинному торфу, при условии измельчения его).

При применении торфа в подстилку приходится различать два рода случаев: 1) торфяная подстилка применяется для замены соломы, причем стараются обойтись возможно малым ее количеством; такая ставка на минимум характерна для городского и пригородного животноводства; 2) торф, добываемый на местах, вводится в подстилку в значительных количествах, часто в добавление к соломе, в целях увеличения массы навоза без понижения его качества (чаще с повышением его); здесь задача может быть совершенно обратной—обратить в навоз как можно больше торфа; такая ставка на максимум представляет интерес для всех тех хозяйств, которые имеют торф поблизости. Ввиду громадности залежей торфа в Союзе, эта мера может приобрести государственное значение как способ наиболее дешевого разрешения вопроса об азоте в хозяйствах нашего Севера, располагающего своего рода «азотной рудой» в виде торфа.

Для нас преимущественный интерес представляет второй случай применения торфа в подстилку, но для сравнения мы остановимся прежде всего на опытах, в которых торф и солома применялись в равных количествах. Уже при этом масштабе с ясностью проявляются три стороны обогащения навоза азотом благодаря торфу: 1) торф гораздо богаче азотом, чем солома (в 2—4 и даже в 6 раз, смотря по роду торфа), и этот азот способен постепенно переходить в усвояемые для растений соединения за время разложения навоза при хранении; 2) торф сильно уменьшает главный источник потерь азота в навозе—улетучивание аммиака; 3) точно так же при помощи торфа можно устранить потери от стекания навозной жижи, наиболее богатой растворимыми азотистыми соединениями (по сравнению с соломой и казом). Устранение потерь аммиака через улетучивание одновременно со сбережением азота навоза имеет другое положительное значение: аммиачная атмосфера в стойлах при хранении навоза под скотом вредит здоровью животных. Применение торфяной подстилки уменьшает вред от аммиака, так как его содержание в воздухе резко снижается; в качестве примера могут быть приведены следующие цифры:

Время определения	Содержание аммиака в воздухе (в миллиграммах на 1 л)	
	Соломенная подстилка	Торфяная подстилка
1-й день	—	0
2-й день	0,27	0
3-й день	0,42	0
4-й день	0,23	0
5-й день	0,42	0

При соломенной подстилке потери азота достигают в короткое время 20—30%. Даже в тех случаях, когда применяются более совершенные способы хранения навоза в навозохранилище, потери азота все же имеют место. Если же навоз хранится неправильно, то потери азота бывают, конечно, гораздо больше. Насколько введение торфа в подстилку способно уменьшить потери азота из навоза, видно из следующего опыта Feilitzen'a (Швеция): скот держался поочередно то 10 дней на соломе, то 10 дней на торфяной подстилке в равном по весу количестве, причем навоз собирался отдельно, и велся анализ корма и навоза в целях учета азота. Потери оказались равными за 10 дней (в процентах):

При соломе	19,8
» торфе	7,1

Затем навоз хранился 3½ месяца, и за это время вновь наблюдались потери (в процентах):

	Всего азота	Азота аммиака
В случае соломы	20,0	51,3
» » торфа	7,4	4,7

Навоз, полученный при торфяной подстилке, *был богаче не только вообще азотом*, но и *растворимыми азотистыми соединениями*, чем навоз при соломенной подстилке; кроме того, *масса навоза была в первом случае больше* (потери при хранении меньше как на сырое, так и на сухое вещество).

Так как торфяной навоз при укладке в навозохранилище ложится плотнее, чем соломенный, то он требует меньше ухода, тогда как для уплотнения соломенного навоза приходится применять много усилий.

При постановке полевых опытов и внесении *равных* доз того и другого навоза в опытах Feilitzen'a (Швеция) сказался ясный перевес в урожаях на стороне торфяного навоза; но так как торфяного навоза получается больше, то при такой постановке опытов разница в урожаях еще не выражает всей суммы преимуществ торфяного навоза (можно думать, что выигрыш на количестве навоза еще больше, чем выигрыш на его качестве). Опыты, произведенные в нашей лаборатории, дали результаты, совершенно подтверждающие шведские данные.

Так, потери азота и органического вещества в навозе обыкновенном и торфяном за 3 месяца хранения достигали таких размеров (в процентах):

	Обыкновенный навоз	Торфяной навоз
Сухого вещества	53,1	16,5
Азота	28,9	10,2

При внесении равных количеств того и другого навоза (36 т на 1 га) получены были такие урожаи вико-овсяного сена (в центнерах с 1 га):

Без удобрения	39,2
Навоз обыкновенный	49,6
» торфяной	54,5

Лучшее действие торфяного навоза нужно объяснить, конечно, прежде всего его богатством азотом, ибо содержание калия и фосфора в нем не будет большим, чем в обыкновенном навозе (вопрос может быть только в степени их усвояемости); но, кроме фактора положительного (богатства азотом, в частности, и растворимыми соединениями), в случае применения низинного торфа мы имеем в нем отсутствие фактора отрицательного—избытка углеводов (пентозанов и пр.), которыми столь богата солома.

Поэтому и при другой постановке, именно при внесении *равных количеств азота* в том и другом навозе, преимущество оказалось на стороне торфяного навоза[1].

Культуры	Урожай (в процентах)		
	Без удобрения	Навоз обыкновенный	Навоз торфяной
Рожь	100	138	159
Турнепс	100	166	184

В вегетационных опытах у нас постоянно замечалась крупная разница между действием обыкновенного и торфяного навоза: первый при внесении весной перед посевом обычно вызывает понижение урожая (денитрификация в широком смысле слова), торфяной же навоз этого действия не проявляет; в связи с этим нужно поставить особенно хорошее действие торфяного навоза при внесении весной под картофель (полевой опыт)[2]:

Внесено навоза (в тоннах на 1 га)	15	27	36
Прирост урожая (в центнерах на 1 га) { Обыкновенный навоз	10,4	28,2	26,2
Прирост урожая (в центнерах на 1 га) { Торфяной навоз	50,7	51,1	77,7

В согласии с этим стоит данные[3] о ходе нитрификации в почве при внесении того и другого вида навоза (в миллиграммах на 1 кг почвы):

Время определения	Содержание нитратов		
	Без удобрения	Обыкновенный навоз	Торфяной навоз
16 мая	7,4	5,6	5,3
6 июня	16,6	20,0	30,2
26 »	31,4	27,6	45,9
27 июля . . .	28,0	50,0	70,9

Лучшее действие азота торфяного навоза на урожай зависит от: 1) лучшего сохранения азота мочи; 2) лучшего его использования вследствие нормального хода нитрификации (отсутствия денитрификационных процессов);

[1] См. работы Якушкина и Константинова в XI томе «Результатов вегетационных опытов», Москва, 1918 г.

[2] Якушкин. Обзор опытов с торфом за 1914—1916 гг. «Известия Петровской академии», 1918 г.

[3] «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. XII, статья Кузнецова, Москва, 1923 г.

3) постепенного вовлечения азота самого торфа в процесс аммонизации и нитрификации. Уже общая картина действия торфяного навоза говорит за участие азота торфа в общем эффекте: если бы дело шло только об использовании азота жидких выделений, то действие азота торфяного навоза было бы скоропреходящим; на деле же оно является длительным.

Что азот торфа способен и в почве подвергаться этим процессам, видно из опытов применения торфа в качестве удобрения даже без предварительного смешения с экскрементами; ясно, что более длительное разложение вместе с последними способствует мобилизации азота торфа.

Переход в усвояемые соединения азота торфа, входящего в состав органических соединений, конечно, происходит лишь постепенно, под влиянием процессов разложения органического вещества при участии микроорганизмов. Легче поддается такому разложению органическое вещество торфов низинных, которые обычно не имеют кислой реакции, а кроме того, они значительно богаче азотом, чем моховые торфа верховых болот.

Пропускание торфа через скотный двор или вообще через навоз (добавляя, например, торф к навозу при укладке в навозохранилищах и т. п.) имеет в этом отношении определенное положительное значение, так как смешение с богатыми *бактериальной флорой* экскрементами, мочой, навозом способствует развитию бактериальных процессов и более интенсивному разложению органического вещества торфа. В случае кислого торфа происходит также его частичная нейтрализация аммиаком жижи и другими основаниями, содержащимися в навозе, что также содействует разложению.

Торфяная подстилка может применяться весьма различным образом: если ею совершенно заменяют солому, как это нередко имеет место в пригородных и городских конюшнях, то предпочитают волокнистый торф (Sphagnum), как обладающий наибольшей влагоемкостью; но с точки зрения чисто сельскохозяйственной экономии на торфе не следует, а то, что Sphagnum беден азотом и не подвергался разложению, есть его недостаток (с точки зрения приготовления навоза). С этой стороны интереснее применение более перепревшего торфа в большем количестве и не взамен соломы, а настилкой его под солому; при этом солома может сменяться (или добавляться) чаще, торф оставаться дольше—включительно до бессменного пребывания слоя торфа (значительной толщины) в течение всей зимы под скотом.

Иногда встречается дополнительное применение торфа не под животными, но сзади их ног для поглощения стекающей с соломы жижи, или же торф помещается под соломой при изоляции от последней проницаемой для жижи настилкой из дерева или металла (что уже приближается к заданиям отдельного хранения жидких выделений, изложенным выше при описании способа Сонелета[1]).

Количество торфяной подстилки бывает весьма различным, сообразно сказанному выше.

При ставке на минимум исходят из расчета влагоемкости подстилки, делая затем поправку с точки зрения заботы о чистоте ложа.

В качестве примерных норм применения торфяной подстилки можно привести следующие (на одну голову в день):

Виды животных	Моховой торф	Осоковый торф
Крупный рогатый скот	3,0—6,0 кг	5—10 кг
Лошади	2,5—5,0 »	4—8 »
Свиньи	1,5—3,0 »	Не применяется
Овцы	1,0—1,5 »	» »
Птицы (куры)	10—15 г	15—25 г
» (утки, гуси)	20—25 »	35—35 »

[1] Сюда относится: 1) способ Гарденина, когда четырехугольное углубление ниже задних ног животного, наполненное торфом, накрывается крышкой (дешевого устройства) из дерева, проницаемой для навозной жижи; 2) подобная же цель достигается в некоторых свинарниках в Германии (например, под Берлином) прокладкой проволочной сетки между торфом и соломой; сетка имеет целью помешать животным перемешивать торф с соломой и таким образом грязнить ложе (частично достигается отделение мочи от навоза и соломы).

Для молочного стада рекомендуют прикрывать торф слоем соломенной резки, для овец тоже рекомендуется прикрытие торфа соломой, чтобы предохранить шерсть от загрязнения мелкими частицами торфа. В конюшнях устраивают торфонабивные полы, заполняя углубление слоем плотно утрамбованного торфа; этот торф остается на несколько месяцев, а сверху дается ежедневно свежая торфяная подстилка взамен удаляемой вместе с экскрементами ее части; тогда ежедневный расход торфа невелик.

Но совершенно другой подход к этому вопросу получается в хозяйстве, которое использует торф, находящийся на месте, и заинтересовано не в минимуме, а в максимуме введения торфа в навоз, лишь бы не снизить качества навоза. В этом случае соломенная подстилка не отпадает, но торф вводится под нее, что позволяет применять торф в разнообразной форме—будет ли это волокнистый торф, или торфяная мелочь, фрезерный торф, или нарезанный железной зубатой и подсушенный торф—все может быть использовано в подходящей форме применения. В этих случаях сглаживается преимущество мохового торфа, потому что при большой массе всякий торф будет хорошо поглощать жижу, *а тогда приобретают интерес виды торфа, наиболее богатые азотом, т. е. низинные торфа*. Кроме большего богатства азотом и того обстоятельства, что вся их масса легче приходит в разложение, чем моховой торф, необходимо отметить для низинных торфов еще то преимущество перед моховыми, что они гораздо богаче золой (в том числе соединениями фосфора и кальция). В случае введения в подстилку очень больших количеств торфа мы рискуем создать при высоком содержании азота в навозе недостаток фосфора и калия, что потребует дополнительных мер, например, введения фосфоритной муки и золы при разделении этих операций во времени или в пространстве (см. ниже).

Использование торфа на подстилку и вообще в целях удобрения в дореволюционной России было распространено мало, лишь в отдельных районах на севере (например, в бывш. Архангельской губернии) имело место более или менее широкое использование торфа в крестьянских хозяйствах[1].

Значение торфа в качестве удобрения особенно велико на бедных песчаных почвах, каковы, например, почвы Шенкурского района. На этих почвах не растет клевер, при недостатке кормов навоза получается мало, и его далеко нехватало бы, если бы не прибегали к превращению торфа в навоз. Если поставить вопрос так: откуда берется азот того хлеба, которым питается шенкурский крестьянин, то придется сказать, что это азот торфа (и азот экскрементов, сбереженный с помощью торфа). Благодаря торфу (и отсутствию засухи) урожаи на песках Шенкурского района в среднем были выше, чем на черноземах Поволжья. Приведем здесь описание нескольких способов использования торфа, применявшихся недавно на Севере (в Шенкурском районе).

«В волостях, лишенных лугов и имеющих мало скота, предусмотрительный северный крестьянин за два года начинает готовить торф, «чтобы не оставаться без ячной каши» (на севере сильно удобряют навозом ячмень); с осени режется торф, свозится на дворы (под крышу), где выдерживается год, чтобы торф «выветрился». Следующей осенью таким торфом набивают стойла (на 40—70 см), сверху кладут солому, которая добавляется в меру надобности. Целый год торф остается под ногами животных и постепенно подготовляется благодаря разложению, вызываемому

[1] О том, что торф применялся здесь с давних времен, можно судить, например, по следующему описанию, относящемуся к 1790 г.: «Усиливающийся к облегчению сего разум изобрел в недавних летах приемы самородного навоза, для удобрения околосельных пашен весьма выгодного. Изобретение сие надлежит приписать Пинданским крестьянам, поселившимся близ устья реки Пинды. Оно состоит в земле торфяной, кою пробив, означенная река Пинда обсушила и сделала удобною к вырезанию ее и к свозу в надобные места... Они поступили еще далее: ибо нарезали торфяных пластин, соразмерных силам, и сваяли оные в скирды, дали перегнивать года два-три, а потом складывали в скотские дворы, чтоб попадались оные скотскою мочею, и так уже на поле вывозили» (А. Фомин, «Труды Вольно-экономического общества», 1790 г.).

бродящими экскрементами (частично происходит нейтрализация кислот торфа аммиаком навозной жижи); осенью навоз вывозят на ячменное поле будущего года, а скотные дворы набиваются новым торфом».

Большие дозы навоза, вносимые под каждый хлеб (под озимую рожь и ячмень), объясняются здесь не только бедностью песчаной почвы, но и вымыванием питательных веществ благодаря малому испарению в северном климате[1].

При описанном способе в стойлах может имеет место слишком медленное промачивание глубоких слоев торфа, тогда часть его остается неразложившейся (особенно в случае мохового торфа)[2], поэтому представляет интерес другой способ, который состоит в следующем: подсушенные пласты неразложившегося поверхностного слоя торфа подбрасываются на скотный двор по мере появления в нем сырости, а сверху расстилается солома. Для этих целей применяется и верховой и низинный торф; выбор торфяника обусловливается большей частью близостью расстояния для возки торфа.

Наиболее же распространен третий способ, который, однако, является весьма несовершенным,—это возка торфа прямо в скотные дворы из плохо осушенных низовых болот (вообще низинный торф предпочитается, что находит объяснение в большем его богатстве азотом и зольными веществами и в большей разложенности органического вещества). Возка происходит чаще всего в «междупарье», торфом заполняют сплошь углубление скотного двора, создавая толщину в 0,75—1 м, по расчету приблизительно 40—50 возов на голову скота, причем торф оставляется под скотом до следующей весны. В случае осенней добычи встречается другой вариант: торф зимой лежит на болоте, весной поступает на скотный двор, где его «перетаптывает» скот в течение всего лета; на зиму скот перегоняется в теплый хлев на солому, а торфяной навоз вывозится в поле осенью или весной, так как часто именно торфяной навоз идет под яровое (ячмень), а навоз, полученный на соломе, вывозится на паровое поле.

Опыт шенкурских крестьян, дополненный агрохимическими коррективами, может быть широко использован при обращении в культуру площадей песчаных почв, к которым часто примыкают торфяные болота. В настоящее время применение торфа в целях удобрения получает все большее и большее значение в связи с задачей повышения урожаев, причем колхозы имеют возможность организовать добычу торфа более рациональным способом, чем это делалось раньше[3].

Одним из весьма существенных моментов, который надо иметь в виду при добыче торфа, является то обстоятельство, что сырой торф в неосушенной залежи

[1] В этом отношении даже чистые пары (необходимые прежде всего для борьбы с сорняками) на песчаных почвах во влажном климате могут приводить к потерям питательных веществ через вымывание. Что касается занятых паров, то виковый пар на севере может встречать препятствие в краткости вегетационного периода; поэтому здесь интересно испытать финляндский вариант викового пара: весной вика высевается вместе с озимой рожью (можно прибавить немного овса); после уборки вики на семя рожь идет в зиму и дает в следующем году зерно (при широкорядном посеве возможно мотыжение с осени). Может быть, местами можно было бы перейти на чередование—картофель, ячмень, а частью горох и пр. (без пара). Ввиду того что ячмень идет в пищу на севере не только в виде каши, но из ячменной муки готовят небольшие плоские булочки («шаньги», хорошо известные в Сибири), заменяющие белый хлеб, то шенкурцы и называли ячмень: «наша северная пшеница» (но теперь продвигается все дальше на север и культура яровой пшеницы, которая также требует хорошей заправки почвы органическими удобрениями).

[2] Так как при применении мохового торфа получается навоз, бедный фосфором, то следовало бы к нижнему слою торфа примешивать фосфоритную муку; она успеет разложиться, прежде чем жижа пройдет через всю толщу (а последующее преципитирование уже не опасно). Если при вывозе брать навоз не послойно, а во всю толщу, то слои будут более или менее перемешаны.

[3] Распространение применения торфа в целях удобрения в колхозах могут, например, характеризовать такие данные:

Применение торфа в БССР (в тысячах тонн)

	1913 г.	1936 г.
На топливо	14	2 666
На удобрение	0	7 889

(ВСХВ, 1939 г., Павильон БССР).

обычно содержит очень много воды. Влажность торфа доходит здесь до 85—95% (от веса сырого торфа). Поэтому если добывать торф кустарным способом, без осушения болота, и возить сырой торф, то при этом затрачивается много лишнего труда. Кроме того, сырой торф, при применении в подстилку, все равно требует подсушивания, так как иначе он плохо впитывает жижу.

Поэтому наиболее рациональным является предварительное осушение торфяника, предназначаемого к выработке, с помощью осушительных канав.

Осушенные торфяники могут разрабатываться механизированным способом. Надо заметить, что кустарная, бессистемная добыча торфа без предварительного осушения болота, помимо всего прочего, приводит к тому, что залежи торфа не могут быть использованы в сколько-нибудь полной мере. Так, например, если торф выбирается вручную с помощью лопат отдельными ямами—«копанцами», как это практиковалось издавна на севере, то ямы эти (на неосушенном болоте) наполняются водой, болота делаются непроходимыми и непригодными для дальнейшей разработки после использования каких-нибудь 20—30% залежи торфа.

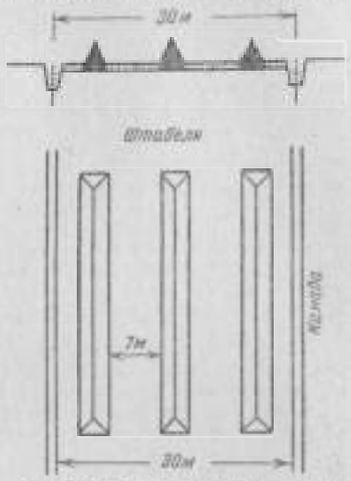


Рис. 59. Схема послойной разработки торфа.

При осушении торфяника канавами добыча торфа может вестись послойно с поверхности всей площади между осушительными канавами, причем здесь возможно применение механизированных способов: площадь между канавами — «квартал» — обрабатывается плугом или боронами (после удаления пней и пр.), после чего верхний, разрыхленный слой торфа подсыхает и в течение нескольких дней (в зависимости от погоды) влажность его снижается до 70—75%. Затем подсушенный торф сгребается вручную или конными лопатами в кучи или штабели (рис. 59). После вывозки заготовленного таким путем подсушенного торфа можно производить второй сбор аналогичным образом. Количество торфа, получаемого этим способом с 1 га низинного болота, колеблется в пределах от 600 до 1 000 т за два сбора.

Данный способ добычи торфа является наилучшим как в связи с возможностью максимального использования механизированных средств, так и по качеству получаемого торфа, содержащего сравнительно невысокий процент влаги[1]. Такая послойная добыча торфа возможна в летнее время, однако если, по соображениям организационно-хозяйственным, приходится вести заготовку торфа зимой, то в этом случае можно ее значительно рационализировать. Для этого необходимо болота, предназначенные для зимней заготовки торфа, подвергать заблаговременному осушению сетью канав (на расстоянии 30—40 м). Для предохранения от промерзания толщи торфа полезно производить на этой площади снегозадержание. При зимней добыче разработку ведут карьерным способом, начиная от канавы, но оставляя между канавой (которая бывает наполнена водой) и карьером бровку[2].

При проведении осушки болот не отдельными колхозами, а в качестве планового государственного мероприятия (с применением экскаваторов и пр.) может

ства, которыми так богат Шенкурский район (и многие другие районы), обратить в культуру более дешевым способом азотирования, а именно—созданая надежа с помощью многолетнего люпина, способного итти далеко на север (в отличие от однолетних форм) и требующего для обсеменения вчетверо меньше семян, чем однолетние люпины. При добавке фосфоритной муки и калийных солей (или нефелиновой породы) многолетний люпин может стать могущественным мелиоратором песчаных и подзолистых почв севера и постепенно поднять их до уровня «плевериых» почв, как это сделал однолетний люпин у Шульца (Люкин) в Германии. Тогда и пески, и подзолы, и болота можно будет использовать в широкой мере, чтобы весь север из потребляющего района действительно стал производящим, несмотря на предстоящее крупное возрастание населения севера в связи с использованием таких природных богатств, как хибинские апатиты, печорский уголь, соликамский калий и пр.

Что касается культуры на осушенных торфяниках, то она стала возможной в значительной мере благодаря применению минеральных удобрений и известкования. Известкование является необходимым мероприятием при культуре верховых торфяников, имеющих обычно такую кислотность (pH солевой вытяжки часто бывает у этих торфов около 3,0), которую не могут переносить культурные растения.

Большинство торфов весьма бедно калием, поэтому применение калийных удобрений является здесь обязательным. Богаче разнообразие встречается в отношении фосфора, так как, наряду с очень малым его содержанием, в отдельных случаях (в низинных торфах) содержание P_2O_5 доходит до 2—5 и более процентов вследствие нахождения в них отложений вивианита. Поэтому о необходимости внесения фосфорных удобрений на низинных торфяниках судят или на основании прямого опыта, или по данным анализа торфа.

При культуре верховых торфяников удобрение фосфатами необходимо всегда, причем здесь пригодны малорастворимые формы (фосфоритная мука, а по некоторым данным здесь бывает эффективна даже апатитовая мука).

В первые годы освоения торфяных почв под культуру часто бывает необходимо и удобрение азотом. Хотя торф и содержит много азота, но он находится в форме, неусвояемой для растений; особенно резко выражено полное отсутствие усвояемых форм азота в первый год культуры фрезерных полей, где вспашкой выворачиваются на поверхность средние и нижние слои торфа. По мере обработки, проветривания и заражения бактериями азот торфа постепенно подвергается мобилизации, и потребность во внесении азотистых удобрений уменьшается.

Внесение навоза (в небольших нормах—10—20 т на 1 га) полезно в первый год освоения. Здесь имеет значение и усвояемый азот навоза, а кроме того, навоз играет роль возбудителя бактериальной деятельности.

Для нейтрализации кислотности торфа, наряду с обычными формами известковых удобрений, доказана возможность применения торфяного шлака (золы, получаемой при сжигании торфа в промышленных топках). Так как такой шлак содержит сравнительно невысокий процент CaO (10—20%), то его вносят в больших дозах (10—20 или еще более тонн на гектар). Применение шлака удобно организовать там, где промышленное использование торфа (на топливо) комбинируется с с.-х. культурой торфяных площадей[1].

Помимо известкования и применения обычных минеральных удобрений, на некоторых низинных болотах бывает необходимо вносить в качестве удобрения небольшое количество меди (в виде медного купороса—25—30 кг на гектар, или содержащих медь отбросов промышленности—см. выше, стр. 432).

ТОРФЯНОЙ КОМПОСТ (ИСКУССТВЕННЫЙ НАВОЗ ИЗ ТОРФА); РАЗНЫЕ ТИПЫ КОМПОСТИРОВАНИЯ

Применение больших количеств торфа в подстилку представляет уже переход к компостированию торфа. В чистой форме последнее осуществляется в компостных кучах, в которых торф ставится в условия, благоприятные для его разложения; при этом желательно введение оснований для устранения кислотности торфа, введение недостающих минеральных веществ (калий, фосфор, известь) и заражение бактериями, чтобы азот органического вещества торфа перевести в растворимые соединения.

Если имеют дело с низинным (луговым) торфом, более богатым золой, то нередко достаточно только заботы об инфицировании и аэрации, чтобы через некоторое время получить материал, близкий к навозу[2]; при моховом торфе приходится больше заботиться об устранении кислотности и пополнении недостатка минеральных веществ.

[1] Тогда возможно использование транспорта, вывозящего топливный торф, для развозки на обратном пути шлака на отработанные торфяные площади, подлежащие с.-х. освоению (Бахулин).

[2] Но все же неравноценный по своему составу, ибо, как правило, в нем будет значительно меньше фосфора и особенно калия, чем в навозе.

Превосходным способом пополнить недостаток калия, извести (и отчасти фосфора) в торфе является введение древесной золы в компост, однако в пределах, не вызывающих щелочной реакции; выщелоченная зола может быть вводима в больших количествах без этого риска; если это выщелачивание не связано с полным вымыванием калийных соединений, то даже удобнее в этой форме дать более правильное соотношение между калием, фосфором и известью в компосте.

Для инфицирования компоста и его обогащения легко разлагающимися соединениями удобно пользоваться, кроме навозной жижи, еще экскрементами, для которых в то же время такой компост является хорошим средством использования и дезодорирования.

Тот же Шенкурск, в районе которого распространена возка торфа на скотные дворы, дает пример использования нечистот для приготовления торфяного компоста не на дворах, а прямо на полях, подлежащих удобрению.

Такого рода «биологическое компостирование», когда нужно держаться реакции, близкой к нейтральной, следует различать от случаев, когда мы рассчитываем на определенное химическое воздействие путем резкой щелочной или кислой реакции, неблагоприятной для развития микроорганизмов. Как раз с торфом можно представить себе два случая «химического компостирования»: щелочное и кислое.

1) *Щелочное компостирование* заслуживает внимания как способ ускорить переход азотистых веществ торфа в растворимое состояние: путь для этого может состоять в подражании способу Ильенкова и Энгельгардта (см. выше о переработке костей), когда берется смесь золы и извести в целях получения KOH; можно думать, что так подготовленный торф будет содержать значительные количества растворимых азотистых соединений.

2) *Кислое компостирование* торфа с фосфоритом имеет целью воздействие на фосфорит; точно так же и такой компост после нейтрализации кислот можно провести через стадию «биологического компоста», но трудно сразу соединять различные задачи.

Такое приготовление искусственного навоза из торфа в поле может избавить от затраты большого количества труда на возку торфа во дворы, если торф имеется вблизи от полей, подлежащих удобрению.

В полевых опытах Алферовского опытного поля (Московская область) в течение нескольких лет сравнивалось действие торфо-зольных и торфо-фосфоритных компостов с действием торфа, фосфоритной муки и золы, вносимых раздельно. Результаты были получены такие (средние урожаи за 5—6 лет в центнерах с 1 га):

Культуры \ Удобрения	Без удобрения	Компост (торф + зола)	Торф	Зола
Озимая рожь, зерно	16,3	20,5	18,7	18,1
Овес, зерно (последействие)	13,7	16,7	14,6	14,8

В опытах с торфо-фосфоритным компостом действие компоста в первый год было заметно выше, чем действие одной фосфоритной муки, последействие же на второй культуре выравнивалось. Это показывает следующая таблица (средние урожаи за 4 года в центнерах с 1 га):

Культуры \ Удобрения	Без удобрения	Компост (низинный торф + фосфорит)	Фосфорит
Озимая рожь, зерно	12,3	15,0	13,1
Овес, зерно (последействие)	12,6	15,2	14,7

Для компостирования с фосфоритной мукой следует брать кислый верховой (моховой) торф. Различная способность разных видов торфа оказывать растворяющее действие на фосфоритную муку видна из такого примера: найдено водорастворимой P_2O_5 в компостах, в процентах от P_2O_5, внесенного в компост фосфорита (данные Центральной торфяной опытной станции):

Виды компоста	Сроки взятия пробы			
	26/VIII	2/IX	9/IX	17/IX
Компост из древесно-осокового торфа с фосфоритной мукой	0,89	0,86	0,78	0,78
Компост из мохового торфа с фосфоритной мукой	17,92	29,24	26,54	32,81

Таким образом, при компостировании с кислым моховым торфом происходит значительное повышение растворимости P_2O_5 фосфоритной муки, что может быть особенно полезным при удобрении таких почв (например, песчаных почв), где одна фосфоритная мука мало эффективна.

Примерные соотношения составных частей различных торфяных компостов рекомендуются следующие (Центральная торфяная станция):

Кислый компост—смесь кислых торфов с фосфоритной мукой: 1 часть фосфоритной муки на 20 частей абсолютно сухого торфа (или 80 частей сырого торфа).

Щелочные компосты—торфяно-известковые: 1 часть извести на 5 весовых частей абсолютно сухого торфа, и торфяно-зольные: 1 часть древесной золы на 10 частей абсолютно сухого торфа.

Биологические компосты с навозом или нечистотами—не менее 10% навоза или нечистот от веса торфа.

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФА НА УДОБРЕНИЕ

Для этой цели применяется луговой торф, так как луговой (низинный) торф обычно не имеет той сильно выраженной кислой реакции, какая свойственна верховым торфам; луговой торф богаче зольными веществами и азотом, но азот этот лишь в небольших количествах переходит в усвояемые соединения, поэтому нужны значительные количества торфа, и тогда действие его является длительным. На Новозыбковской станции наблюдалось такое действие возрастающих доз лугового торфа на рожь и картофель (почва песчаная, урожаи в центнерах с 1 га):

Культуры	Количество торфа (в тоннах)					
	0	18	36	54	72	108
Рожь (1-й год действия)	5,5	8,4	11,1	12,8	13,6	17,1
Картофель (2-й год действия)	48	—	62,3	—	86,8	95,4

На Белорусской станции на суглинистой почве, при сравнении действия торфа и навоза на картофель, получились следующие урожаи клубней (в центнерах с 1 га):

	Внесено удобрения (в тоннах)			
	0	18	36	54
По навозу	132	152	157	—
По торфу	132	139	146	155

Из этих цифр видно, что недостаточно было удвоить количество торфа против 18 т навоза; для достижения того же эффекта нужно было тройное количество торфа (однако если поле расположено ближе к болоту, чем к усадьбе, то иногда легче привезти тройное количество торфа, чем однократное количество навоза, не говоря о случаях, когда навоза в хозяйстве очень мало, как бывает на песчаных землях). Нередко торф для целей удобрения подготовляется так: нарезанный с осени торф укладывается в рыхлые кучи (клетки) объемом около 1,5 м³ и оставляется на зиму; действием мороза торф рыхлится, весной и летом кучи перелопачиваются, и затем рассыпчатая землистая масса вывозится на паровые поля. Внесение значительных количеств торфа (но только в размельченном виде) может быть хорошим средством мелиорации как бедных песчаных, так и тяжелых глинистых почв.

Под влиянием систематического применения торфяного удобрения происходит улучшение физико-химических свойств почв, в особенности легких песчаных почв,—повышается их емкость поглощения и увеличивается буферность, что можно видеть из таких данных Центральной торфяной опытной станции по бывш. Северному краю:

Почвы	Емкость поглощения (в миллиэквивалентах на 100 г почвы)	
	Без удобрения	По торфяному удобрению
Песчаные	4,1—6,7	13,2—27,3
Глинистые	9,8—26,6	12,5—33,5

Увеличение буферности почвы при систематическом удобрении торфом достигает значительных размеров. Так, в одном из опытов наблюдались такие различия:

Почвы	Изменение pH при внесении возрастающего количества миллилитров 0,1-н HCl							
	0	1	2	3	4	5	7	10
Неудобренная песчаная почва	5,19	2,93	2,55	2,24	2,09	—	—	—
Песчаная почва, удобренная торфяным удобрением	5,28	5,04	4,66	4,50	4,20	4,12	3,83	3,55

Увеличение емкости поглощения и буферности почвы под влиянием применения торфа создает лучший фон и для действия минеральных удобрений. Сочетание минеральных удобрений с применением торфа может поэтому давать хороший эффект. Следует, однако, заметить, что наиболее целесообразным способом использования торфа в целях удобрения является применение его не в чистом виде, а пропускание его тем или иным способом через скотный двор или вообще через навоз (добавляя торф к навозу в навозохранилищах, в штабеля навоза при заблаговременной вывозке его в поле), а также приготовление компостов с фекалиями, навозной жижей и т. п. В этих случаях достигается не только внесение в почву органического вещества торфа, но одновременно сохраняются от потерь питательные вещества навоза, жижи и т. п., и в то же время азот самого торфа более легко поддается разложению.

В особенности сказанное о целесообразности проведения торфа через навоз, компосты относится к торфу верховых болот, который в чистом виде применять не следует. Кроме более кислой реакции, верховой торф отличается от лугового большим содержанием неразложившихся безазотистых веществ (клетчатки, пентозанов). Если нейтрализовать кислотность такого торфа, но применять его неразложившимся, то обилие безазотистых веществ в нем может оказать отрицательное действие, когда они начинают разлагаться микроорганизмами почвы; этот процесс может сопровождаться иммобилизацией усвояемых форм азота почвы микроорганизмами[1]. Поэтому возможны случаи отрицательного

[1] Аналогично тому, как это имеет место при внесении непереопревшей соломы.

действия верхового торфа или отсутствия всякого действия, в то время как в случае внесения значительных количеств низинного торфа описаться отрицательного действия не приходится, причем часто со временем положительное действие торфа усиливается, и, например, на второй и третий год удобрение нередко действует лучше, чем в первый год.

Поэтому верховой торф надо применять в подстилку или подготовлять длительным компостированием (с известью или фосфоритной мукой, с золой, фекалиями или навозной жижей), прежде чем вносить в качестве удобрения.

СМЕШАННЫЙ КОМПОСТ КАК СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТБРОСОВ ХОЗЯЙСТВА

Вообще говоря, компост представляет смесь, с одной стороны, веществ, разлагающихся и доставляющих элементы пищи растениям, а с другой—таких веществ, которые могут удерживать, предохранять от потерь продукты разложения. В состав компостной кучи могут входить самые разнообразные материалы, которые или представляют животные отбросы, попутно получающиеся в хозяйстве (например, трупы павших животных[1], кости, рога, копыта, шерсть, вредные насекомые, если они скопляются при уничтожении в значительных количествах, экскременты), или же эти материалы представляют отбросы растительного происхождения, например, испортившиеся корма, сорные травы и пр. Далее в компост поступают разные отбросы усадьбы, как сор со двора, часто богатый органическими веществами, зола из печей, известковый мусор и пр., — все это с пользой можно употребить при приготовлении компоста.

Второй составной частью компостной кучи, имеющей целью поглощение продуктов разложения, является обычно земля, которая в этих целях должна обладать значительной влагоемкостью и содержать по возможности значительное количество органических веществ. Для этой цели является пригодной земля с примесью растительных остатков, как земля из канав, пыль от очистки улиц, содержащая до 2% азота (кроме того, указывают, что уличная и дорожная пыль содержит еще некоторое количество калия, получающегося из обломков камней с шоссе, но усвояемость этого калия невелика). Еще лучше в тех же целях прибавлять торф, обладающий значительной поглотительной способностью и содержащий азотистые органические вещества, способные при наличности оснований и изобилии микроорганизмов также приходить в разложение (см. сказанное выше).

В состав компоста могут входить очень разнообразные материалы, но стараются подбирать их таким образом, чтобы с материалами, скоро разлагающимися, например, мясными отбросами, не вносить в одну и ту же кучу трудно разлагающиеся, например, шерстяные отбросы, так как это ведет к затруднению определения времени спелости компоста и к напрасным потерям питательных веществ. Для веществ, медленно разлагающихся, можно закладывать отдельные (подготовительные) кучи.

При приготовлении компоста материалы по возможности измельчаются, перемешиваются и увлажняются водой или навозной жижей (последняя, кроме питательных веществ, вносит и ферменты для разложения). Относительно размера куч, в какие укладываются материалы для компоста, обычно даются такие указания: при произвольной длине им придают ширину около 2 м, вверху несколько уже, внизу—шире, и высоту—около 1 м.

Уход состоит в поливании и перелопачивании для перемешивания и для доставления доступа воздуха внутрь кучи.

Время, необходимое для того, чтобы материалы вполне перегнили и компост был годен к употреблению, различно в зависимости от составных его частей (от нескольких месяцев до 1 года). Критерием спелости обычно является однородность компостной массы.

[1] Но не от заразных болезней.

Компост является довольно универсальным удобрением. Употребляемый чаще всего в садах и огородах, компост охотно применяется также и там, где требуется хорошее распределение удобрения, например, при удобрении лугов; навоз здесь может вызвать этиолирование растений в теплое время года, а компост можно распределить более равномерно.

Земляной компост обычно представляет собою быстро действующее удобрение, и действие его по большей части ограничивается одним годом (действие торфяного компоста более длительно).

ФЕКАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Значительная часть продуктов полеводства прямо или непрямо идет в пищу человеку, следовательно, выделения человеческого организма должны содержать большие количества азота и зольных составных частей, взятых растениями из почвы. Сравнительно с извержениями травоядных отбросы человеческого организма должны быть процентно богаче (считая на сухое вещество) азотом и фосфорной кислотой, во-первых, потому, что пища человека богаче белками, чем корм травоядных; если, например, в пище животных (сене) содержится 1,5% азота, считая на сухое вещество, то в пище человека его бывает от 2—3% (зерна хлебов) до 15% (мясо); во-вторых, пища эта более переварима, значит большая часть ее окисляется, давая H_2O и CO_2, а потому оставшаяся после прохождения через организм сумма отбросов еще больше обогащается процентно азотом, чем в организме травоядных. В связи с родом пищи непереваримые остатки ее плюс сухое вещество мочи могут содержать до 15% азота, который здесь иначе распределяется между твердыми и жидкими извержениями; в сухом веществе твердых выделений содержится 5—7% азота, а в жидких—между 17 и 20%; кроме того, у человека жидкие извержения по массе сильно преобладают над твердыми в отличие от травоядных. Так, для лошади выделения кишок относится к выделениям почек (сырой массе), как 5 : 1, а у человека—как 1 : 9; такое же обратное отношение сохраняется и для сухих веществ.

В среднем человек выделяет в сутки около 133 г твердых извержений и 1 200 г жидких; в них содержится (в граммах):

	В твердых	В жидких
Сухого вещества . .	25	50
Азота	2	12
Золы	4,5	14
Фосфорной кислоты	1,35	1,78
K_2O	0,64	2,29

Таким образом, большая часть азота содержится в жидких выделениях в растворимой форме и при внесении в качестве удобрения этот азот легко усвояем для растений[1]. Но для целей утилизации важно, кроме абсолютных количеств, знать и процентный состав, зависящий более всего от содержания воды. Оказывается, что примесью воды материалы эти обесценены в значительной мере; так, состав их таков (в процентах):

	Твердые извержения	Жидкие	Смесь их
H_2O	75	95	93
N	1,5	1	1 и меньше
P_2O_5	1,0	0,15	0,2
K_2O	1,5	0,18	0,1

Нечистоты (фекалии) представляют удобрение по преимуществу азотистое и могут употребляться под хлеба, травы, прядильные растения, кормовые корнеплоды; менее пригодны они для применения под лучшие сорта табака ввиду значительного содержания хлористых солей. Удобрение это довольно быстро действует, но последействие его не продолжительно. При употреблении экскре-

[1] Мочевина дает с большой легкостью углекислый аммоний в почве и даже в растении.

ментов в качестве удобрительного материала нередко замечалось неблагоприятное их действие на физические свойства почв; например, глинистые почвы под их влиянием становятся более наклонными сплываться, что объясняется отчасти значительным содержанием хлористого натрия (вытеснение кальция); на торфяных почвах, наоборот, они оказывали благоприятное (уплотняющее) влияние.

Состав отбросов, употребляемых на удобрение, различен в зависимости от способа их уборки. Самый простой—это система выгребных ям, но она неудобна как со стороны санитарной, так и с точки зрения получения удобрения, так как при этом заражается почва, вывозка производится недостаточно часто, поэтому происходит усиленное разложение азотистых веществ, выделяется масса газов, портящих воздух, и теряется значительное количество азота.

Система подвижных ящиков или бочек, когда экскременты собираются в вывозные резервуары и удаляются по мере накопления, будучи лучше первой в обоих указанных отношениях, оказывается очень обременительной для значительных поселков, так как требует большого количества подвод для своевременного удаления нечистот[1]. Но она удобна в деревне, если принять меры к устранению запаха и потерь аммиака.

Самое лучшее средство одновременно устранить запах, сохранить азот и сделать обращение с нечистотами более простым состоит в *регулярной присыпке их торфяным порошком*, тогда не трудно часто удалять из уборных содержимое в компостную кучу. По западным данным, считают, что при этом достаточно 60 кг торфяного порошка в год на одного человека. У нас имеются данные Алферовского торфяного хозяйства, по которым минимальными количествами для поглощения нечистот являются следующие (на 1 человека в год в килограммах):

Торфяная подстилка	82
Торфяной порошок	72
Торфяная крошка	167
Проветренный низинный торф .	167

Снижение потерь азота при смешивании фекалий с торфом можно иллюстрировать такими данными (Мироновская опытная станция):

Варианты опыта	Потери (в процентах)	
	сухого вещества	общего азота
Фекалии + торф 10% (по весу) .	27,1	66,3
» + » 25%	21,5	55,4
» + » 50%	6,1	12,0

Получаемая при регулярной засыпке уборных торфом масса (торфяно-фекальное удобрение) применяется на огородах, под поповью и силосные растения в количестве 15—30 т, под хлеба—10—12 т на 1 га. Где нет торфа, иногда прибегают для засыпки уборных соломенной резаной; вблизи лесопильных заводов торф может быть заменен опилками, вблизи суконных фабрик—шерстяными отбросами. Можно применять и сухую землю, которой требуется немного больше (700 г в день на человека или около 250 кг в год).

В городах для устранения запаха прибегают иногда к введению в уборные железного купороса ($FeSO_4$), которого достаточно всего лишь 10 кг в год на человека, при этом одновременно устраняется сероводородный запах и связывается аммиак[2].

[1] В Голландии в небольших городах применялась иногда пневматическая канализация Лирнура (которую не следует смешивать с обычной сплавной канализацией). Центральный резервуар при этом соединяется сетью труб с частными резервуарами отдельных домов; для удаления нечистот выкачивают воздух из центрального резервуара, а потом открывают краны труб частных резервуаров, и нечистоты давлением воздуха поступают в общий резервуар. При таком способе собирания нечистот избегается их разжижение и экскременты собираются сменными в цементный резервуар, откуда они поступают в продажу неразбавленными или же высушиваются для приготовления пудрета.

[2] В Китае встречается еще такой способ: экскременты смешиваются с глиной, формуются в плитки, высушиваются и в таком виде поступают в продажу как материал, удобный для обращения (и перевозки водным путем).

В Зап. Европе местами из этих отбросов готовили пудреты, т. е. высушивали их и превращали в порошок, чтобы избавиться от массы воды и сделать удобрение выносящим перевозку на большие расстояния. Самый простой способ приготовления пудрета состоит в том, что материал помещается в ямах, отстаивается, жидкость удаляют, осадок выкладывают на края ямы и дают высохнуть. Однако высыхание влагоемкой массы идет медленно, сопровождается сильным разложением, в результате теряется масса аммиака. Полученный материал содержит до 2% азота и 4% фосфорной кислоты. Применяют при сушке иногда торфяной порошок и другие материалы, позволяющие уменьшить потери азота. Иногда сушка производится с прибавлением кислот для задержания NH_3, прибавляют также суперфосфат; тогда продукт часто обозначают именем искусственного гуано.

Под Парижем практиковался одно время такой способ утилизации нечистот: вся масса без отстаивания подвергается отгонке с примесью $Ca(OH)_2$, аммиак улавливается серной кислотой и поступает в продажу как $(NH_4)_2SO_4$; остальная масса отстаивается, выделяя осадок и слой жидкости вверху; последняя сливается, а осадок сушат, предварительно подвергая центрифугированию. В таких случаях весьма полно используется азот (частью в дестиллате, частью в осадке, обращаемом в пудрет) и фосфорная кислота (в осадке, в соединении с известью); лишь калийные соли удаляются с водами как менее ценный и труднее выделяемый материал.

Пудрет обычно содержит азот в форме, используемой растениями лучше, нежели азот навоза: так, в первый год из пудрета переходит в усвояемое состояние до 56—60% азота.

В Голландии при употреблении необработанных (сырых) нечистот их по доставке из города помещают в резервуары, разбавляют водой и прибавляют к ним навозной жижи или еще чего-либо, способного внести элементы пищи растения (например, жмыхи). Подготовленной брожением жидкостью пользуются, поливая ею осенью вспаханные поля (значение брожения прежде преувеличивалось).

Легкости передвижения и перемещения городских отбросов можно достигнуть и средством противоположным высушиванию—сильным разжижением их так, чтобы масса могла двигаться по каналам, как оросительная вода,—это *канализационная система удаления нечистот*. В таких случаях жидкость содержит немного сухих веществ: например, от 2 до 3 частей сухих веществ на 1 000 частей воды.

Это смешивание отбросов с водой сначала производилось только с целью удаления их из городов. Города спускали экскременты вместе с дождевыми и другими водами и направляли или в большие реки, как, например, в Сену в Париже, или через устье Темзы в море, как в Лондоне. Опыт показал, что такой способ удаления нечистот сильно вредит органической жизни реки в тех местах, где спускаются нечистоты: рыба перестает водиться на значительном протяжении, количество растворенного кислорода сильно понижается, число бактерий увеличивается. С целью обезвредить эти нечистоты пробовали применять механическую фильтрацию их, но при этом задерживаются только взвешенные части; химические способы осаждения давали малоценные неиспользуемые осадки. Лучшим оказалось фильтрование канализационных вод через почву (полей орошения или полей фильтрации). Процеживание через эту среду, населенную микроорганизмами и порозную, не является механической операцией: оно связано с рядом химических превращений в фильтруемой жидкости, главным образом вызванных деятельностью микроорганизмов; органическое вещество подвергается окислению, азот аммиака переходит в форму азотнокислых солей; после окисления жидкость является осветленной и обезвреженной. Этим *биологическим фильтрованием* и стали частично пользоваться с целями сельскохозяйственными, как средством удобрения.

Поля орошения существуют теперь во многих больших городах Европы, однако везде цель обезвреживания является первенствующей, а сельскохозяйственная—побочной; так, в Париже в год на 1 га этих полей доставляется свыше

50 000 м³ жидкости, что в переводе на навоз по азоту равняется 500 т навоза, т. е. в 15 раз превышает норму. Это уже мало отвечает идее Либиха о возвращении почве взятого из нее урожаем.

На полях орошения развита главным образом культура овощей; культурные растения хорошо удаются, находят себе обеспеченный сбыт, и арендная плата за землю, орошаемую нечистотами, постоянно растет. Урожаи получаются громадные; так, кормовая свекла, например, дает до 100 т, но все же культура покрывает только часть расходов по содержанию полей орошения.

В больших размерах устроены поля орошения в Берлине: поля эти занимают свыше 10 000 га. Считают, что в среднем на человека поступает в день до 100 л жидкости; при расчете площади полей орошения принимают на 350 человек 1 га. Если перечислить все количество жидкости, поступающей на 1 га, на навоз по азоту, то окажется, что оно отвечает 300 т навоза; следовательно, и здесь доставляется громадный избыток питательных веществ на 1 га вместо того, что желают на единице площади обезвредить возможно большее количество нечистот (Либих имел в виду обратное—возможно большую площадь полей удобрить городскими отбросами по расчету потребности растений в питательных веществах). Слой воды, который профильтровывается через почву, не считая осадков атмосферы, равняется 1,5 м.

В Берлине на полях орошения сначала заведена была мелкая культура: сеялись главным образом овощи—свекла, морковь, картофель—для непосредственной продажи. Временами бывали затруднения в сбыте, потому что овощи эти дольше не вызревали благодаря значительному количеству влаги и азотистых веществ, следовательно позднее поступали на рынок, а при сохранении скоро портились (хотя по опытам в Одессе этого не наблюдается). Тогда стали культивировать преимущественно растения, допускающие постоянный сбыт в больших количествах, например, капусту, которую заквашивают в значительных количествах (для армии и пр.), а также кукурузу на корм и кормовую свеклу. Растения эти культивируются на грядах, а между грядами пропускается канализационная вода по бороздам, не соприкасаясь с растениями. Берлин получает с полей орошения около 1 млн. ц овощей в год, что составляет 45% всего потребляемого им количества.

Особенно отзывчивыми на орошение сточными водами оказались травы, именно итальянский райграс, тимофеевка, английский райграс, ежа; они дают 5—6 укосов (не только благодаря удобрению, но и согреванию почвы весной и осенью теплыми водами). В свежем виде травы охотно поедаются скотом без никакого-либо ущерба для молочной производительности и даже качества молока. Но сено с таких мест не так легко просыхает при уборке (по наблюдениям в Берлине), а затем отмечают в нем очень высокое содержание нитратов и хлористых солей[1].

Кроме огородной культуры и орошаемых лугов, часть площади приходится отводить под зимние бассейны. Теплота воды повышает температуру земли, и фильтрование продолжается всю зиму[2]. Эти бассейны впоследствии подвергаются культуре, но иногда приходится оставлять их на год под черным паром, так как поверхность почвы покрывается пленкой различных осадков (главным образом волокон от бумаги), которая мешает проникновению воздуха внутрь, а потому приходится усиленно заботиться об ускорении разложения.

Кроме перечисленных видов пользования, поливаемые площади засаживаются корзиночной ивой, ольхой, плодовыми деревьями, ягодными кустарниками и т. п.

[1] Так, в одном случае было найдено около 1,5% Cl и 0,45% нитратного азота в воздушно-сухой массе. Между прочим, дюнерая оказалась растением, хорошо использующим орошение сточными водами (но отмечается отсутствие клубеньков).

[2] Это согревающее влияние сточных вод может быть использовано для удлинения вегетационного периода и увеличения числа укосов, которое, например, под Миланом, доходит до 10; лучшие участки таких орошаемых и зимою лугов (marcite) дают там до 30 т сена в год за 10 укосов, которые снимаются ежемесячно, кроме декабря и января (см. об этом статью автора в «Вестнике сельского хозяйства» за 1905 г.).

Раньше других городов у нас возникли поля орошения в Одессе на Пересыпи, почва которой состоит из извести и кварцевого песка (до 98% в сумме); она в естественном состоянии часто бесплодна вследствие отсутствия питательных веществ, а местами—вследствие близости соленой воды. Орошение сточными водами уничтожает соленость и обогащает почву питательными веществами. Опыты огородной культуры удались очень хорошо, и дело начало быстро расширяться.

Культура на полях орошения в Москве дала также хорошие результаты, особенно для капусты, свеклы, огурцов и других овощей, затем для виковой смеси, кукурузы на корм и злаковых кормовых трав[1] (Alopecurus pratensis и Bromus inermis) и древесных насаждений (ива и тополь). Дороговизна земли на Западе и большие расходы по культуре заставляют нередко переходить к биологической очистке сточных вод (как отчасти делается и в Москве); в других же случаях город стремится удалять поля орошения в пояс менее занятых земель, распродавая прежнюю площадь под постройки по возросшей оценке (в эту сторону наклонен итти Берлин); в том и другом случае решающее значение придают чаще всего иным факторам, чем заботе об экономном использовании азота, фосфора и калия, извлеченных урожаями из почвы полей и попадающих в городские сточные воды.

Правильная организация использования нечистот имеет большое народнохозяйственное значение. Они представляют весьма существенный источник питательных веществ, который мог бы играть большую роль в общем балансе удобрительных ресурсов.

Приблизительный подсчет по количеству населения показывает, что количество азота, содержащегося в фекалиях, достигает в СССР более 800 тыс. т в год.

Однако используется этот источник в целях удобрения лишь в небольшой мере. Организация с.-х. использования фекалий должна вместе с тем преследовать задачи максимального санитарного обезвреживания их, ибо часто фекалии (при отсутствии соответствующих мероприятий по их полному сбору, хранению и обезвреживанию) являются главным источником распространения инфекционных и глистных заболеваний среди населения.

Понятно, что в условиях социалистического государства плановая организация соответствующих мероприятий, согласованно разрешающих задачи максимального использования отбросов в целях поднятия урожайности и улучшения санитарного состояния населенных пунктов, может быть осуществлена лучше и полнее, чем где бы то ни было. Однако в этом направлении предстоит многое сделать, ибо в настоящее время состояние дела с использованием и обезвреживанием нечистот страдает многими недостатками.

Вопрос о наиболее рациональной системе использования отходов населенных мест в последнее время усиленно изучается в СССР как с агрономической точки зрения, так и со стороны санитарно-гигиенической.

Для характеристики намечающихся путей комплексного разрешения этой задачи приведем здесь описание (с некоторыми сокращениями) соответствующей системы мероприятий, изложенной в одной из работ, посвященных детальному рассмотрению этого вопроса[2].

В малонаселенных пунктах (в колхозах, в совхозах) в большинстве случаев до настоящего времени сбор фекалий вообще не организован в сколько-нибудь полной мере благодаря отсутствию уборных. Это приводит к большим потерям питательных веществ и к созданию антисанитарных условий для трудящихся. Повсеместное устройство уборных, удовлетворяющих основным санитарно-гигиеническим требованиям (непроницаемость сборников, недоступность

[1] См. В. Р. Вильямс, «Об организации полей орошения г. Москвы» (1899 г. и 1901 г.). Об организмах, населяющих загрязненные воды, см. у Никитинского—«Биологическое обследование р. Москвы», 1909 г. См. также отчет совещания по очистке сточных вод «Люберецкие поля фильтрации», М. 1928 г.

[2] С. П. Гусев, Способ переработки отходов населенных мест и промышленности на удобрение в сочетании с их санитарным обезвреживанием. Диссертация. 1939 г.

их для животных и для мух, являющихся разносчиками инфекционных, в частности, глистных, заболеваний) должно быть здесь первоочередным мероприятием. *Для сохранения от потерь азота и устранения запаха должна применяться засыпка фекалий торфом (или перегнойной землей).*

Собираемые в малонаселенных пунктах фекалии в смеси с торфом или перегнойной землей следует подвергать затем горячему компостированию, что является хорошим способом обеззараживания нечистот (в частности, для уничтожения яиц глистов). С целью лучшего сохранения азота и достижения достаточно высокой температуры рекомендуется добавление к компостам (особенно если засыпка уборных производится землей) растительных отходов. Полученные таким путем компосты используются как удобрение.

Использование фекалий в сыром виде надо считать нецелесообразным как с агрономической, так и с санитарной точки зрения. Тем более это недопустимо при внесении подкормок ручным способом.

В средненаселенных пунктах (например, во многих районных центрах) целесообразно итти в направлении *переработки главной части фекалий в торфо-фекальные туки* при наиболее узком соотношении между торфом и фекалиями. Смешение с торфом возможно и непосредственно в выгребных ямах (что способствует и сохранению азота и устранению запаха), а также путем организации смешения вывозимых фекалий с торфом и приготовления компостов за городской чертой. При узком соотношении фекалий и торфа (ставка на максимальное насыщение торфа фекалиями) горячее компостирование может сопровождаться значительными потерями азота. С целью сохранения азота, в отчасти и для обеззараживания компоста в этих условиях изучается прием хлорирования[1] его (обработка газообразным хлором). После обработки хлором возможно подсушивание торфо-фекального тука без значительных потерь азота и без опасности в санитарном отношении.

Часть фекалий, скопляющихся в средненаселенных пунктах, может быть также использована путем организации специальных полевых участков, на которые нечистоты вывозятся ассенизационным обозом и запахиваются (с последующим посевом с.-х. культур). Обезвреживание фекалий на таких полях ассенизации совершается быстрее и полнее, чем на свалках, а кроме того, при этом происходит использование питательных веществ растениями, возделываемыми на полях ассенизации.

В крупных населенных пунктах (областные, республиканские и промышленные центры) фекалии, скапливаемые в выгребных ямах, могут перерабатываться в торфо-фекальные туки лишь в небольшой части, так как подвоз достаточного количества торфа и вывозка торфо-фекального тука здесь затруднены. Поэтому для таких пунктов представляет интерес *прием переработки фекалий в транспортабельный тук—пудрет.* Для этой цели предложен способ, основанный на предварительной обработке фекалий газообразным хлором и последующем их высушивании на специальной сушильной установке с использованием топочных и дымовых газов. *При обработке хлором уничтожается зловонный запах нечистот, значительно сокращаются потери азота*[2], *а горячая сушка пудрета представляет средство полного обеззараживания его*[1]. В настоящее время осуществляется постройка опытного пудретного завода, работающего по этому принципу.

[1] Аналогично хлорированию навоза, см. примечание на стр. 457.

[2] Приведем здесь следующие данные из опытов С. П. Гусева, иллюстрирующих влияние хлорирования фекалий на сохранение азота:

Исследуемый материал	Содержание на абсолютно сухое вещество (в процентах)		Потеря общего N (в процентах)
	общий N	аммиачный N	
Сырые необработанные фекалии	7,32	—	—
Пудрет из необработанных фекалий	3,40	0,24	53,4
Пудрет из фекалий, обработанных хлором (0,51 % Cl_2)	5,13	2,41	30,1
То же 0,88% Cl_2	6,03	3,41	17,5
То же 1,18% Cl_2	7,20	4,32	1,4

Однако в связи с тем, что широкий переход на переработку фекалий в пудрет, даже в случае благоприятных результатов в отношении разрабатываемого нового способа, потребует немало времени, *следует теперь же использовать и другие меры улучшения сбора и обезвреживания нечистот из выгребных ям.*

С этой целью должны быть проведены следующие мероприятия: 1) исключение из практики выгребов, проницаемых для жидкой части фекалий («поглощающих колодцев»), 2) применение при хранении фекалий консервирующих средств, 3) возможно частое удаление нечистот из выгребов пневматическим автотранспортом, 4) широкое внедрение приемов с.-х. использования нечистот.

Фекалии, удаляемые канализацией из крупных и средненаселенных пунктов, должны в максимальной мере использоваться как удобрение на полях орошения. Метод очистки сточных вод на полях фильтрации[2] и на станциях биологической очистки означает потерю питательных веществ, содержащихся в нечистотах. Использование сточных вод на полях орошения должно быть одним из основных способов утилизации сточных канализационных вод при средненаселенных пунктах, где чаще всего имеются достаточные площади, пригодные для организации полей орошения.

Помимо фекальных масс, из отбросов населенных мест в целях удобрения следует использовать *домовый мусор.*

Мусор, скапливаемый в малонаселенных пунктах, легко может быть использован на удобрение после компостирования с различными другими отходами хозяйства, в средних же и особенно крупных населенных пунктах мусор скапливается в таких больших количествах, что его сбор, удаление и обезвреживание являются предметом больших забот коммунальных органов.

Пути наиболее целесообразного использования мусора должны быть направлены к максимальному применению его в овощном хозяйстве как биотоплива для закрытого грунта, с последующим применением перегной в открытом грунте.

В связи с сокращением гужевого транспорта в городах и расширением парникового хозяйства в пригородном овощеводстве, конского навоза нехватает, поэтому применение мусора в этих целях является наиболее рациональным.

При высокой температуре, получаемой от самосогревания мусора в парниках, создаются вместе с тем благоприятные условия и для его обезвреживания. Предварительные опыты с хлорированием мусора дали положительные результаты в отношении сохранения его теплотворной способности при продолжительном хранении (до набивки парников). Мусор, оставшийся неиспользованным в парниках, при применении в открытом грунте целесообразно подвергать предварительному компостированию. Хотя при компостировании и происходит значительные потери азота (так как мусор имеет чаще всего щелочную реакцию вследствие содержания в нем золы), этот прием позволяет лучше его обезвредить; кроме того, после компостирования мусора облегчается отбор из него ветхующих продуктов, как стекло, железо и пр., которые засоряют почву и могут вызывать при обработке почвы порезы как у людей, так и у животных.

Сжигание мусора в мусоросжигательных печах, понятно, ведет к потере этого отхода как удобрения и вместе с тем требует значительных капитальных затрат и эксплоатационных расходов. С этой точки зрения максимальное использование мусора в сельском хозяйстве (главным образом в пригородных овощных хозяйствах) является наиболее рациональным.

[1] Действие высокой температуры является наиболее верным средством уничтожения яиц глистов.

[2] На поля фильтрации дозу сточных вод дают много большую, чем на поля орошения, имея в виду на одной и той же площади очистить возможно большее количество сточных вод.

О ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЕВООБОРОТАХ[1]

В предыдущих главах были рассмотрены особенности действия отдельных удобрений в зависимости от свойств почв и возделываемых культур. Были освещены также и общие вопросы планирования удобрений с точки зрения суммарного баланса азота, фосфора и калия, соотношения в нем различных видов промышленных и местных удобрительных ресурсов, очередности химизации разных культур и т. п.

Все это должно соответствующим образом приниматься во внимание при согласованном проведении мероприятий по развитию химической промышленности и химизации социалистического земледелия.

Для того чтобы наладить правильное использование всех удобрительных ресурсов, необходима организация этого дела по определенному плану, предусматривающему все, что должно быть сделано для обеспечения наиболее высокого эффекта от применения удобрений.

Такая плановая организация применения удобрений требует осуществления соответствующей системы хозяйственных мероприятий, связанных с химизацией социалистических полей, или, другими словами, введения *правильной системы удобрения*.

При этом в практике приходится иметь дело не только с отдельными видами удобрений, отдельными культурами и почвами однородных свойств, но всегда с известной *совокупностью культур*, входящих в севооборот, каким-то *разнообразием почвенного покрова* хозяйственной территории и с применением в этих условиях той или другой *совокупности различных видов минеральных и органических удобрений*. Осуществить правильную систему удобрения—это значит наиболее эффективно использовать все имеющиеся ресурсы удобрений, учитывая и разнообразие почвенного покрова и всю совокупность входящих в севооборот культур, их чередование и т. д. Разрешение этой задачи находится вместе с тем в связи с рядом агротехнических, организационно-хозяйственных и других условий; поэтому под системой удобрения в широком смысле слова следует понимать плановую организацию всего комплекса мероприятий по применению органических и минеральных удобрений в хозяйстве, включая сюда, наряду с планом внесения удобрений по полям севооборота, и такие моменты, как организация правильного хранения навоза, организация транспорта, хранения, механизации внесения минеральных удобрений и т. д. Все это имеет важнейшее значение для успешного осуществления химизации социалистического земледелия.

На значение правильной системы удобрения в социалистическом земледелии было со всей отчетливостью указано тов. В. М. Молотовым в докладе на XVIII съезде ВКП(б).

В резолюции XVIII съезда партии перед сельским хозяйством поставлено задание: «Освоить в колхозах и совхозах применение правильной системы органических и минеральных удобрений, обратив особое внимание на рациональное хранение и использование навоза и других местных удобрений, ликвидировать

[1] Эта глава (стр. 519—584) составлена доцентом В. М. Клечковским.

потери минеральных удобрений. Широко внедрить в практику известкование подзолистых и гипсование солонцевых почв».

Это задание обязывает работников социалистического земледелия уделить самое серьезное внимание применению удобрений и введению правильной системы удобрения в наших колхозах и совхозах.

Само собою разумеется, что система применения удобрений должна представлять часть общего плана агротехнических мероприятий, целью которых является поднятие урожаев на социалистических полях и систематическое повышение плодородия почв, и должна быть органически связана с другими частями этого плана (севооборот, система обработки и т. д.).

В последующем изложении мы будем касаться вопросов, связанных преимущественно с разработкой планов применения удобрений в севообороте, разбирая их на примерах типичных севооборотов различного направления. Но, как уже было сказано, наряду с планом применения удобрений в севообороте система удобрения должна предусматривать и другие организационно-хозяйственные моменты. Так, план применения навоза неразрывно связан с планом развития животноводства и мероприятиями по организации хранения навоза; план применения торфа в целях удобрения требует учета организационно-хозяйственных возможностей по его добыче и вывозке; проведение известкования—организации добычи известковых туфов, размола известняка; применение минеральных удобрений—обеспечения их транспорта, хранения, механизации внесения и т. д.

Понятно, что планирование всех этих мероприятий в целом требует тщательной увязки с общим организационно-хозяйственным планом и требует знаний не только в области агрохимии и агротехники, но и в области организации сельского хозяйства.

Общая целевая установка системы удобрения обыкновенно формулируется следующим образом: система удобрения в целом и ее отдельные звенья должны отвечать задачам: 1) выполнения плановых заданий по повышению урожайности и производства с.-х. продуктов, 2) систематического повышения плодородия почв и 3) повышения производительности труда.

Плановые задания по повышению урожайности учитываются прежде всего по отношению к ведущим культурам севооборота, какими, например, являются технические культуры: хлопчатник, сахарная свекла, лен и другие технические культуры в соответствующих севооборотах. Поэтому *применение удобрений под эти культуры имеет очень большое значение в общей системе удобрения специализированных севооборотов*, и особенностям применения удобрений под ведущие технические культуры приходится уделить исключительное внимание.

Вместе с тем система применения удобрений должна предусматривать необходимость выполнения плановых заданий по повышению урожайности *всех культур севооборота*.

Разрешение задачи систематического повышения плодородия почв требует учета свойств почв и роли удобрений как мощного фактора активного воздействия на круговорот веществ в земледелии, на физико-химические и физические свойства почвы, на биологические процессы в ней с тем, чтобы применение удобрений содействовало развитию этих свойств и процессов в направлении повышения плодородия почвы.

В качестве основных путей, с помощью которых разрешаются задачи введения правильной системы применения удобрений, надо указать на следующее:

1. Максимальное использование навоза и всех других местных удобрений, правильная организация хранения навоза, обеспечивающая наилучшее сохранение питательных веществ и повышение размеров накопления и применения местных удобрений.

2. Правильное распределение органических и минеральных удобрений между культурами севооборота, обеспечивающее наиболее высокую эффективность прямого действия удобрений и максимальное использование их последействия в севообороте.

3. Учет особенностей почв и соответствующая дифференцировка плана применения удобрений в зависимости от почвенных условий.

4. Установление наиболее целесообразных способов, сроков внесения, доз и форм удобрений в соответствии с особенностями отдельных культур в целях повышения урожая и его качества и обеспечения максимальной эффективности каждого центнера вносимых удобрений.

ЗНАЧЕНИЕ НАВОЗА (И ДРУГИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ) КАК ОСНОВНОГО ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

Огромнейшая роль навоза в системе удобрения определяется прежде всего значительным удельным весом его в общем балансе азота, фосфора и калия в земледелии (см. сказанное выше, стр. 190). Вместе с тем мы должны еще раз подчеркнуть здесь то обстоятельство, что применение навоза представляет средство *обратного вовлечения в круговорот веществ в хозяйстве* известной части тех элементов, которые *были взяты растениями* ранее из почвы. Кроме того, *таким же путем вовлекается в круговорот вещества в хозяйстве значительное количество азота, связанного клубеньковыми бактериями бобовых.* Далее, питательные вещества, внесенные в почву в виде *минеральных удобрений*, также в какой-то части переходят через растения в конечном счете в корма, подстилку и при внесении навоза снова возвращаются в почву. Поэтому *при наличии постоянных источников прихода питательных веществ* за счет минеральных удобрений и связывания азота бобовыми *применение навоза является средством прогрессивного увеличения количества азота, фосфора и калия, обращающихся в хозяйстве.*

Для того чтобы лучше представить эту роль навоза в системе удобрения, сделаем следующий примерный расчет. Пусть хозяйство ежегодно получает *a* кг калия в виде минеральных удобрений, причем из *a* кг калия, внесенного в почву, в следующему году (через растения, часть которых пойдет в корма и подстилку) переходит в навоз какая-то часть этого калия; пусть эта часть будет равна $a \cdot p$ кг калия. Тогда в следующем году, кроме *a* кг калия, полученного в виде минеральных удобрений, будет повторно внесено с навозом $a \cdot p$ кг калия, полученного в предыдущем году, а всего $(a + a \cdot p)$ кг К. Повторяя подобный расчет для следующих лет, находим, что при ежегодном приходе со стороны *a* кг калия фактически (с учетом оборота его с навозом) каждый год может быть за этот счет внесено:

$$y_n = a\,(1 + p + p^2 + p^3 + \ldots + p^n),$$

где *n*—число лет после начала ежегодного получения количества *a*. Так как в пределе (при большой величине *n*):

$$1 + p + p^2 + p^3 + \ldots + p^n = \frac{1}{1-p},$$

то при ежегодном поступлении со стороны *a* кг К суммарный ежегодный оборот его вместе с навозом может достигать:

$$y = a\left(\frac{1}{1-p}\right),$$

где *p*—та доля калия внесенных удобрений, которая поступает на следующий год в навоз и вносится с ним снова в почву.

Зависимость между величиной *p* и размерами увеличения ежегодного оборота питательных веществ в хозяйстве за счет использования навоза ясна из такого сопоставления:

	$p = 0{,}1$	$p = 0{,}2$	$p = 0{,}3$	$p = 0{,}4$	$p = 0{,}5$
При ежегодном поступлении со стороны *a* кг вместе с навозом будет вноситься $\left(\frac{a}{1-p}\right)$	$1{,}11 \cdot a$	$1{,}25 \cdot a$	$1{,}43 \cdot a$	$1{,}67 \cdot a$	$2{,}00 \cdot a$
В том числе за счет оборота с навозом $\left(a - \frac{a}{1-p}\right)$	$0{,}11 \cdot a$	$0{,}25 \cdot a$	$0{,}43 \cdot a$	$0{,}67 \cdot a$	$1{,}00 \cdot a$

Таким образом, чем больше величина *p*, тем больше возможность прогрессивного увеличения оборота питательных веществ в хозяйстве за счет применения навоза при постоянном поступлении их со стороны. Понятно, что величина *p* всегда меньше единицы. Она будет тем меньше, чем больше потери данного элемента (при хранении навоза и др.) и чем большая доля его отчуждается в виде технических и других продуктов. Сказанное здесь в виде примера в калии приложимо и к другим питательным веществам.

Более полное использование в хозяйстве кормовых ресурсов и подстилочного материала для получения навоза, лучшая организация хранения и применения навоза повышают долю питательных веществ, вовлекаемых снова в круговорот их в хозяйстве, и увеличивают значение коэфициента *p* в приведенной выше формуле.

Аналогичным образом организация использования фекальных удобрений и других отходов хозяйства в виде компостов и пр., в свою очередь, способствует прогрессивному увеличению общего оборота питательных веществ в хозяйстве, а следовательно, и прогрессивному повышению урожаев и плодородия почв.

Роль навоза в общем балансе питательных веществ в хозяйстве состоит, наконец, и в том, что при внесении навоза в почву полей вносятся питательные вещества, взятые растениями из почвы других угодий, а именно с сенокосов и пастбищ.

Все сказанное заставляет признать, что *необходимым условием правильной системы применения удобрений должна быть наилучшая организация использования навоза.* Это условие ни в коей мере не отпадает, но становится, наоборот, особенно важным при увеличении снабжения минеральными удобрениями и введения правильных севооборотов. Только в том случае, если организовано наиболее полное использование навоза и всевозможных отходов хозяйства в целях удобрения, питательные вещества, получаемые хозяйством в виде минеральных удобрений, и азот, связанный клубеньковыми бактериями бобовых, будут максимально эффективны в смысле влияния их на общий баланс питательных веществ в хозяйстве.

Помимо сказанного, большая роль навоза и других органических удобрений в общей системе удобрения определяется специфическим действием их на физико-химические и физические свойства почвы, обогащением почвы органическим веществом, влиянием на микробиологические процессы и т. д., о чем подробно говорилось в главе «Полные удобрения органического происхождения».

В связи с большим значением навоза как важнейшего элемента системы удобрения севооборота при разработке правильной системы применения удобрений следует обращать особое внимание на то, какие мероприятия необходимо осуществить для того, чтобы добиться максимального увеличения навозонакопления и обеспечить наиболее правильное его применение.

Обеспеченность хозяйства навозом изменяется в зависимости от размеров животноводства, а эти размеры, в свою очередь, зависят и от количества получаемых хозяйством кормов как со специальных угодий (луга, пастбища), так и в полевых и кормовых севооборотах[1]. Нормы выхода навоза зависят еще и от продолжительности стойлового периода, а также от количества применяемой подстилки, способа хранения навоза и т. д. (см. стр. 440).

Определив возможные размеры навозонакопления в целях составления плана применения удобрений в севообороте, прежде всего необходимо принять во внимание наличное поголовье скота и план увеличения поголовья в дальнейшем. Затем, в соответствии с намечаемыми мероприятиями по увеличению накопления навоза, устанавливаются плановые нормы выхода навоза от общественного стада и (для колхозов) нормы сдачи навоза колхозниками от скота личного пользования.

Тщательно разработанный план мероприятий по организации накопления навоза может служить основой для планирования применения навоза под соответствующие культуры, доз и времени его внесения и размеров ежегодно удобряемых навозом площадей. Как правило, получаемого в хозяйстве навоза

[1] Количество кормов зависит и от состава культур севооборота и от уровня урожаев. При повышении урожаев возрастает обеспеченность кормовыми ресурсами, подстилкой, и увеличиваются возможные размеры роста поголовья скота и навозонакопления.

хватает для удобрения не более одного-двух полей полевого севооборота, а в ряде случаев навоза бывает недостаточно и для удобрения полностью одного поля. Вопрос о том, под какие культуры, в каком поле севооборота лучше всего использовать навозное удобрение, приобретает в связи с этим первостепенное значение при разработке правильной системы удобрения. При решении этого вопроса приходится принимать во внимание и различную отзывчивость на удобрение навозом разных культур, и то, как будет обеспечено использование в севообороте последействия навоза на следующие культуры, и, наконец, ряд соображений организационно-хозяйственного порядка (так как вывозка и заделка навоза требуют довольно значительного количества тяговой и рабочей силы).

При наличии в колхозе (совхозе) нескольких севооборотов (например, кроме полевого, севооборота конопляного, овощного, кормового) следует соответственно определить, какое количество навоза должно быть выделено для внесения в каждом из севооборотов.

Во многих случаях очень большая роль в увеличении размеров накопления навоза и применения органических удобрений принадлежит использованию в этих целях торфа. Поэтому учет возможностей в отношении добычи и использования торфа и составление плана соответствующих мероприятий также должны составлять один из существенных элементов разработки системы применения удобрений в районах распространения залежей торфа.

Аналогичным образом должны быть учтены все возможности и намечен план мероприятий по использованию навозной жижи, торфо-фекальных (и других) компостов и прочих местных органических удобрений.

Практика передовых колхозов показывает, что при должном внимании к использованию навоза и других местных органических удобрений можно добиться весьма значительного увеличения обеспеченности этими видами удобрений.

Наоборот, при отсутствии хорошей организации навозного хозяйства не выполняются и те нормы, которые обычно служат для расчетов навозообеспеченности.

Так, например, при обследовании 165 колхозов в районах свеклосеяния (в Киевской, Винницкой, Каменец-Подольской, Житомирской и Курской областях), проведенном Институтом свекловичного полеводства, оказалось, что в 107 колхозах фактическое количество применяемого навоза было выше рассчитанного по обычным нормам выхода навоза, причем в 18 колхозах фактическое накопление навоза составляло свыше 140% от вычисленного по средним нормам. В то же время в 58 колхозах из 165 фактическое накопление навоза было меньше вычисленного по нормам.

По данным того же института, при другом обследовании 126 колхозов районов свеклосеяния оказалось, что 51 из них совсем не используют навоз от скота личного пользования колхозников, тогда как в 16 колхозах более 50% навоза, получаемого от скота личного пользования колхозников, использовалось в общественном хозяйстве.

Среди других органических удобрений особое положение в системе применения удобрений занимает сидерация (зеленое удобрение). Зеленое удобрение представляет одновременно и элемент системы удобрения и элемент самого севооборота. Наряду с сочетанием в севообороте зеленого удобрения и других органических удобрений в порядке чередования следует иметь в виду возможность и такой системы, когда зеленое удобрение применяется на одной части поля севооборота, а навоз—на другой. Такой путь может быть с успехом использован при недостатке навоза, например, для удобрения всей площади парового поля и при стремлении обеспечить хорошей заправкой органическими удобрениями всю площадь этого поля. Подобное решение может преследовать одновременно задачу более рациональной организации работ; так, на части полей севооборота, расположенных ближе к животноводческой ферме и колхозной усадьбе, можно планировать более интенсивное применение навозного удобрения, а на участках отдаленных, требующих возки навоза на большое расстояние, применять сидеральную систему, уменьшая соответственно нормы или совсем не внося здесь навоза и пополняя недостаток фосфора и калия минеральными удобрениями.

Кроме учета этих моментов, при размещении зеленого удобрения, навоза, торфа и других органических удобрений в полях севооборота должны быть приняты во внимание и особенности почвенного покрова, оказывающие, с одной стороны, влияние на успешность возделывания сидеральных культур и, с другой стороны, обусловливающие необходимость большей или меньшей заправки почвы органическими удобрениями.

Применение зеленого удобрения требует должной увязки с системой удобрения в целом в части внесения минеральных удобрений (фосфорнокислых и калийных) под культуры, высеваемые для сидерации, или обеспечения их удобренными предшественниками, а также внесения фосфорнокислых и калийных удобрений при запашке (или после запашки) зеленого удобрения.

Планирование применения зеленого удобрения, понятно, должно предусматривать осуществление соответствующих мер для производства необходимого количества семенного материала сидерационных культур.

СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ И СЕВООБОРОТ

Между системой удобрения и севооборотом существует тесная связь. Так, наличие в севообороте бобовых культур сказывается на азотном балансе хозяйства, а применение зеленого удобрения, как уже было сказано, представляет одновременно и часть системы удобрения и элемент самого севооборота. Действие удобрений в первый год зависит от того, по какому предшественнику высевается удобряемая культура, а последействие удобрений зависит, в свою очередь, от того, какие растения следуют в севообороте после удобряемой культуры.

Поэтому план применения удобрений в севообороте представляет ту основу, без которой невозможно построение правильной системы удобрения.

План применения удобрений в севообороте является не только основным, но и наиболее специфическим содержанием системы удобрения, требующим специального решения в каждом отдельном случае, применительно к особенностям того или другого севооборота, почвенно-климатическим и организационно-хозяйственным условиям хозяйства. В связи с этим понятие системы удобрения часто употребляют в более узком смысле этого слова, называя системой удобрения план применения удобрений в севообороте[1].

Правильное размещение удобрений в севообороте должно прежде всего предусматривать задачу выполнения и перевыполнения плановых заданий по повышению урожайности.

В известной степени плановые задания учитываются при планировании производства минеральных удобрений и снабжения ими областей, районов и т. д.

Однако существенное значение в этом отношении имеет и размещение удобрений в отдельных, конкретных севооборотах как с точки зрения планирования непосредственного внесения удобрений (органических и минеральных) под ведущие культуры севооборота, так и обеспечения этих культур соответствующим образом удобренными предшественниками и, следовательно, использованием *последействия удобрений* для повышения урожайности ведущих культур.

В качестве примеров можно указать на значение в свекловичных севооборотах *удобренной озими* как предшественника для сахарной свеклы, значение последействия органических удобрений, вносимых в пару, и фосфатно-калийного удобрения под клевер, предшествующий льну, для повышения урожайности льна в льняных севооборотах и т. п.

Не останавливаясь пока подробнее на этих отдельных примерах, отметим, что задача повышения урожайности ведущих культур севооборота в системе

[1] Для уточнения терминологии можно рекомендовать следующее: под «системой удобрения» в широком смысле слова понимать общий план организационно-хозяйственных мероприятий по удобрениям; в тех же случаях, когда речь идет о системе удобрения в более узком смысле слова, т. е. о плане размещения удобрений в севообороте, употреблять термин «система удобрения севооборота».

удобрения решается не только планированием непосредственного удобрения под эти культуры, но и всем планом размещения удобрений в севообороте. Это тем более важно, что задания по повышению урожайности не ограничиваются какой-либо одной культурой (хотя бы и ведущей), но распространяются и на другие культуры севооборота.

В частности, особое внимание должно быть уделено с этой точки зрения обеспечению повышения урожайности зерновых не только в севооборотах специально зернового направления, но и там, где зерновые входят в севооборот наряду с техническими культурами. В последнем случае согласованное решение задачи повышения урожаев зерновых и технических культур должно предусматривать возможность использования в системе удобрения следующих путей:

1. Непосредственное удобрение под техническую культуру с использованием последействия удобрений на зерновые.

2. Непосредственное удобрение под зерновые с использованием последействия удобрений технической культурой.

3. Непосредственное удобрение и под технические и под главнейшие зерновые культуры.

Понятно, что все эти пути могут быть осуществлены не только самостоятельно, но и в сочетании друг с другом. Уже из этих примеров видно, насколько тесно переплетаются вопросы системы удобрения и чередования культур, т. е. построение самого севооборота. При этом надо иметь в виду, что последействие удобрений очень часто не ограничивается одним годом, а оказывает свое влияние в течение ряда лет.

Особенно большое значение длительное последействие имеет при внесении таких удобрений, как фосфоритная мука (в отчасти и другие фосфаты), известь, навоз.

В случае применения известкования особенно ярко выступает необходимость учета состава культур севооборота и отношения их к реакции почвы и к извести. Вместе с тем отношение всех культур севооборота к реакции почвы должно учитываться и при систематическом применении таких удобрений (как, например, сульфат аммония), которые способны вызывать подкисление почвы.

Помимо последействия удобрений, следует учитывать влияние самих предшественников на эффективность удобрений. Среди таких предшественников надо прежде всего обратить внимание на культуру клевера, люцерны и других бобовых.

Значение клевера, люцерны и других бобовых с точки зрения системы удобрения севооборота прежде всего состоит в том, что культура этих растений оказывает существенное влияние на *общий баланс азота* в хозяйстве. Азот, связанный клубеньковыми бактериями бобовых, частью попадает через корма в навоз, частью же остается с корневыми остатками в почве. После вспашки пласта в почве накопляются за счет разложения этих корневых остатков усвояемые формы азота.

Это обстоятельство соответствующим образом сказывается на эффективности удобрений, вносимых под культуры, идущие в севообороте вслед за бобовыми. Повышенная обеспеченность азотом создает благоприятный фон для действия фосфорных и калийных удобрений, потребность же в азоте может быть относительно снижена.

Заметим, что влияние таких предшественников в сильной степени зависит от того, насколько хороши были условия для роста и накопления азота клевером или другими бобовыми. При хорошем развитии бобовых растений обогащение почвы азотом корневых остатков будет больше, чем при плохом их урожае. Поэтому в конкретной обстановке приходится учитывать не только характер предшественника, но и его состояние (например, клеверище после хорошего урожая клевера дает больше усвояемого азота для следующей за ним культуры, чем после плохо развитого клевера).

Положительная роль бобовых (как и вообще травяного клина) в севообороте, конечно, не ограничивается только влиянием на азотный баланс. Здесь

имеет известное значение и обогащение почвы органическим веществом, улучшение физико-химических свойств и структуры почв. На почвах, склонных к засолению, в особенности в условиях орошения, посевы люцерны (или донника) являются также средством борьбы с засолением. Все это, понятно, надо учитывать при разработке плана применения удобрений в севообороте.

Так, обеспечение травяного клина хорошо удобренными предшественниками и непосредственное внесение удобрений под травы, создавая лучшие условия для их роста, могут усиливать положительную роль этого клина в севообороте, что имеет существенное значение для повышения плодородия почв и поднятия урожайности всех культур севооборота.

Поэтому если планирование применения удобрений (в особенности минеральных) под технические и зерновые культуры прежде всего должно предусматривать задачу выполнения (и перевыполнения) плановых заданий по урожайности главным образом тех культур, под которые вносится удобрение, то обеспечение удобрениями (или удобренными предшественниками) клевера и других трав в значительной мере направлено и на разрешение задачи систематического повышения плодородия почвы и поднятия урожайности всех культур севооборота.

Далее в качестве примера, иллюстрирующего зависимость действия удобрений от места культуры в севообороте, укажем на значение в этом отношении чистых и занятых паров.

В чистых парах, особенно на почвах богатых (каковы, например, многие черноземы), происходит в той или иной мере накопление усвояемых форм питательных веществ, тогда как после занятого пара чаще всего почвы бывают обедняны ими; *в особенности это относится к усвояемым формам азота в почве.*

Вот некоторые примеры, показывающие влияние парозанимающих культур на содержание в почве нитратного азота:

Опытные станции, почвы и сроки наблюдения	Содержание нитратного азота в почве (в миллиграммах на 1 кг почвы)	
	Чистый пар (разлог)	Занятой или виноовсяный пар
Вятская оп. станция (Кировская область), тяжелая подзолистая почва		
август	27,8	10,9
сентябрь	18,5	11,0
Бежицкая оп. станция (УССР), оподзоленный чернозем		
август	22,0	8,4
сентябрь	26,0	16,7
Чарторийская оп. станция (УССР), сильно выщелоченный чернозем		
август	12,1	7,2
сентябрь	28,0	12,1
Белоцерковское оп. поле (УССР), выщелоченный чернозем		
август	30,1	14,7
сентябрь	24,6	13,7

Эти различия в режиме азота накладывают определенный отпечаток на эффективность удобрений под озимые культуры, идущие после чистого или занятого пара.

Чаще всего потребность в азоте после занятого пара бывает повышенной по сравнению с чистыми парами. С другой стороны, *если азот не вносится, то действие фосфатов* (или *фосфатно-калийного удобрения*) *может быть более сильным после чистого пара*, чем после занятого, вследствие накопления усвояемых форм азота в чистом пару и создания лучшего фона для проявления действия фосфатов.

Сказанное о занятых парах относится и к таким случаям, когда, например, озимые высеваются после провых или озимых же зерновых. Здесь также бывает относительно понижено содержание усвояемых питательных веществ в почве, что может быть компенсировано внесением удобрений. Но удобрения не могут компенсировать таких недостатков подобного рода предшественников, как засоренность поля, пониженная влажность почвы и т. п. Поэтому при оценке различных видов пара и других предшественников следует иметь в виду и эту сторону дела, так как чем лучше общий агротехнический фон, создаваемый данным предшественником (чем чище поле от сорняков, чем лучше обработана почва, сохранена влага и т. д.), тем выше может быть и действие удобрений.

Состав культур севооборота накладывает определенный отпечаток на общий баланс питательных веществ в хозяйстве и на потребность во внесении того или другого количества и соотношения удобрений для систематического повышения плодородия почв.

Помимо того, что было сказано в этом отношении о роли бобовых растений в обогащении почвы азотом, надо иметь в виду различия в выносе питательных веществ разными культурами. Так, наличие значительного процента площади, занятой в севообороте корнеплодами, картофелем, подсолнечником, сильно повышает общий вынос калия из почвы в течение ротации севооборота.

В связи с тем, что соотношение N : P : K в общем выносе питательных веществ урожаями за ротацию в сильнейшей степени зависит от состава культур севооборота, потребность в количестве (и соотношении) удобрений, необходимых для обеспечения неуклонного роста урожайности всех культур и систематического повышения плодородия почв, будет неодинаковой для различных севооборотов.

Понятно, что абсолютные размеры выноса N, P и K будут зависеть от уровня средней урожайности всех культур севооборота. Поэтому по мере роста урожаев, в связи с улучшением всего комплекса агротехнических мероприятий, возрастает и необходимость применения более интенсивной системы удобрения.

Значение севооборота с точки зрения системы удобрения состоит еще и в следующем: в зависимости от состава культур севооборота находится та или иная обеспеченность хозяйства кормовыми ресурсами, а следовательно, и размеры навозонакопления.

Огромное значение в этом отношении опять-таки принадлежит клеверу и другим кормовым растениям, введение которых в севооборот увеличивает кормовые ресурсы, а тем самым и возможные размеры накопления навоза.

ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ И СИСТЕМА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Известно, что действие удобрений в сильной степени зависит от свойств почв. Значение почвенных особенностей в отношении влияния их на эффективность удобрений складывается из ряда разнообразных факторов, среди которых надо отметить следующие:

1. Различная обеспеченность усвояемыми формами питательных веществ для растений обусловливает неодинаковое на разных почвах значение повышения (с помощью внесения удобрений) уровня питания растений теми или другими элементами.

2. Процессы взаимодействия почвы с удобрениями и изменения их, связанные с микробиологической деятельностью в почве, протекающие неодинаково на разных почвах, обусловливают различную доступность для растений питательных веществ, вносимых с удобрениями.

3. Изменения под влиянием удобрений таких свойств почвы, как реакция, степень насыщенности основаниями, содержание подвижного алюминия и т. п., происходят по-разному на различных почвах и оказывают неодинаковое влияние на действие удобрений в зависимости от свойств почвы.

4. Различия в физических свойствах почвы, ее водном и воздушном режиме, как и вообще различия в культурном состоянии почвы, оказывая огромное влияние на общие условия развития растений, имеют весьма существенное значение и для эффективности удобрений.

Для того чтобы от применения удобрений получить наибольший эффект, необходимо соответствующим образом дифференцировать систему применения удобрений в зависимости от почвенных условий. Основанием для такой дифференцировки служат почвенные исследования и соответствующим образом составленные карты почвенного покрова как областей и районов в целом, так и отдельных хозяйств.

Необходимость почвенных исследований и почвенных карт особенно резко выступает при планировании и осуществлении таких элементов системы удобрения, как применение фосфоритной муки, известкование кислых почв и гипсование солонцевых почв. Однако для правильного, дифференцированного в зависимости от почвенных условий, применения и других удобрений—установления доз, соотношений, сроков и способов внесения—немалое значение имеет знание особенностей почвенного покрова и агропроизводственная характеристика почв.

Так, в зависимости от кислотности, степени насыщенности и буферности почв могут быть более правильно установлены желательные формы удобрений и их соотношение. В зависимости от механического состава почвы и подстилающей породы, обусловливающих различную поглотительную способность и водопроницаемость почв, могут быть более правильно установлены сроки внесения удобрений. Определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия может быть в некоторой степени использовано для дифференцировки доз и соотношений азотистых, фосфорнокислых и калийных удобрений, вносимых под одну и ту же культуру, в одном и том же поле севооборота, но на участках поля, различающихся по почвенным условиям.

Различия в общем культурном состоянии почв могут служить основанием для составления соответствующим образом дифференцированного плана проведения мероприятий по улучшению их культурного состояния как с помощью удобрений (в особенности органических—навоза, торфа, зеленого удобрения, а также заправки фосфоритной мукой, известкования и т. д.), так и сочетания удобрений с другими мероприятиями (углубление пахотного горизонта, мелиоративные мероприятия и т.д.).

Среди свойств почв и соответствующих определений этих свойств, имеющих значение для дифференцировки приемов удобрения, есть такие, которые, будучи установлены однажды, не подвергаются резким изменениям в течение продолжительного времени.

Сюда относятся: генетическая характеристика почвенного типа и почвенной разности, механический состав почвы, свойства подстилающих пород, расположение почв в отношении рельефа и т. п. Раз составленная почвенная карта в отношении этих показателей свойств почв может служить продолжительное время, нуждаясь лишь в коррективах в связи с уточнением границ почвенных разностей в том или другом масштабе. Более динамичны физико-химические свойства почв (поглотительная способность, состав поглощенных катионов, реакция почв, засоленность и т. п.), которые подвержены изменениям под влиянием применения удобрений, а также и других агротехнических и мелиоративных мероприятий.

Сказанное относится и к общему культурному состоянию почв, которое подвергается значительным изменениям под влиянием тех же факторов.

В связи с этим в отношении физико-химических свойств почв необходим периодический агропроизводственный контроль, позволяющий более правильно устанавливать план дальнейших мероприятий по улучшению плодородия почв, включая соответствующие элементы системы удобрения.

Наконец, еще более динамичными являются такие свойства почв, как наличие большего или меньшего содержания в них подвижных питательных веществ.

Нельзя отрицать существования известной связи между генетическими почвенными типами, механическим составом почв, общим содержанием в них

необходимых для питания растений элементов и обеспеченностью растений усвояемыми формами этих элементов. Так, например, существуют довольно резкие различия в обеспеченности растений усвояемыми формами калия между почвами торфяными и легкими песчаными почвами, с одной стороны, и более тяжелыми по механическому составу минеральными почвами—с другой. Определенные различия в обеспеченности растений усвояемыми формами фосфора, азота и калия установлены для таких, например, почв, как черноземы (обыкновенные, мощные и выщелоченные) и серые лесные земли в районах свекловичного полеводства УССР.

Заметно различаются по соотношению между усвояемыми для растений формами азота и фосфора сероземы и темноцветные луговые почвы в Средней Азии. Эти и подобные им различия между почвами в отношении питательного режима, установленные в значительной мере путем полевых опытов с удобрениями, несомненно, имеют немаловажное значение в организации более правильного использования удобрений. Однако надо иметь в виду, что содержание в почве подвижных, усвояемых для растений питательных веществ подвергается значительным изменениям под влиянием применения удобрений, различного темпа использования питательных веществ в зависимости от состава культур севооборота и высоты получаемых урожаев и под влиянием таких факторов, как обработка, орошение и др., воздействующих на процессы мобилизации и иммобилизации питательных веществ в почве в связи с созданием различных условий для микробиологической деятельности.

Поэтому содержание подвижных питательных веществ в почве и обеспеченность ими растений не только могут заметно измениться за сравнительно короткие промежутки времени, но и в пространственном распределении часто обнаруживают значительную пестроту. Отсюда большое значение приобретают разнообразные способы учета этих изменяющихся во времени и пространстве свойств почвы в целях наиболее эффективного применения удобрений, представляющих главный фактор активного воздействия именно на условия питания растений, на питательный режим почвы.

Одним из путей в этом направлении является использование методов агрохимического анализа почв в сочетании с полевыми опытами по изучению действия удобрений, учетом эффективности удобрений в производственных условиях и увязанными с составлением и уточнением почвенных карт.

В настоящее время является общепризнанным, что для правильного обоснования дифференцированных в зависимости от почвенных условий приемов удобрения нельзя основываться только на одном каком-либо из перечисленных методов, а необходимо комплексное использование и тех и других. Только при этом условии можно с должной уверенностью подойти к практическому разрешению задачи наиболее эффективного использования в сельском хозяйстве всех имеющихся удобрительных ресурсов.

Стахановцы социалистического земледелия, передовые колхозы уделяют большое внимание тщательному учету почвенных особенностей для наилучшего использования удобрений.

Так, например, в плане полевых работ на 1940 г. передового колхоза им. Сталина, Черниховского района, Житомирской области [1], содержится такое характерное указание: «Удобрение является мощным рычагом подъема урожайности всех культур. Об этом много говорятся в специальной литературе, в этом убедил нас и собственный опыт. Подошли мы к этому делу конкретно, учитывая особенности местных почв. И здесь нужно отметить инициативу заведующего хатой-лабораторией, который помог изучить и применить правильную систему внесения удобрений. За последние годы было проведено много опытов с удобрениями под лен, рожь, пшеницу и другие культуры. Благодаря этому мы знаем теперь, как лучше использовать их, в каких дозах и при каком сочетании они дают наибольший эффект».

Стахановцы Купцов, Молякова и др. в своей книге «Как получить не менее тонны льноволокна с гектара» пишут:

«Надо научиться по-настоящему использовать каждый килограмм удобрений. Некоторый опыт мы накопили и пришли к выводу, что до тех пор, пока детально не будут изучены наши поля, трудно строго по-научному использовать каждый килограмм удобрений».

[1] Газета «Социалистическое земледелие», № 62, 1940 г.

Большая роль в организации и проведении исследований почв с целью более правильного использования удобрений в зависимости от почвенных особенностей принадлежит агрохимическим лабораториям МТС и колхозным хатам-лабораториям[1].

Отмечая роль и значение учета почвенных условий для правильной организации применения удобрений, необходимо вместе с тем иметь в виду, что действие удобрений зависит не только от одних почвенных условий. Выше уже говорилось о значении в этом отношении севооборота и подчеркивалась роль правильного размещения органических и минеральных удобрений в севообороте. Учет же почвенных особенностей того или другого поля должен помочь более правильно намечать осуществление общего плана применения удобрений в севообороте и выбрать наиболее целесообразные дозы, формы, сроки и способы внесения удобрений в соответствии с конкретными почвенными условиями каждого хозяйства.

О ДОЗАХ, СРОКАХ И СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СВЯЗИ С АГРОТЕХНИКОЙ

О ДОЗАХ УДОБРЕНИЙ

Разрешение вопроса о дозах удобрений под ту или иную культуру имеет большое значение при осуществлении правильной системы удобрения. С точки зрения наиболее эффективного использования каждой единицы удобрения *надо стремиться к тому, чтобы, применяя сравнительно невысокие, умеренные дозы удобрений, получать возможно большую прибавку урожаев.* Это может быть достигнуто путем повышения действия удобрений в результате применения соответствующих способов и сроков их внесения на основе тщательного изучения как особенностей возделываемых культур, так и условий внешней среды.

Зная, какими именно элементами (в форме каких соединений, в какие сроки, в каком соотношении и т. д.) необходимо повысить снабжение растений *на данной почве* для формирования высокого урожая *данной культуры*, и применяя соответствующие этим конкретным условиям приемы внесения удобрений, надо добиваться высокого эффекта и от сравнительно умеренных доз удобрений.

Более высокое действие удобрений на урожай имеет место в тех случаях, когда растения лучше обеспечены всеми остальными условиями, необходимыми для их нормального роста и развития; обеспеченность влагой, отсутствие сорной растительности, своевременное проведение обработки почвы, посева и всех работ по уходу за растениями создают хорошие условия и для получения высокого эффекта от удобрений.

Поэтому действие удобрений, как правило, бывает более сильным в сочетании с высококачественной агротехникой. На фоне высокой агротехники даже сравнительно небольшие дозы удобрений могут быть весьма эффективными, тогда как при низком уровне агротехники и повышенные дозы удобрений часто не дают ожидаемых результатов.

С другой стороны, благоприятные для формирования высокого урожая условия, создаваемые хорошей обработкой почвы, применением поливов (или снегозадержанием), своевременным выполнением всех работ по подготовке почвы, посеву и уходу за растениями, применением высококачественного посевного материала и т. д., а также благоприятные для развития данной культуры

[1] Большой опыт в этом отношении имеют агрохимические лаборатории МТС районов льноводства. Так, например, в Калининской области «каждое молниновское звено сдает в агрохимическую лабораторию образец почвы своего участка и получает соответствующую рекомендацию о применении удобрений. По большинству районов Калининской области каждая агрохимическая лаборатория ежегодно обслуживает анализами почв от 300 до 500 стахановских звеньев. Ивановская агрохимическая лаборатория, Ярославской области, в течение 4 лет обслуживает анализами почв около 500 стахановских звеньев» (Е. Шмыгина. Агрохимические лаборатории МТС и перспектива их развития. «Химизация социалистического земледелия», № 1, 1940 г.).

климатические условия могут быть не использованы в полной мере, если растения ощущают недостаток в снабжении питательными веществами, необходимыми в большом количестве для образования высокого урожая. В таких условиях бывает целесообразно применение повышенных доз удобрений, способствующих максимальному использованию всех потенциальных возможностей для формирования высокого урожая.

Для иллюстрации высказанного положения приведем здесь пример, показывающий зависимость действия разных доз удобрений от сочетания удобрения и различного снабжения растений водой путем поливов (из материалов, представленных на ВСХВ).

В одном из опытов с хлопчатником, проведенном на Ак-Кавакской опытной станции (Полторацкий и Харьков), изучалось действие удобрения в зависимости от числа поливов. Результаты были получены такие:

Схема полива[1]	Урожай хлопка-сырца (в центнерах с 1 га)		
	Без удобрений	$N_{80}P_{80}$	$N_{140}P_{140}$
1—2—0	24,6	30,6	36,0
2—6—1	24,8	40,6	46,9

Прибавки от удобрений, в зависимости от применявшейся схемы полива, изменялись в этом опыте так:

Схема полива	Прибавки хлопка-сырца (в центнерах на 1 га) от удобрений	
	$N_{80}P_{80}$	$N_{140}P_{140}$
1—2—0	6,0	11,4
2—6—1	15,8	22,1

Таким образом, на фоне более частых поливов действие одних и тех же доз удобрений было примерно в два раза более сильным, чем при меньшем числе поливов. С другой стороны, в зависимости от удобрений изменялась и величина прибавки от увеличения числа поливов. Это можно видеть из такого сопоставления:

Удобрение	Прибавка урожая хлопка-сырца (в центнерах на 1 га) от увеличения числа поливов (Схема 2—6—1 против 1—2—0)
Без удобрений	0,2
$N_{80}P_{80}$	10,0
$N_{140}P_{140}$	10,9

Аналогичные данные относительно повышения урожая от удобрений и от увеличения числа поливов при их сочетании получены, например, в опыте Ершовского опытного пункта с яровой пшеницей в 1938 г.[2].

Дозы удобрений (в килограммах на 1 га)			Урожай яровой пшеницы (в центнерах с 1 га)	
N	P_2O_5	K_2O	3 полива	5 поливов
50	75	30	31,5	39,5
80	110	50	32,4	53,0
140	190	90	33,5	53,5

Как видно, на фоне трех поливов прибавка от увеличения доз удобрений составляла всего 2 ц пшеницы на гектар, тогда как на фоне пяти поливов от такого

[1] Первая цифра показывает число поливов за время от посева до цветения, вторая—от цветения до начала созревания, третья—после начала раскрывания коробочек.

[2] Б. Чижов. Удобрение при орошении в Заволжье. «Социалистическое зерновое хозяйство», № 1, 1940 г.

же увеличения доз (140—190—90 против 50—75—30) урожай пшеницы повысился на 14 ц с гектара. Прибавка же от увеличения числа поливов при невысоких дозах удобрений составляла 8 ц, а при втрое более высоких дозах удобрений была равна 20 ц на гектар.

Следовательно, если, с одной стороны, действие удобрений повышается под влиянием создания лучших условий развития растений путем ли поливов или других агротехнических мероприятий, то, с другой стороны, применение удобрений, обеспечивая растения соответствующими условиями питания, повышает эффективность остальных агротехнических мер, направленных на лучшее снабжение растений влагой и на другие факторы.

Поэтому при более высоком уровне агротехники могут быть с успехом использованы повышенные дозы удобрений, такие дозы, которые при других условиях оказываются излишними. Так, например, в приведенном выше опыте с яровой пшеницей при увеличении доз удобрений с 50 кг N до 80 кг N на гектар (и соответственном увеличении доз P и K) дополнительная прибавка урожая, отнесенная к 1 кг азота удобрений, составляла при трех поливах всего 3 кг, а при пяти поливах—11,7 кг на 1 кг азота.

Таким образом, вопрос о целесообразных дозах удобрений не может решаться в отрыве от конкретных хозяйственных и агротехнических условий. В общем не можно сказать, что более высокие дозы удобрений могут вноситься только при условии высококачественного агротехнического фона, когда растения предъявляют бо́льшие требования к снабжению питательными веществами вследствие лучшего обеспечения всеми прочими условиями, необходимыми для формирования высокого урожая.

Практика стахановцев социалистического земледелия, с успехом применяющих в сочетании со всем комплексом высокой агротехники также и повышенные дозы удобрений и получающих при этом рекордные урожаи, блестящим образом подтверждает это положение.

Существенное значение для более правильного установления доз удобрений под ту или иную культуру (при определенных почвенных и агротехнических условиях) имеет знание имеющихся опытных данных о действии удобрений и существующей практики применения удобрений в передовых колхозах и стахановских звеньях. Кроме того, исключительно большое значение имеет организация учета действия удобрений в производственных условиях и дальнейшее развертывание опытной работы с удобрениями, в проведении которой принимают участие и агрохимические лаборатории МТС и колхозные хаты-лаборатории. Организация широкой, массовой опытной работы должна быть необходимым условием для разработки и уточнения дифференцированной, применительно к конкретным условиям данного района, данного хозяйства, системы удобрений как в отношении доз, так и способов и сроков внесения удобрений.

Необходимость такой опытной работы особенно подчеркивается тем обстоятельством, что существующие общие теоретические подходы к обоснованию доз удобрений имеют ряд недостатков и условностей и не могут претендовать на широкое практическое использование без постоянной коррективы и проверки путем прямых опытов.

Основанием для примерного подсчета количества удобрений, необходимых для обеспечения урожая той или другой высоты, прежде всего может служить представление о зависимости между высотой урожая и размерами выноса питательных веществ растениями.

Для ряда культур наблюдается в известных пределах приблизительно прямая пропорциональная зависимость между размерами выноса N, P и K и высотой урожая. Это относится к таким, например, культурам, как корнеплоды, картофель, лен на волокно, конопля и отчасти зерновые. Наряду с этим отмечены и иные отступления от такой пропорциональной зависимости, как это имеет место, например, в случае культуры хлопчатника (см. ниже, стр. 561).

Зная примерные размеры выноса азота, фосфора и калия урожаями определенной высоты, можно приблизительно подсчитать, какое количество этих элементов будет взято растениями с каждого гектара в течение одной ротации севооборота.

Если бы для избежания истощения почвы надо было полностью возвращать в почву все количество взятых из нее урожаями питательных веществ, то тогда дозы удобрений, вносимых в течение ротации севооборота (вместе с азотом корневых остатков бобовых), должны были бы в сумме приблизительно равняться суммарному выносу соответствующих

элементов урожаями. Однако мы знаем теперь, что по отношению к таким элементам, как азот и калий, нет необходимости обязательно полностью возвращать в удобрениях все то количество их, которое выносятся урожаями. Опыт западно-европейских стран сравнительно высокого уровня химизации (как, например, Германия и др.), а также соответствующие подсчеты для отдельных хозяйств[1], показывают, что *без* ущерба для эффективного плодородия почвы допустим некоторый дефицит азота, который, очевидно, покрывается деятельностью свободно живущих азотособирателей (отчасти, азотом осадков); этот дефицит составляет, например, для Германии около 14—15 кг азота в среднем на 1 га в год. За ротацию семи-восьмипольного севооборота это дает довольно внушительную величину в 100—120 кг N на гектар. Понятно, что эту величину нельзя считать каким-то стандартом, применимым для любых почв, и задачей последующей опытной работы должно быть установление различий в этом отношении между разными почвами, в первую очередь в зональном разрезе.

Для калия также установлена возможность довольно значительного превышения выноса калия урожаями над возвратом его в почву в виде удобрений; это превышение покрывается за счет постепенной мобилизации почвенных запасов калия (переход малоусвояемого калия в более подвижные формы), причем отмечена определенная зависимость между механическим составом почвы и фактически наблюдаемыми размерами дефицита калия.

Так, если для Германии в среднем дефицит калия составляет около 21—22 кг K_2O на гектар в среднем в год, то, по подсчетам проф. Кочеткова, для отдельных хозяйств Западной Европы, применяющих много удобрений и получающих высокие урожаи, среднегодовой дефицит калия на песчаной почве был равен 7 кг, а на суглинке достигал 100 кг K_2O на гектар.

Для наших условий А. Л. Масловой[2] была сделана попытка установить дифференцированные нормы использования растениями калия почвы в течение ротации. Не вдаваясь в детали подобного рода расчетов, приведем здесь в виде примера сделанные автором выводы для разных типов почв районов свеклосеяния.

Размеры использования калия почвы в семи-восьмипольном свекловичном севообороте
(по А. Л. Масловой)

Почвы	K_2O (в килограммах на 1 га)	
	За 7—8 лет	В среднем в год
Оподзоленный чернозем (Батыева гора)	175	22—25
Выщелоченный чернозем (Белоцерковское оп. поле)	350	44—50
Слабо выщелоченный чернозем (Сумская оп. станция)	590	74—84
Обыкновенный чернозем (Малые Виски)	825	103—118

Если величина в 100—120 кг K_2O и является, может быть, слишком большой, чтобы допустить отсутствие истощения почвы при таком ежегодном дефиците, то все же надо заключить, что на почвах с большим содержанием калия (в частности, на тяжелых почвах) возможно довольно значительное превышение выноса калия над возвратом его с удобрениями без истощения почвы в течение продолжительного времени.

Несколько иначе обстоит дело с фосфором. Практика показывает, что на старопахотных почвах при систематическом получении высоких урожаев в большинстве случаев необходимо вносить (в течение ротации севооборота) фосфора в удобрениях не меньше, чем выносит его растения; часто при интенсивной химизации количество фосфора, вносимого с удобрениями за ротацию, бывает даже выше, чем вынос его с урожаями за то же время.

Таким образом, в общих чертах можно наметить следующие требования в отношении суммарного количества питательных веществ, вносимых соответственно принятой системе удобрения в течение одной ротации: по фосфору желательно, чтобы оно было не меньше или даже несколько превышало суммарный вынос его урожаями соответствующей высоты, по азоту допустим, наоборот, условный «дефицит», покрываемый приходом за счет азота осадков и деятельности азотобактера, и наибольшее превышение выноса над возвратом возможно в отношении калия (особенно на тяжелых почвах).

Примерные подсчеты баланса азота, фосфора и калия за ротацию севооборота могут быть, таким образом, использованы для оценки системы удобрения (в отношении суммарных доз N, P и K и их соотношений) и для выяснения того, насколько эта система соответствует намечаемому заданию в части получения урожаев определенной высоты и задачам систематического повышения плодородия почв.

Помимо такой общей оценки доз удобрений для севооборота в целом, существуют некоторые способы обоснования так называемых годовых норм удобрений[3], необходимых для

[1] См., например, статью проф. В. Кочеткова в сборнике «Удобрение в севообороте» вып. II, 1936 г., изд. ВИУАА.

[2] См. сборник «Калийные удобрения», ВИУАА, Ленинград, 1938, стр. 82—108.

[3] Т. е. суммарных доз N, P и K, вносимых на 1 га под определенную культуру в данном году.

получения высокого урожая той или другой культуры, такие базирующиеся в основном на данных о размерах выноса питательных веществ растениями в зависимости от высоты урожая.

Чтобы сделать такой расчет, надо было бы знать:

а) какое количество N, P и K необходимо растениям для формирования урожая определенной высоты;

б) сколько из этого количества N, P и K растения могут взять из данной почвы как за счет собственно почвенных ресурсов, так и за счет последействия ранее внесенных удобрений;

в) какой процент из внесенного с тем или другим удобрением количества N, P и K растения могут использовать в данном году (коэффициент использования удобрений).

Если бы эти три величины (a, b и c) были точно известны, то задача разрешалась бы довольно просто, а именно:

$$x \cdot c = (a - b) \cdot 100,$$

где x — искомая доза (или годовая норма) N, P или K в удобрении.

Пример. Пусть для получения 400 ц свеклы растения должны взять 280 кг калия (a). Допустим, что из этого количества растения могут взять из почвы 150 кг (b) за счет мобилизации почвенного калия и последействия ранее внесенных удобрений. Тогда с помощью удобрения надо обеспечить возможность усвоения растениями недостающего количества калия в 130 кг ($a - b$). Если принять, что коэффициент использования калия удобрений составляет 70%, то внести надо не 130 кг калия, а больше, именно столько, чтобы 130 кг составляли 70% от внесенного количества (x). Тогда:

$$x \cdot 70 = 130 \cdot 100, \text{ или } x = \frac{130 \cdot 100}{70} = 185 \text{ кг}.$$

Допустим, что в данном случае под свеклу вносится 20 т навоза, содержащего 120 кг K_2O. Тогда, по сделанному расчету, надо еще внести в виде минеральных удобрений (или вообще других, кроме навоза, удобрений) 65 кг K_2O на гектар. При этом расчете мы принимали, что коэффициент использования калия навоза и калия минеральных удобрений одинаковы. В других случаях, например, при подобном же расчете дозы азота, надо еще иметь в виду различия в коэффициентах использования его из разных удобрений.

Так, если для получения тех же 400 ц свеклы растения должны взять 160 кг азота, из которых за счет азота почвы и последействия ранее внесенных удобрений, допустим, обеспечен вынос 90 кг N, то дальнейший расчет был бы такой. Разница между 160 кг и 90 кг N равна 70 кг N. В 20 т навоза вносится всего 100 кг N, но коэффициент использования азота навоза (в первый год) в среднем близок к 25—30%, следовательно, навоз даст 25—30 кг усвояемого в первый год азота. Недостающее количество 40—45 кг N покрывается минеральным удобрением; если принять коэффициент использования азота минеральных удобрений свеклой равным 90%, то надо внести 45—50 кг N.

Мы не будем здесь вдаваться в дальнейшие подробности подобного рода расчетов, так как практическое значение их весьма ограничено вследствие того, что в действительности необходимые для такого расчета три основные величины (a, b и c) могут быть определены лишь очень приблизительно, а это делает весьма условным и все последующее оперирование с ними. Поэтому в практической работе приходится в значительной мере опираться не столько на эти расчеты, сколько на данные непосредственного опыта, о чем уже было сказано выше.

О СРОКАХ И СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

То или другое количество удобрений, предназначенное под определенную культуру, может быть внесено различными способами, в один или в несколько сроков.

Целесообразность применения соответствующих способов и сроков внесения удобрений определяется особенностями растения, свойствами почвы и самого удобрения, а кроме того, находится в известной связи с системой обработки почвы и ухода за данной культурой.

Так, например, глубина вспашки в тот или другой срок определяет возможность соответствующей глубины заделки удобрений в зависимости от срока их внесения. Система междурядной обработки пропашных культур находится в известной связи с возможностью применения различных способов внесения подкормок во время вегетации растений. Поэтому установление соответствующих способов и сроков внесения удобрений требует тщательной увязки с принятой системой обработки почвы и ухода за растениями.

Разнообразие сроков, способов внесения и заделки удобрений в общем можно представить следующим образом:

Время внесения удобрения (и названия соответствующего приема)	Способы внесения и заделки
1. Внесение удобрений до посева растений *(основное удобрение)*	а) Разбросное внесение удобрений с заделкой плугом на разную глубину (с предплужником или без него) б) Разбросное внесение удобрений с мелкой заделкой культиватором (или бороной) в) Местное внесение удобрений (на дно борозды, лентами и т. п.)
2. Внесение удобрений одновременно с посевом *(рядковое удобрение)*	а) Местное внесение удобрений комбинированной сеялкой в один рядок с семенами б) Местное внесение удобрений комбинированной сеялкой на расстоянии от семян (сбоку, ниже и т. п.)
3. Внесение удобрений после посева растений *(подкормки)*	а) Поверхностное, разбросное внесение удобрений в сухом виде с заделкой боронованием (или без заделки) б) Поверхностное внесение удобрений в растворе в) Местное внесение удобрений на глубину культиватором-растениепитателем в сухом виде г) Местное внесение удобрений на глубину культиватором-растениепитателем в растворе[1]

Глубина заделки, время и способ внесения удобрений оказывают большое влияние на размеры действия удобрений. Пренебрежение этим обстоятельством зачастую приводило к совершенно неправильному представлению как о действии удобрений вообще, так и о действии высоких доз удобрений в частности. В прежней опытной работе все удобрения часто вносились перед посевом пропашных культур вразброс, с мелкой заделкой культиватором или даже только бороной. При таком способе внесения, *особенно в районах с небольшим количеством осадков*, удобрения, находясь в верхнем слое почвы, подвергающемся сильному высыханию во время лета, во многих случаях не могли быть в сколько-нибудь полной мере использованы растениями и дать должный эффект.

Более глубокая заделка удобрений, вносимых до посева, в большинстве случаев позволяет растениям лучше использовать питательные вещества, находящиеся в более влажных слоях почвы, а при внесении повышенных доз при глубокой заделке избегается опасность неблагоприятного влияния избытка удобрения в верхнем слое почвы во время всходов и первых фаз роста.

Если системы обработки почвы, как это имеет место, например, при возделывании сахарной свеклы, такова, что осенью производится глубокая вспашка под зябь, а весной перед посевом—лишь мелкая культивация, то глубокая заделка удобрений возможна при условии внесения их с осени под зяблевую пахоту. Если же весной производится перепашка зяби (как, например, при обработке почвы под картофель в нечерноземной зоне), то более или менее глубокая заделка удобрений, вносимых до посева, возможна и в весенние сроки.

При внесении удобрений до посева (с последующей заделкой плугом) распределение удобрений производится с помощью разбросных туковых сеялок

[1] Кроме перечисленных здесь способов внесения подкормки, существуют и другие, как, например, поверхностное внесение удобрений вручную в междурядья, с последующей заделкой культиватором, мотыгой и т. п., внесение удобрений растворением в воде при поливе и т. д., которые или несовершенны или мало распространены.

(см. рис. 60)[1]. При отсутствии туковой сеялки рассев удобрений производят вручную. Применение туковых сеялок не только сокращает затраты труда на внесение удобрений, но и обеспечивает большую равномерность рассева удобрений, что, понятно, имеет весьма существенное значение.

В зависимости от почвенных условий, принятой системы обработки почвы, особенностей самих растений и свойств удобрений может быть целесообразным внесение одних удобрений под глубокую пахоту и в более ранние сроки, а других—перед посевом, хотя бы и с заделкой на меньшую глубину. В этом отношении не может быть дано одного общего рецепта и в конкретных условиях надо устанавливать, какие сроки и способы внесения удобрений являются лучшими. Ниже, при рассмотрении вопросов удобрения отдельных культур и систем

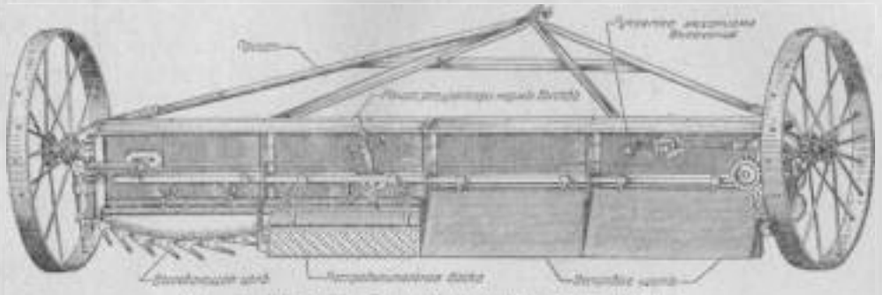


Рис. 60. Разбросная туковая сеялка (тракторная).

применения удобрений в различных севооборотах, будут приведены некоторые данные, показывающие большое значение правильного выбора сроков и способов внесения удобрений.

Повышение действия удобрений может быть достигнуто в некоторых случаях путем местного их внесения, с тем, чтобы предотвратить перемешивание удобрений с большим объемом почвы и уменьшить связывание питательных веществ в менее усвояемые для растений формы (особенно это имеет значение при внесении растворимых фосфатов на почвах, обладающих повышенной способностью к связыванию фосфорной кислоты). Кроме того, местное внесение удобрений может преследовать и другие цели, а именно определенное пространственное расположение удобрения в почве по отношению к корневой системе растений для обеспечения лучшего усвоения питательных веществ в тот или иной срок. Одним из таких приемов, имеющих большое значение в системе применения удобрений, является местное внесение удобрений одновременно с посевом с помощью комбинированных сеялок, высевающих одновременно семена и удобрения в один и тот же рядок или на определенном расстоянии от семян. Такое *рядковое* внесение удобрений имеет главной целью создание лучших условий питания в первые фазы роста растений.

Во избежание повреждения (избытком удобрения) растений во время прорастания и всходов, рядковое удобрение, как правило, вносится в невысоких дозах. Поэтому в большинстве случаев рядковое удобрение не может рассматриваться как замена других способов внесения, а чаще всего представляет дополнение к ним. Однако в некоторых случаях, когда суммарные дозы применяемых удобрений вообще не велики, рядковое удобрение может применяться и самостоятельно, без сочетания с другими способами внесения, с целью повышения коэфициента использования удобрений растениями.

Опыт показывает, что при малых дозах удобрения, внесенные в рядки при посеве, могут быть значительно полнее использованы растениями, чем те же дозы, но внесенные до посева вразброс.

[1] Существуют также приспособления к плугу для внесения удобрений на дно борозды; в этом случае вспашка и внесение удобрения происходит одновременно.

Наиболее распространено в настоящее время применение рядкового удобрения под сахарную свеклу; оно является здесь совершенно обязательным приемом и применяется на всей площади посевов сахарной свеклы. Комбинированная свекловичная сеялка, высевающая одновременно семена и удобрения, изображена на рисунке 61.

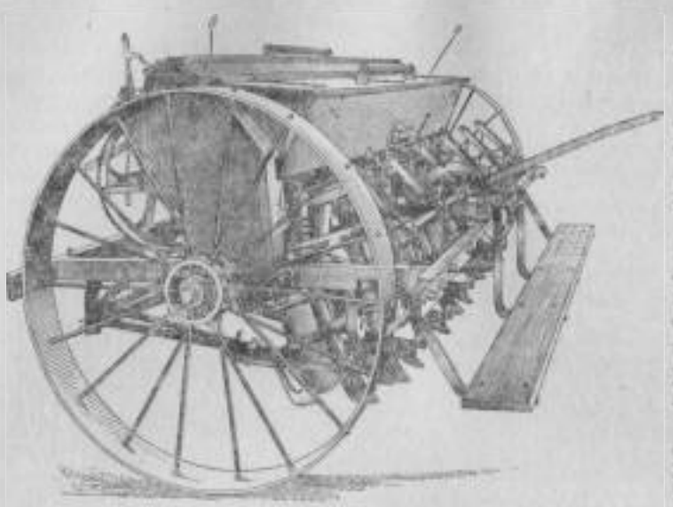


Рис. 61. Комбинированная свекловичная сеялка (а—ящик для семян, е—ящик для удобрения).

Рядковое удобрение сахарной свеклы, как правило, применяется в сочетании с основным удобрением или с основным удобрением и подкормками.

Значительное число опытов с рядковым удобрением проведено с зерновыми культурами. Имеются и соответствующие конструкции комбинированных сеялок для зерновых культур. В широкой практике рядковое удобрение зерновых пока не применяется, но данные опытов говорят в пользу этого приема, и надо полагать, что в ближайшем будущем должен быть разрешен вопрос о производстве комбинированных сеялок для зерновых. При малой, сравнительно с техническими культурами, обеспеченности минеральными удобрениями зерновых, применение их путем внесения в ряды позволяет повысить эффективность невысоких доз удобрений под зерновые культуры.

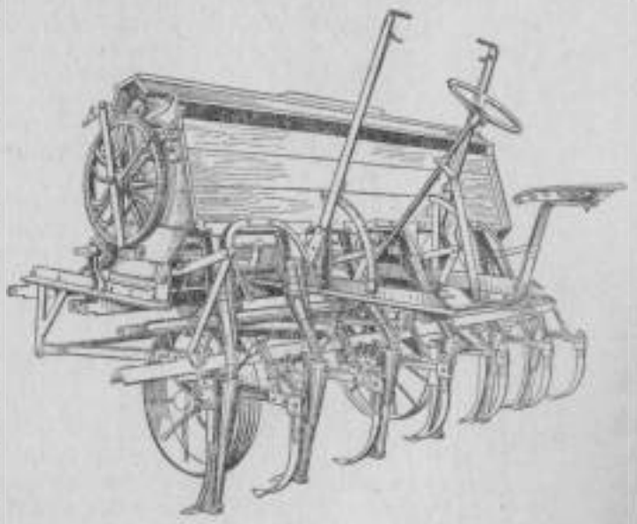


Рис. 62. Культиватор-растениепитатель ВНИИСП-С (Соловья) для внесения удобрений в междурядия в сухом виде.

Внесение удобрений во время вегетации растений (подкормка) получило широкое распространение за годы стахановского движения в сельском хозяйстве. Стахановцы впервые широко применили этот прием внесения удобрений в практике борьбы за высокий урожай, и теперь применение подкормок стало общераспространенным.

В зависимости от культуры и способа ее возделывания, высоты получаемых урожаев, доз удобрений, а также от почвенных и климатических условий применение подкормки имеет неодинаковое значение в общей системе применения удобрений. Наиболее резко и определен-

но преимущество этого приема внесения удобрений выступает при культуре хлопчатника в условиях орошения. В практике стахановского движения весьма широко применялись многократные подкормки сахарной свеклы и других культур. При сравнительно умеренных дозах удобрений, применяемых в массовом масштабе на всей площади посевов свеклы, и при отсутствии полива число подкормок, как правило, бывает небольшим, и главная часть удобрений должна применяться в основном удобрении, вносимом под глубокую вспашку с осени.

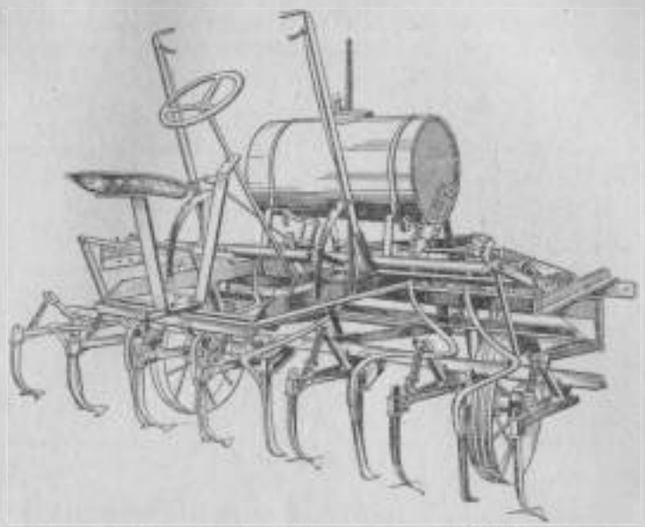


Рис. 63. Культиватор-растениепитатель ВНИИСП-С для внесения подкормок в растворе.

Для внесения удобрений в подкормках под такие культуры, как хлопчатник, сахарная свекла, существуют специальные машины, культиваторы-растениепитатели; одни из них приспособлены для внесения удобрения в сухом виде, другие—для внесения удобрений в растворе. На рисунках 62, 63, 64 и 65 изображены такие растениепитатели. Удобрения вносятся такими машинами в междурядия на определенную глубину; удобрение поступает в почву через тукопроводы, концы которых прикреплены к сошникам культиватора.

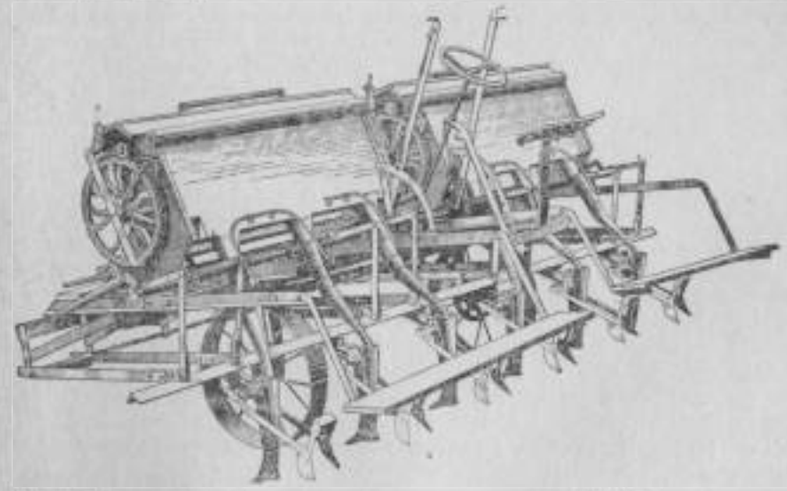


Рис 64. Универсальный культиватор-растениепитатель УКР-С для внесения удобрений в сухом виде под богарный хлопчатник, просо и другие пропашные культуры.

Кроме специальных тракторных культиваторов-растениепитателей, в практике для внесения подкормки под пропашные культуры находят применение

и другие механизмы, действующие аналогичным образом (на тракторной или конной тяге). Так, например, для внесения подкормки под хлопчатник приспосабливают хлопковые сеялки (Баннера, Армалит); выпускаются и специальные подкормщики на конном окучнике (см. рис. 66).

Внесение подкормки культиваторами-растениепитателями (и подобными им механизмами) под пропашные культуры представляет прием местного вне-

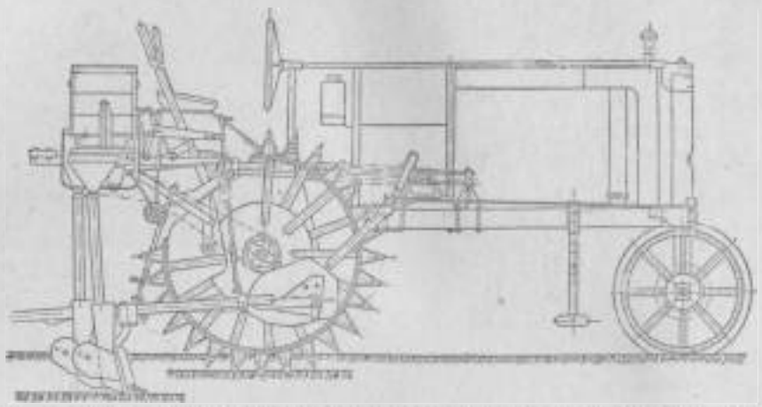


Рис. 65. Удобритель СУЗ к навесному культиватору на тракторе «Универсал» для подкормки удобрениями (в сухом виде) хлопчатника и других пропашных культур.

сения удобрений, так как при этом не происходит такого равномерного распределения и перемешивания удобрения с большим объемом почвы, как при разбросном внесении и заделке плугом. Поэтому, кроме того обстоятельства, что при подкормке удобрения могут быть даны в определенный срок, соответственно той или другой фазе роста растения, здесь имеет значение и характер распределения удобрения в почве, так как часто при местном внесении растения могут

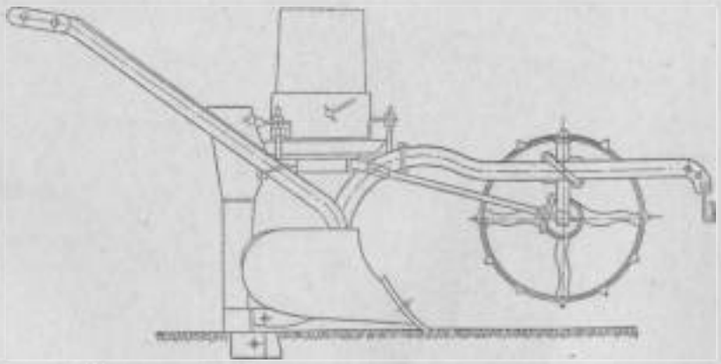


Рис. 66. Удобритель УКО на конном окучнике (для внесения подкормки под хлопчатник).

лучше использовать питательные вещества, внесенные с удобрениями, чем при внесении сплошном.

Подобного же рода внесение во время вегетации с заделкой на глубину возможно и при подкормках *широкорядных посевов зерновых* и ряда других культур.

Иные условия создаются при внесении подкормки под культуры сплошного посева (обычные, не широкорядные посевы зерновых, льна и т. д.). Здесь распространенным приемом является поверхностное внесение удобрений, чаще всего в сухом виде и иногда в растворе (например, при подкормках навозной жижей), без всякой последующей заделки или с заделкой боронованием.

Действие таким образом внесенной подкормки зависит от ряда факторов, обусловливающих проникновение удобрений в почву и развитие корневой системы культурных растений в ее верхних слоях, в частности, от состояния влажности почвы. Так как разные удобрения обладают неодинаковой способностью к передвижению в почве, то понятно, что те из них, которые более подвижны в почве (каковы, например, нитратные формы азотистых удобрений), могут быть при таком способе внесения подкормки более полно использованы растениями, чем, например, фосфаты и калийные удобрения, которые поглощаются твердой фазой почвы.

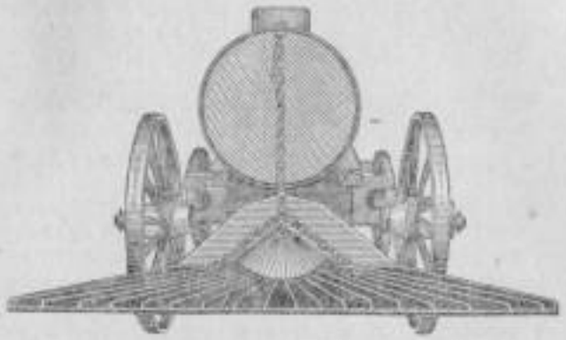


Рис. 67. Распределитель для внесения жидкой подкормки (поверхностно).

В соответствии со сказанным, одним из наиболее проверенных, с точки зрения эффективного использования удобрений, приемов при поверхностной подкормке растений сплошного посева следует признать *весеннюю подкормку азотистыми удобрениями озимых зерновых культур*. Значение этого приема усиливается тем, что при внесении азотистых удобрений под озимые с осени (до посева) возможно неблагоприятное влияние их в смысле понижения зимостойкости растений, а также (в районах с большим количеством осадков) возможно и частичное вымывание нитратов. Примеры весьма эффективного действия весенней подкормки азотистыми удобрениями на урожай озимых культур были приведены выше, в главе «Азотистые удобрения» (см. стр. 255).

Наряду с весенней подкормкой озимых азотом, в последнее время довольно широко применяется внесение и других удобрений (фосфорных, калийных) при поверхностной подкормке растений сплошного посева, не только озимых зерновых, но и других культур. Для установления наиболее рационального, с точки зрения использования удобрений, сочетания подкормок с другими видами внесения (основное, рядковое) требуется настойчивая опытная работа с учетом конкретных почвенно-климатических и других условий.

Поверхностное внесение подкормки может производиться (при внесении удобрений в сухом виде) или ручным способом или разбросными туковыми сеялками. В ряде случаев применение разбросных сеялок для внесения поверхностной подкормки затрудняется тем, что при этом могут быть частично затоптаны и повреждены растения. В связи с этим в настоящее время испытываются даже способы внесения поверхностной подкормки (например, по посевам льна) с помощью самолетов. Для поверхностного внесения жидкой подкормки (например, навозной жижей) применяются приспособления, обеспечивающие возможно более равномерное распределение ее по поверхности (см., например, рис. 67).

При разрешении вопроса о дозах удобрений известное значение имеет и то, каким способом и в какой срок будет производиться внесение. Так, например, при внесении основного удобрения под глубокую пахоту, вообще говоря, дозы должны быть более высокими, чем при местном внесении удобрений в рядки (при посеве). Это связано как с тем, что при местном внесении в рядки обычно коэфи-

циент использования удобрений растениями бывает выше, чем при разбросном внесении, так и с тем, что при местном внесении удобрений в рядки повышение доз сверх известного предела может вызвать неблагоприятное влияние избытка удобрения во время прорастания и первых фаз роста растений.

С другой стороны, в зависимости от размеров доз удобрений должно находиться и разрешение вопроса о том, какими способами и в какие сроки наиболее целесообразно вносить удобрения. Так, если при невысоких дозах может итти речь о том, внести ли все количество удобрения только в рядки, или в основном удобрения до посева, или, наконец, только в подкормках, то при более высоких дозах может оказаться более правильным сочетание нескольких способов и сроков внесения удобрений (основного, рядкового и подкормок).

Таким образом, вопрос о дозах и вопрос о способах и сроках внесения удобрений всегда требуют взаимной увязки и не должны разрешаться независимо один от другого.

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПОД НЕКОТОРЫЕ (ГЛАВНЕЙШИЕ) ТЕХНИЧЕСКИЕ КУЛЬТУРЫ И ПРИМЕРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ РАЗЛИЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

При разработке плана применения удобрений в севообороте для конкретного хозяйства необходимо принимать во внимание всю совокупность природных и хозяйственных условий данного колхоза или совхоза. Никакие готовые, шаблонные схемы здесь заведомо не пригодны, если только их тщательно не продумать, не исправить и не детализировать с учетом конкретной обстановки данного хозяйства. Поэтому приводимые ниже примеры размещения удобрений в некоторых типичных севооборотах ни в коем случае не следует рассматривать как трафаретные, готовые образцы. Мы приводим их лишь для того, чтобы дать более ясное представление о возможных путях в общем направлении разрешения подобного рода задач, применительно к тем или другим севооборотам.

При разборе этих примеров следует стремиться не столько запомнить приводимые схемы, сколько ясно представить себе, какие обстоятельства определяют целесообразность выбора того или иного решения.

В практике хозяйственного планирования применения удобрений следует различать общую схему размещения удобрений в севообороте (или систему удобрения севооборота), определяющую основные принципы размещения органических и минеральных удобрений между культурами и порядке их чередования в севообороте, и годовой план применения удобрений.

Общая схема размещения удобрений в севообороте, даже разработанная для определенного конкретного хозяйства, не может охватить всего разнообразия условий, складывающихся в каждом отдельном году. Это относится прежде всего к количеству удобрений, как органических, так и минеральных, которыми хозяйство располагает в данном году. Как правило, это количество не остается постоянным и из года в год возрастает (в отдельных случаях возможно и иное положение). Затем в каждом году меняется в соответствии с принятым севооборотом расположение посевов культур по полям; поэтому, например, в одном году посевы культуры, получающей непосредственное удобрение, могут оказаться на одной почвенной разности, а в следующем году — на другой почвенной разности. Отсюда и применение удобрений должно быть соответствующим образом дифференцировано с учетом особенностей почв. Наконец, в пределах одного и того же поля севооборота условия могут быть неодинаковыми — по рельефу, почвенной разности, а также по характеру предшественника и предшествующего удобрения. Все эти обстоятельства надо учитывать при составлении плана применения удобрений в данном году.

Таким образом, *правильная система удобрения может осуществляться только при условии постоянного уточнения ежегодных планов применения удобрений.*

В большинстве случаев на современном уровне химизации социалистического земледелия чаще приходится иметь дело с непосредственным внесением удобрений не под каждую культуру севооборота, а только под некоторые из них, причем минеральные удобрения главным образом вносятся под ведущие технические культуры. В связи с этим в дальнейшем изложении мы будем останавливаться на вопросах применения удобрений под эти культуры более подробно, чем на удобрении остальных культур севооборота.

В качестве примеров, на которых мы разбираем вопросы, связанные с обоснованием системы применения удобрений в специализированных севооборотах того или иного направления, мы останавливаемся ниже на трех типах севооборотов: свекловичных, хлопковых и льняных. Этот выбор обусловлен прежде всего тем, что соответственные технические культуры (сахарная свекла, хлопчатник и лен-долгунец) потребляют в СССР максимальное количество минеральных удобрений. Достаточно указать на то, что *эти три культуры, вместе взятые, потребляют у нас в настоящее время свыше 70% всего количества азотистых удобрений, 65% суперфосфата и около 60% калийных удобрений.* Понятно поэтому, какое огромное значение приобретает задача правильной организации применения удобрений под эти культуры и вопросы системы удобрения соответствующих севооборотов в целом. В то же время рассмотрение этих трех типов специализированных севооборотов позволяет осветить ряд моментов, связанных с применением удобрений в обстановке резко различных почвенно-климатических, агротехнических и других условий. Ознакомление с этими примерами поможет разрешать при необходимости подобные же задачи построения системы удобрений в севооборотах и с другими культурами.

ЗЕРНОВО-СВЕКЛОВИЧНЫЕ СЕВООБОРОТЫ (ОСНОВНЫХ РАЙОНОВ СВЕКЛОСЕЯНИЯ)

Обеспеченность удобрениями. Сахарная свекла среди культур, получающих минеральные удобрения, занимает в СССР одно из первых мест. Так, в 1940 г. из общего количества минеральных удобрений (по системе НКЗ СССР) на долю сахарной свеклы падало 37,5% калийных удобрений, 32% суперфосфата и 22% азотистых удобрений. Таким образом, под сахарную свеклу используется около одной трети всего количества применяемых калийных удобрений и суперфосфата. По размерам снабжения этими удобрениями сахарная свекла занимает первое место среди других культур, но уступает хлопчатнику по размерам снабжения азотистыми удобрениями.

Средняя обеспеченность посевов сахарной свеклы минеральными удобрениями составляла (по системе НКЗ СССР) в 1940 г. (на гектар): 4,71 ц фосфорнокислых, 1,77 ц калийных и 1,33 ц азотистых удобрений, или 84,8 кг P_2O_5, 48 кг K_2O и 27,3 кг N.

Навозообеспеченность в основных районах свеклосеяния сравнительно невелика. Так, по данным обследования (Институтом свекловичного полеводства — ВНИИСП) ряда колхозов Курской, Киевской, Каменец-Подольской, Полтавской и Харьковской областей, количество внесенного навоза по расчету на 1 га всей пашни колебалось в 1937/38 г. в пределах 1,2—1,9 т (что отвечает от 8 до 15 т на гектар за ротацию семи-восьмипольного севооборота). Таким образом, даже для удобрения полностью только одного поля севооборота, т. е. один раз в 7—8 лет, навоза часто нехватает. Повышение навозообеспеченности путем применения лучших способов хранения навоза и увеличения выхода навоза от одной головы скота, более полного использования навоза от скота личного пользования колхозников и т. д. является здесь важнейшей задачей. Количество применяемого навоза в большинстве колхозов свеклосеющих районов из года в год растет, и в качестве ближайшей цели следует добиваться таких размеров навозонакопления, чтобы навоза хватало для удобрения, по крайней мере, хотя бы одного поля севооборота полностью.

Почвенные условия. Почвы в основных районах свеклосеяния (к ним относятся прежде всего УССР и смежные с ней области РСФСР[1]) представлены в значительной части черноземами (от обыкновенных и мощных черноземов до выщелоченных и оподзоленных черноземов), а также серыми лесными суглинками. Небольшая часть посевов свеклы в этих же областях размещается на почвах низинных, как правило, лучше обеспеченных влагой, с повышенным содержанием органического вещества и усвояемых для растений питательных веществ.

Климатические условия для роста сахарной свеклы здесь в общем благоприятны, однако количество осадков невелико, и борьба за сохранение влаги представляет одно из главнейших условий эффективного применения удобрений и получения высоких урожаев. В западных районах этой зоны свеклосеяния осадков выпадает обычно больше, чем в восточных.

Севообороты. Типичными севооборотами в свеклосеющих колхозах УССР (и смежных с ней областей РСФСР) являются семи-восьмипольные севообороты, с одним полем сахарной свеклы (12,5—14,3%), двумя полями озимых зерновых (25—28,5%), одним полем чистого пара и одним полем трав (клевер, иногда эспарцет), подсеваемых под яровые зерновые, например:

Семипольный севооборот	Восьмипольный севооборот
1. Пар чистый	1. Пар чистый
2. Озимь	2. Озимь
3. Сахарная свекла	3. Сахарная свекла
4. Яровые колосовые с подсевом клевера	4. Яровые колосовые с подсевом клевера
5. Клевер	5. Клевер
6. Озимь	6. Озимь
7. Яровые	7. Пропашные и зернобобовые
	8. Яровые

При большем насыщении севооборота сахарной свеклой (что встречается в совхозах и в некоторых колхозах) сахарная свекла занимает до двух полей севооборота, например:

1. Пар чистый	5. Клевер
2. Озимь	6. Озимь
3. Сахарная свекла	7. Сахарная свекла
4. Яровые с подсевом клевера	8. Яровые

При посеве клевера на половине поля типичным является такое чередование:

1. Пар чистый	5. Занятый пар ½ поля + клевер ½ поля
2. Озимь	6. Озимь ½ поля + клевер ½ поля
3. Сахарная свекла	7. Пропашные или бобовые ½ поля +
4. Яровые ½ поля + яровые с подсевом клевера ½ поля	+ озимь ½ поля
	8. Яровые

Реже встречаются севообороты, в которых свекла идет не после озимых, а по другому предшественнику, например, после яровых или после трав.

Особенности питания свеклы. Ведущей технической культурой в свекловичных севооборотах является сахарная свекла. Удобрение сахарной свеклы представляет одно из главных звеньев системы удобрения свекловичного севооборота.

Сахарная свекла отличается повышенными требованиями к *количеству питательных веществ*, необходимых для образования высокого урожая. В среднем можно считать, что на каждые 100 ц корней урожая сахарной свеклы выносят около 40 кг N, 15 кг P_2O_5 и 70 кг K_2O (в корнях и ботве в сумме). От этих средних величин встречаются иногда значительные отклонения, как это можно видеть, например, из таких данных[2]:

[1] Из одного миллиона с лишним гектаров посевов сахарной свеклы в колхозах 68% приходится на долю УССР, а вместе со смежными с УССР областями (Орловская, Курская и Воронежская)—около 8% всей площади посевов свеклы в колхозах. Остальная часть посевов свеклы размещается в других областях европейской части РСФСР (главным образом в черноземной зоне), в Западной Сибири (Новосибирская область, Алтайский край), Приморском крае, Армянской ССР и Грузинской ССР и в районах орошаемого свекловодства в Казахской ССР и Киргизской ССР.

Фамилия земельной и область или республика	Урожай (в центнерах с 1 га)		Вынос (в килограммах на 1 га)			На каждые 100 ц корней (в килограммах)		
	корней	ботвы	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Бельская (Харьковская)	505	167	212	61	334	42	12	66
Сворик (Киевская)	600	150	241	76	336	40	13	55
Пилипенко (Харьковская)	1049	1039	661	220	765	63	21	73
Старикова (Киргизская ССР) . . .	1061	645	532	123	1033	50	12	97

Колебания в средних размерах выноса азота, фосфора и калия на каждые 100 ц корней свеклы зависят и от условий питания и от других обстоятельств. В частности, общий вынос N, P и K по расчету на урожай корней зависит от соотношения между массой корней и массой ботвы к моменту уборки[3]. Но, несмотря на известную условность приведенных средних величин выноса на 100 ц корней, они все же могут характеризовать общую зависимость между величиной урожая свеклы и размерами выноса N, P и K.

Поступление питательных веществ в течение вегетационного периода у сахарной свеклы растягивается на довольно большой срок, как это можно видеть из данных, приведенных на рисунке 68. Продолжительный период поступления питательных веществ при наличии сравнительно мощной корневой системы определяет повышенную способность свеклы использовать питательные вещества почвы и вносимых удобрений.

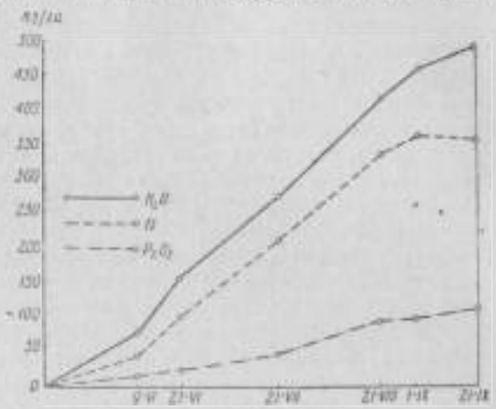


Рис. 68. Рост выноса азота, фосфора и калия сахарной свеклой (на участке Н. Ф. Кутумановой, колхоз «17 годовщина Октября», Курской области. 1937 г.; урожай корней 510 ц с 1 га).

[1] Соболев. Сборник «Удобрение сахарной свеклы», Сельхозгиз, 1937.

[2] Так, например, при снадении к концу вегетационного периода значительной части ботвы на опытной станции в Киргизской ССР наблюдались такие величины:

Урожай		Вынос (в килограммах на 1 га)			Вынос на каждые 100 ц корней (в килограммах)		
корней	ботвы	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
250	47	63	14	120	25	6	48
400	72	90	29	177	33	7	44

Однако в таких случаях следует отличать конечный вынос питательных веществ (содержание их в урожае при уборке) от так называемого биологического выноса, который отвечает максимальному содержанию их в растении по ходу роста. В тех случаях, когда до уборки теряется большое количество листьев, конечный вынос будет значительно ниже биологи-

Потребность в повышенном уровне питания проявляется у сахарной свеклы с первых дней жизни (прорастание, всходы). Особенно большое значение в этот период имеет фосфатное питание. В связи с малым запасом углеводов в семенах, во время прорастания и в период всходов растения свеклы чувствительны к избытку азотистого питания, особенно в аммиачной форме; однако умеренное снабжение азотом (при недостатке его в почве), так же как и калием, и в это время действует положительно. По мере развития ассимилирующей поверхности (рост ботвы) у свеклы возрастает потребность во всех элементах питания, в частности в азоте; высокий уровень азотистого питания[1] способствует формированию мощной листвы, необходимой для получения высокого урожая корней. Во второй половине вегетационного периода, когда прекращается рост ботвы и большое значение приобретают процессы оттока продуктов ассимиляции из листьев в корень, потребность в азоте снижается; избыток его в это время может снизить качество урожая. По данным вегетационных опытов, при нормальных условиях снабжения азотом усиление калийного и фосфатного питания оказывает весьма положительное действие на процесс накопления сахара, а следовательно, и на качество урожая свеклы.

Сахарная свекла хорошо отзывается на внесение и минеральных, и органических удобрений. В зависимости от почвенных условий, в общем отмечаются такие различия в относительном значении разных видов удобрений под свеклу: на серых лесных суглинках, на оподзоленных почвах обычно более резко проявляется недостаток азота, тогда как на черноземах на первое место чаще всего выступает роль фосфатов. В особенности резко проявляется относительный недостаток фосфора на солонцеватых и солончаковых черноземах. Последние из упомянутых почв характеризуются в то же время более высокой обеспеченностью калием. Следует, однако, иметь в виду, что обеспеченность свеклы усвояемыми питательными веществами и отзывчивость на отдельные виды удобрений зависят и от ряда других причин, кроме типа почвы и почвенной разности. Так, например, при повторении посевов свеклы через несколько лет на одном и том же поле обостряется недостаток калия, что особенно резко заметно, если вносится азот и фосфор (данные Мироновской опытной станции). Затем существенное значение имеет предшествующее удобрение. Так, отмечено, что свекла, идущая в севообороте после удобренной навозом озими, бывает относительно более обеспечена фосфатным питанием (за счет последействия навоза).

Размещение удобрений в севообороте. Характер размещения органических и минеральных удобрений в свекловичном севообороте в значительной степени зависит от размеров снабжения минеральными удобрениями и от размеров накопления навоза. В настоящее время минеральными удобрениями в этих севооборотах обеспечивается прежде всего сахарная свекла, что же касается других культур севооборота, то выделение удобрений под них находится в зависимости от увеличения снабжения минеральными удобрениями и отчасти связывается с местом внесения навоза в севообороте.

Вопрос о месте навозного удобрения в свекловичном севообороте имеет существенное значение с точки зрения системы удобрения. Решение его возможно в основном в двух направлениях, а именно: 1) вносить навоз в пару под озимые и 2) вносить навоз под сахарную свеклу. В первом случае сахарная свекла, идущая в севообороте после удобренной навозом озими, использует последействие навоза, внесенного в пару. Во втором случае используется прямое действие навоза под свеклу. В практике свеклосеющих колхозов преобладает внесение навоза в пару под озимые, но имеет место также использование навоза и других органических удобрений (компосты, перегной) непосредственно под сахарную свеклу.

ческого, чем, повидимому, и можно объяснить показанные величины выноса на 100 л корней в приведенном примере.

Заметим, что при подсчете суммарного баланса питательных веществ в севообороте важен конечный вынос, тогда как если речь идет об обосновании доз удобрений под определенную культуру, то существенно знать также и размеры максимального биологического выноса (если он сильно превышает конечный вынос).

[1] При достаточном снабжении остальными элементами и влагой.

Надо определенным образом подчеркнуть, что из этих двух способов размещения навозного удобрения в свекловичном севообороте нельзя категорически отвергнуть ни тот, ни другой. Целесообразность выбора первого или второго способа размещения навоза зависит прежде всего от возможности организации агротехнически правильного способа использования навоза при непосредственном внесении его под свеклу.

В настоящее время надо считать несомненно установленным тот факт, что *для получения полного действия навоза, вносимого под свеклу, он должен быть заделан в почву осенью под глубокую зяблевую вспашку*. При внесении навоза под свеклу весной сколько-нибудь удовлетворительная заделка его (при культивации[1]) невозможна. Даже если вносить сильно перепревший навоз (перегной), который мог бы быть заделан культиватором, действие его бывает значительно выше при осеннем внесении под глубокую пахоту, как это видно из следующих данных Мироновской опытной станции (опыт 1937 г.).

Способы внесения перегноя под сахарную свеклу

Удобрение и способ заделки	Урожай корней (в центнерах с 1 га)	Прибавка от удобрения (в центнерах с 1 га)
Без удобрения	351	—
20 т перегноя осенью под глубокую вспашку	416	+ 65
То же, весной под культиватор	378	+ 27
40 т перегноя осенью под глубокую вспашку	480	+129
То же, весной под культиватор	430	+ 79

Лучшее действие навоза и перегноя при более глубокой заделке заставляет признать агротехнически неправильным внесение навоза (или перегноя) под весеннюю культивацию. Следовательно, необходимым условием при внесении навоза непосредственно под свеклу должно быть осеннее внесение его под глубокую зяблевую пахоту. Только при соблюдении этого условия можно ставить вопрос о такой системе размещения навоза в свекловичном севообороте, которая предусматривала бы внесение навоза не в пару, а под свеклу.

Между тем в практике при внесении органических удобрений под свеклу имело место другое, как это можно видеть из следующих данных за 1938 г.[2].

Внесено навоза, перегноя и компостов под сахарную свеклу в среднем на 1 га удобренной площади	10 т
В том числе (в процентах от общего количества):	
осенью под глубокую пахоту	18%
весной под культивацию	82%

Причиной такого агротехнически неправильного использования органических удобрений, вносимых под свеклу, были главным образом затруднения организационно-хозяйственного порядка, связанные с напряжением в части транспортных средств и рабочей силы в осенний период. Кроме того, надо иметь в виду, что навоз накопляется в хозяйстве главным образом зимой, и для того, чтобы внести его осенью под глубокую пахоту, необходимо организовать правильное хранение его до осени (в навозохранилищах или в прикрытых землей полевых буртах), так как в противном случае будут иметь место значительные потери и органического вещества и азота навоза.

[1] Весной под свеклу, как правило, зябь не перепахивают (чтобы не терять влагу), а обрабатывают культиватором.

[2] И. Петров. «Химизация социалистического земледелия», № 6, 1939 г.

В связи с этим в настоящее время надо признать хозяйственно-целесообразным применение навоза в паровом поле под озимые с использованием на сахарной свекле последействия навоза. Такой способ размещения органических удобрений в свекловичном севообороте позволяет избегнуть заведомо неправильного способа использования их, т. е. внесения под весеннюю культивацию.

Внесение навоза в чистом пару, понятно, является средством повысить урожайность озимых зерновых[1], что имеет существенное значение с точки зрения общей продуктивности севооборота.

Надо, однако, заметить, что в пользу внесения навоза в пару (в свекловичных севооборотах) говорят главным образом отмеченные выше соображения организационно-хозяйственного порядка. С точки зрения агротехнической — иное решение, т. е. внесение навоза под свеклу является не только не худшим, но скорее даже лучшим (при обязательном условии сохранения навоза без потерь и внесения его под глубокую зяблевую вспашку).

В особенности по этому пути следует и ти в таких случаях, когда при обильном накоплении нитратов в чистом пару (на черноземах) внесение умеренных доз одних фосфатов или фосфатно-калийного удобрения под озимь позволяет получать урожаи не меньшие, чем по удобренному навозом пару. На некоторых (богатых азотом) почвах при внесении навоза в чистом пару наблюдается даже повышение склонности к полеганию озимых, что связано с чрезмерным усилением азотистого питания. В таких условиях надо итти по линии уменьшения доз навоза, вносимых в пару (до 15 или даже 10 т на 1 га), перемещая его частично под свеклу, или же весь навоз вносить под свеклу.

Заметим, что при переходе к черным парам, поднимаемым с осени, преимущества организационного порядка, говорящие в пользу внесения навоза в пару (при заделке навоза зимнего накопления весной), отпадают, так как в черном пару в этих районах навоз также надо вносить с осени при подъеме пара, а не весной.

При непосредственном внесении навоза под свеклу целесообразно предусмотреть внесение Р или РК под озимь, идущую как по чистому пару, так и после трав. И в том и в другом случае можно рассчитывать на хорошее действие Р или РК благодаря повышенной обеспеченности азотом после чистого пара и после трав.

Сахарная свекла, как правило, получает *полное минеральное удобрение* (NPK). В тех случаях, когда навоз вносится в чистом пару, то вслед за свеклой (по мере роста снабжения удобрениями и повышения урожаев) целесообразно в первую очередь обеспечить минеральными удобрениями *вторую озимь*, т. е. идущую в севообороте после трав[2], а затем и другие культуры севооборота.

В соответствии со сказанным можно наметить такие примерные варианты размещения навоза и минеральных удобрений в свекловичном севообороте:

I вариант: навоз в пару, минеральные удобрения под свеклу;
II вариант: навоз в пару, минеральные удобрения (NPK) под свеклу и под вторую озимь (РК);
III вариант: навоз + минеральные удобрения (NPK) под свеклу, минеральные удобрения в пару и под вторую озимь (РК);
IV вариант: навоз в пару и под свеклу, минеральные удобрения под свеклу (NPK) и под вторую озимь (РК).

---

[1] Примеры см. на стр. 486 в главе «Органические удобрения».

[2] Или вносить РК под клевер, рассчитывая на последействие этих удобрений на озими (под эспарцет удобрения непосредственно не вносят вследствие его сравнительно малой отзывчивости на них, в частности на Р). Опубликованные недавно результаты опытов Несвесской опытной станции (С. Мойсеенко, «Химизация социалистического земледелия», № 8, 1940 г.) показали, что поверхностное внесение фосфорно-калийных удобрений по клеверу с осени (после уборки покровного растения) дает гораздо лучшие результаты, чем такое же внесение весной. Вот некоторые из этих данных (прибавка урожая клеверного сена в центнерах на 1 га):

	Р	К	РК
При внесении удобрений весной	−0,9	−1,6	+6,0
При внесении удобрений осенью	+5,6	+6,0	+15,0

Схематически эти варианты для семипольного севооборота изображены в следующей таблице.

Поля севооборота и культуры в порядке чередования	Варианты размещения удобрений в севообороте			
	I	II	III	IV
1. Пар чистый	навоз	навоз	РК	навоз
2. Озимь	—	—	—	—
3. Сахарная свекла	NPK	NPK	навоз + +NPK	навоз + +NPK
4. Яровые с подсевом трав	—	—	—	—
5. Травы	—	—	—	—
6. Озимь	—	РК	РК	РК
7. Яровые	—	—	—	—

В этих вариантах размещения удобрений имеется нечто общее, а именно первоочередное обеспечение удобрениями сахарной свеклы как ведущей технической культуры, а в случае перемещения части минеральных удобрений под другие культуры имеется в виду *внесение фосфатно-калийного удобрения в таких полях севооборота, где есть основания рассчитывать на повышенную обеспеченность азотом (пар, клеверище)*. При таком размещении яровые зерновые используют в основном лишь последействие удобрений, внесенных под свеклу и под озимые.

Отметим теперь некоторые моменты, не охваченные приведенными в таблице схемами вариантов размещения удобрений.

Если в севообороте свеклой занято не одно, а два поля, то понятно, что и вторая свекла должна получить полное минеральное удобрение или NPK + +навоз.

В приведенных вариантах внесение минеральных азотистых удобрений в севообороте предусмотрено только под свеклу. Это отвечает современным возможностям в части снабжения азотистыми удобрениями. По мере увеличения общего количества удобрений и повышения уровня урожаев потребуется внесение азота и под зерновые.

О высокой эффективности азотистых удобрений под яровые зерновые на черноземных почвах (при обеспечении фосфором и калием) дают представление следующие данные Харьковской опытной станции:

Дозы азота (на фоне 90 кг P_2O_5 и 45 кг K_2O на 1 га)	15 кг N	30 кг N	60 кг N
Прибавка урожая зерна овса (на 1 га)	4,1 ц	7,3 ц	10,2 ц

Повышенная потребность в азоте отмечается, в частности, у яровых зерновых, идущих в севообороте после свеклы, что объясняется интенсивным использованием свеклой усвояемых форм азота почвы, причем после уборки свеклы не остается времени для накопления в почве нитратов. В этом отношении яровые зерновые, идущие в севообороте после озимых по обороту пласта (в звене: травы — озимь — яровые), оказываются в несколько лучшем положении.

Наряду с яровыми зерновыми, понятно, не исключено внесение азота и под озимые в виде весенней подкормки (учитывая состояние озимых, почвенные особенности и т. д., подкормка эта может проводиться не на всем поле, а на части его).

В соответствии со сказанным можно наметить такой вариант *относительно более интенсивной системы удобрения* свекловичного севооборота:

Поля и культуры	Удобрение (в примерные дозы на 1 га)
1. Пар чистый	Навоз 18—20 т
2. Озимые	Весенняя подкормка на всем поле или на части его
3. Сахарная свекла	NPK (в дозах по 60—120 кг)
4. Яровые зерновые с подсевом трав	N (в дозе 30—45 кг) или NPK
5. Травы	Без удобрения или поверхностное внесение P, K или PK (в дозах по 45—60 кг)
6. Озимые	PK или NPK (в дозах 25—40 кг N и по 45—60 кг P_2O_5 и K_2O)
7. Яровые	Без удобрения

В некоторых севооборотах свекловичных районов часть озимых высевается не только после чистого пара и после трав, но и после пара, занятого однолетними кормовыми растениями (как вико-овсяная смесь), гречихой и т. п., а иногда и после озимых же зерновых.

В этих случаях потребность озимых в азоте бывает повышена, поэтому комбинация PK может оказаться здесь малоэффективной и желательно обеспечение такой озими навозом или полным минеральным удобрением (причем азот может быть внесен при весенней подкормке минеральными или местными[1] удобрениями).

При недостатке навоза в хозяйстве часто встречаются случаи, когда только часть парового поля получает навоз в количестве 18—20 т на гектар, а другая часть остается без навоза. Тогда полезно обеспечить эту остальную часть озими минеральными удобрениями. При установлении же доз удобрений под свеклу следует учесть, на какой части поля под предшествующую озимь был внесен навоз и на какой части поля—не был. После неудобренной озими дозы удобрений под свеклу должны быть повышены.

Дефекационную грязь вносят преимущественно в паровом поле или же под зяблевую вспашку. При наличии почв, не насыщенных основаниями, применяя дефекат следует учитывать кислотность почв.

Для характеристики *баланса питательных веществ* в свекловичном севообороте приведем следующие приблизительные расчеты. Если принять средние размеры выноса питательных веществ сахарной свеклой в 15 кг P_2O_5, 40 кг N и 70 кг K_2O на каждые 100 ц урожая корней, для зерновых 30—40 кг N, 12—15 кг P_2O_5 и 20—30 кг K_2O на каждые 10 ц урожая зерна и для клевера—5 кг P_2O_5 и 15 кг K_2O на каждые 10 ц урожая сена[2], то для различного уровня урожайности получим следующие размеры выноса за одну ротацию семипольного севооборота:

Приблизительные размеры выноса N, P и K за ротацию семипольного свекловичного севооборота

Культуры	При средних урожаях (с 1 га)								
	I. Свеклы—200 ц, зерновых—10 ц, клевера—20 ц			II. Свеклы—350 ц, зерновых—15 ц, клевера—30 ц			III. Свеклы—500 ц, зерновых—25 ц, клевера—40 ц		
	в килограммах на 1 га								
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Сахарная свекла (одно поле)	80	30	140	140	55	245	200	75	350
Зерновые (за 4 года в сумме)	140	60	100	220	80	160	360	140	260
Клевер (одно поле)	—	10	30	—	15	45	—	20	60
Всего за ротацию (в килограммах на 1 га)	220	100	270	360	150	450	560	235	670

[1] Навозная жижа.
[2] Считая, что азот будет взят клевером из воздуха.

Из этого примерного расчета ясно видно, что для обеспечения неуклонного роста урожаев свеклы и других культур свекловичного севооборота необходимым условием является применение значительного количества удобрений. Некоторая часть увеличенного выноса питательных веществ может быть покрыта такими источниками, как деятельность азотобактера, мобилизация почвенных запасов калия и отчасти (на богатых почвах) азота. Азот будут давать еще и корневые остатки бобовых. Принимая, что корневые остатки клевера (за один год пользования) дадут 50—75 кг N на 1 га и учитывая приблизительные размеры заполнения запасов азота и усвояемого калия за счет почвенных ресурсов, можно наметить ориентировочно такую структуру баланса N, P и K для разбираемого севооборота:

Статья баланса	I			II			III*		
	в килограммах на 1 га								
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Корневые остатки клевера .	50	—	—	60	—	—	75	—	—
Удобрения	70	100	100	200	150	300	400	275	550
Итого	120	100	100	260	150	300	475	275	550
Вынос урожаями	220	100	270	360	150	450	560	235	670
Баланс за ротацию	−100	0	−170	−100	0	−150	− 85	+ 40	−120
Баланс в среднем в год . .	− 14	0	− 24	− 14	0	− 21	− 12	+ 6	− 17

Потребность в минеральных удобрениях для такого баланса будет зависеть от размеров обеспеченности навозом. Так, например, если при уровне средней урожайности (на гектар) в 200 ц свеклы, 10 ц зерновых и 20 ц клевера вносить на ротацию (согласно сделанному расчету) 70 кг N, 100 кг P_2O_5 и 100 кг K_2O на 1 га, то в зависимости от количества применяемого навоза потребность в минеральных удобрениях изменилась бы так:

Количество навоза (в тоннах на 1 га) за ротацию	Вносится в навозе (в килограммах на 1 га)			Минеральные удобрения (в килограммах на 1 га)		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
5	25	13	30	45	87	70
10	50	25	60	20	75	40
15	75	38	90	—	62	10
20	100	50	120	—	50	—

Другими словами, при таком уровне урожаев и обеспеченности навозом свыше 15 т на 1 га за ротацию севооборота ясно выступает необходимость внесения прежде всего фосфатов. При меньшей обеспеченности навозом необходимо полное минеральное удобрение, но все же с преобладанием в его составе фосфора. Такая структура баланса N, P и K является близкой к среднему фактическому состоянию его в настоящее время в основных районах свекловосеения.

Однако надо иметь в виду, что по мере роста урожаев свеклы и других культур севооборота, нужное соотношение N : P : K в минеральных удобрениях может довольно резко измениться. Это видно, например, из такого расчета, сделанного аналогично предыдущему, но для среднего уровня урожаев (с гектара) в 350 ц свеклы, 15 ц зерновых и 30 ц клевера:

Количество навоза (в тоннах на 1 га) за ротацию	Вносится в навозе (в килограммах на 1 га)			Минеральные удобрения (в килограммах на 1 га)		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
10	50	25	60	150	125	240
20	100	50	120	100	100	180

Таким образом, при более высоком уровне урожаев, повидимому, возникает необходимость выравнивания отношения между азотом и фосфором в минеральных удобрениях и зна-

* Варианты I, II, III отвечают различному уровню средних урожаев—см. предыдущую таблицу.

чительного повышения доли калийных удобрений. Если в течение некоторого времени рост выноса калия более высокими урожаями может покрываться усилением использования растениями калия почвы[1], то все же в перспективе надо иметь в виду необходимость увеличения доли калия в сумме минеральных удобрений по мере общего роста продуктивности свекловичных севооборотов. Понятно, что в зависимости от почвенной разности размеры этого повышения, как и вообще величина доз удобрений и их соотношение, могут быть различными. Сильнее и раньше это выявится на почвах, относительно менее обеспеченных калием (например, более легких по механическому составу). Точно так же необходимость повышения доли азота в сумме минеральных удобрений, поэтому, более резко будет выступать на таких почвах, как серые лесные суглинки и оподзоленные почвы, чем на мощных или обыкновенных черноземах.

Затем следует отметить, что повышение удельного веса калия в балансе свекловичного севооборота связано главным образом с относительно высоким выносом калия сахарной свеклой (по сравнению с зерновыми). Поэтому в севооборотах, более насыщенных свеклой, например, при двух полях свеклы в восьмипольном севообороте, необходимость увеличения калия в сумме минеральных удобрений по мере роста урожаев будет выступать более резко, чем в севооборотах с одним полем свеклы[2].

Способы внесения и дозы удобрений под свеклу. Техника внесения удобрений под свеклу включает все три приема, т. е. основное удобрение до посева, рядковое удобрение (при посеве) и подкормки во время вегетации.

В зависимости от общего количества вносимых удобрений значение этих трех приемов внесения неодинаково, а именно при малом количестве удобрений, как это имело место, в частности, в дореволюционном свекловодстве (20—30 кг P_2O_5 или 20—30 кг P_2O_5 и 10—15 кг N на гектар), более целесообразным было применение одного рядкового удобрения. При современном уровне снабжения минеральными удобрениями совершенно необходимым является сочетание рядкового удобрения и основного удобрения или же основного, рядкового и подкормок.

Основное удобрение под сахарную свеклу, как правило, должно вноситься с осени под глубокую зяблевую вспашку. В практике последнего времени было распространено внесение минеральных удобрений под весеннюю культивацию[1], однако такой прием следует признать нерациональным. Для подтверждения этого положения приведем данные нескольких опытов, показывающих действие одних и тех же доз полного минерального удобрения при осенней и весенней заделке.

---

[1] См., например, приведенные на стр. 532 дифференцированные по почвенным разностям размеры использования калия почвы в свекловичном севообороте (по расчетам Масловой).

[2] Иллюстрацией большой роли калия в системе удобрения свекловичного севооборота могут служить следующие результаты опытов Мироновской опытной станции (на легкосуглинистом, выщелоченном черноземе). В пятипольном севообороте: 1) пар чистый, 2) озимая пшеница, 3) сахарная свекла, 4) горох, 5) сахарная свекла, с 1913 по 1917 г. были такие варианты:

1) контроль (30 кг P_2O_5—под свеклу в рядки, как общий фон),
2) навоз 37,5 т на 1 га,
3) NPK в дозах, эквивалентных 37,5 т на 1 га навоза.

Начиная с 1917 г. и до 1926 г. калий из состава полного удобрения в третьем варианте был исключен. Урожаи свеклы по удобрению NP в этот период стали значительно уступать урожаям по навозу, причем в отдельные годы разница между ними превышала 100 ц корней на гектар. В 1927 г. началось снова внесение калия, что сопровождалось резким повышением урожая свеклы, как это можно видеть из следующих данных за отдельные годы:

Годы	Урожай свеклы (в центнерах с 1 га) по вариантам		
	0	NP	NPK
1930	212	203	323
1931	127	145	220
1933	104	135	204
1934	179	178	368
Среднее за 1927—1934 гг.	122	136	220

[1] Что отчасти являлось следствием несвоевременного навоза удобрений.

Прибавки урожая сахарной свеклы от полного минерального удобрения (NPK) (в центнерах на 1 га)

Опытные станции	Удобрение внесено	
	осенью под вспашку	весной под культиватор
Харьковская оп. станция (1917—1924 гг.)	+64	+26
Курская оп. станция (1936 г., среднее из 3 опытов)	+60	+37
Киевская оп. станция (1936 г.)	+50	+26

Преимущество глубокой заделки под зяблевую вспашку установлено и по отношению к отдельным компонентам полного удобрения, как это можно видеть из следующих данных, полученных в опытах Всесоюзного института свекловичного полеводства (ВНИИСП) в 1937—1938 гг.:

Значение внесения основного удобрения под глубокую осеннюю вспашку

Урожай свеклы (в центнерах с 1 га) при внесении	Среднее из 10 опытов (1937—1938 гг.)	Мирошинская оп. станция (1937 г.)
NPK осенью под плуг	307	517
NP осенью под плуг, K весной под культиватор	282	418
PK осенью под плуг, N весной под культиватор	283	433
P осенью под плуг, NK весной под культиватор	279	404

Явное преимущество заделки удобрений под глубокую вспашку связано, повидимому, как с климатическими условиями районов свеклосеяния (временное пересыхание верхних слоев почвы), так и с характером развития корневой системы свеклы, проникающей в почву на значительную глубину.

Но при глубокой заделке основного удобрения, в особенности если вспашка зяби производится плугом с предплужником, растения сахарной свеклы в самое первое время своей жизни не могут использовать внесенные питательные вещества, запас же их в семенах свеклы очень мал; поэтому для обеспечения более быстрого развития растений в это время большое значение приобретает рядковое удобрение. Из компонентов рядкового удобрения главная роль принадлежит фосфатам, ибо именно усиление фосфатного питания с самого начала роста особенно необходимо для нормального развития свеклы.

Для характеристики влияния рядкового удобрения суперфосфатом на первоначальный рост свеклы приведем здесь старые данные опытной сети за 1902—1908 гг. (вес 100 растений при прорывке; среднее из 54 опытов на черноземах):

Контроль (без удобрения) . . . . . 54 г
30 кг P_2O_5 (суперфосфат) в рядки . . . . . 82 г

Прибавки урожая корней от рядкового удобрения суперфосфатом (в дозе 30 кг P_2O_5 на гектар) наблюдались, например, такие:

Немерчанская оп. станция (1928 г.) . . . . . +63 ц на гектар
» » » (1929 г.) . . . . . +76 » » »
Киевская » » (1928 г.) . . . . . +49 » » »

Опытами последнего времени доказана целесообразность внесения в рядки полного минерального удобрения. В опытах Киевской опытной станции были получены хорошие результаты при внесении в рядки полного удобрения в дозах (на гектар) 25 кг P_2O_5 и до 30 кг N и K_2O. Вот средние данные из 10 опытов:

Рядковое удобрение (на 1 га)	Урожай корней свеклы (в центнерах с 1 га)
25 кг P_2O_5	230
25 кг P_2O_5 + 10 кг N	244
25 кг P_2O_5 + 20 кг N + 30 кг K_2O	260
25 кг P_2O_5 + 30 кг N + 30 кг K_2O	270

Для практического применения в настоящее время рекомендуются более низкие нормы азота и калия—10 кг N и 10—15 кг K_2O (при дозах фосфора от 20 до 30 кг P_2O_5 на гектар).

У обыкновенной комбинированной свекловичной сеялки сошник, высевающий семена, идет по тому же рядку, что и сошник, высевающий удобрение. Опыты с внесением удобрений при посеве на некотором расстоянии от семян (на 2—3 см глубже семян или сбоку рядка на глубину от 5 до 10 см) показывают, что таким путем можно повысить действие рядкового удобрения. При таком способе внесения можно было бы более смело итти на увеличение доз рядкового удобрения, так как при этом избегается непосредственный контакт удобрений с прорастающими семенами. Вот один из примеров (из полевых опытов ВНИИСП, Бракпов, 1937 г.):

Удобрение (дозы по расчету на 1 га)	Урожай свеклы (в центнерах с 1 га)	Прибавка (в центнерах на 1 га)
Без рядкового удобрения	282	—
10 кг N, 30 кг P_2O_5 и 10 кг K_2O в рядки	301	+19
30 кг N, 45 кг P_2O_5 и 30 кг K_2O сбоку рядка на глубину 7 см	330	+48

Внесение удобрений под сахарную свеклу во время вегетации (подкормка), как известно, широко было использовано стахановцами-свекловодами, а затем получило распространение на большей части посевов свеклы. При получении высоких урожаев подкормка является мощным средством активного воздействия на растения путем усиления питания растений в определенные периоды роста. Усиление питания с помощью внесения подкормки вскоре после всходов способствует более быстрому росту растений, образованию мощной ассимилирующей поверхности листьев. Особенно велика роль *усиления азотистого питания при ранних подкормках*.

При сравнении действия одних и тех же доз удобрений, вносимых целиком в основном удобрении или в подкормках или же при внесении части удобрений с осени, а части—в подкормках, в ряде опытов при умеренных дозах наблюдались примерно одинаковые прибавки урожая или же небольшая тенденция к увеличению действия удобрений от перенесения части азота в подкормку. В качестве примера можно привести следующие данные ВНИИСП (средние из 53 опытов 1937 г.):

Удобрение	Урожай корней (в центнерах с 1 га)	Прибавка от азотистого удобрения (в центнерах на 1 га)
PK	260	—
PK + N (основное удобрение)	298	+38
PK + N ($^1/_4$ в основном удобрении и $^3/_4$ в подкормке)	302	+42
PK + N (вся доза азота внесена в подкормках)	296	+36

Несмотря на сравнительно высокие дозы удобрений, применявшиеся в этих опытах (90—120 кг N на гектар), заметной разницы в урожаях от перенесения части (или всей дозы) азота из основного удобрения в подкормку не наблюдалось.

Однако если сравнивать действие одних и тех же доз удобрений, внесенных в подкормках или же весной под культивацию, то преимущество подкормки (если она вносится правильно, т. е. растениепитателем на соответствующую глубину) выступает по ряду опытов достаточно определенно. Поэтому если с осени почему-либо удобрения не были внесены или внесены в недостаточном количестве, то имеется полное основание внести их в подкормках, а не под весеннюю культивацию.

При современном среднем уровне обеспеченности свеклы минеральными удобрениями и в ближайшей перспективе, несомненно, главными приемами внесения их под свеклу надо признать *основное удобрение с осени* и *рядковое удобрение*. И то и другое, как правило, должно применяться *на всей площади посева свеклы*.

При употреблении более высоких суммарных доз удобрений в расчете на получение урожаев порядка 500—700 ц на 1 га и выше, при лучшей агротехнике, когда растения лучше обеспечены влагой (например, при поливе) и т. д., роль подкормок как способа создания более благоприятных условий питания для формирования высокого урожая, очевидно, является повышенной. Если свекла не получает искусственного полива, то действие подкормки в большей степени зависит от метеорологических условий, чем действие основного удобрения. При выпадении в течение лета большого количества осадков роль подкормки (как и при поливах) бывает выше как вследствие лучших условий для использования растениями вносимых питательных веществ, так отчасти и потому, что обильные осадки могут снизить обеспеченность растений азотом из-за опускания нитратов в более глубокие горизонты почвы.

Для получения урожаев свеклы порядка 500—700 ц на гектар и выше, как это показывает опыт стахановцев, кроме сочетания основного удобрения с подкормками, определенное значение следует придавать также сочетанию минеральных удобрений с органическими. Внесение органических удобрений позволяет сильно повысить общее количество усвояемых питательных веществ в почве без создания избыточной концентрации; с навозом в почву вносятся так называемые микроэлементы (B, Mn и др.), потребность в которых для образования высокого урожая бывает выше. Внесение навоза повышает интенсивность микробиологических процессов в почве, за счет чего происходит обогащение надпочвенного воздуха CO_2 и т. д.

Понятно, что для получения высокого урожая и для эффективного использования растениями повышенных доз удобрений должны быть обеспечены и другие условия, которые обычно объединяются понятиями культурного состояния почвы и высокой агротехники.

Чтобы дать некоторое представление о более или менее типичном распределении удобрений между основным, рядковым и подкормками, а также о величине доз удобрений, рекомендуемых для получения высоких урожаев сахарной свеклы на разных почвах, приведем здесь таблицу, составленную Институтом свекловичного полеводства на основе обобщения опыта стахановцев и учета данных полевых опытов и лабораторных исследований (за 1936—1939 гг.)[1] (см. табл. на стр. 554).

Из данных этой таблицы видно, что различия в дозах и соотношениях удобрений (как в зависимости от почвенных условий, так и от высоты целевого урожая) главным образом касаются *основного удобрения*.

Приводя эти примерные дозы удобрений, мы должны оговориться, что их не следует принимать за какие-то раз навсегда установленные и не подлежащие изменению нормативы. Они должны подвергаться коррективам и изменениям с учетом местных условий и результатов опытной работы.

[1] Ф. С. Соболев. «Химизация социалистического земледелия», № 2—3, 1940 г.

Примерные дозы удобрений для получения высоких урожаев сахарной свеклы

Уровень корней (в центнерах с 1 га)	Почвы	Основное удобрение с осени						Подкормка (в килограммах на 1 га)			Обеспеченность почвы агротехникой	
		навоз, тонны (в тоннах на 1 га)	минеральные удобрения (в килограммах на 1 га)			Подкормка (в килограммах на 1 га)						
			N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
250—350	Серые и светло-серые оподзоленные почвы	—	45—60	30—45	45—60	10	20	—	20	20	20	Для повышенного уровня агротехники и почв невысокой окультуренности. Но при высоком уровне агротехники и в дождливые годы, в среднем 15—20 т на гектар
	Выщелоченные и оподзоленные черноземы	—	45—60	45	45—60	10	25	10	20	20	20	
	Мощные и обыкновенные черноземы	—	30	45—60	50	10	30	10	20	20	20	
500—600	Серые и светло-серые оподзоленные почвы	20—30	80	70—45	80	10	20	—	20	20	20	Для почв с высоким плодородием или хорошо окультуренных, при обеспечении высоких уровней агротехники и соответствующих сильных доз навоза (полевые или ближние стойловые грунтовые навозы)
	Выщелоченные и оподзоленные черноземы	20	60	80	60	10	25	10	20	20	20	
	Мощные и обыкновенные черноземы	20	50	80	50	10	30	10	20	20	20	
	Пойменные почвы (торфяно-луговые, подзолы и пр.)	10—20	30	60	60	—	30	—	20	20	20	
1 000—1 100	Серые оподзоленные почвы	40—60	100	70	150	10	20	10	40	40	40	
	Черноземы	40	120	150	150	20	30	10	40	40	40	
	Низинные почвы	20—40	60	140	160	—	30	10	40	40	40	

При нормальных условиях роста свеклы под влиянием калийных и фосфатных удобрений содержание сахара в корне чаще всего повышается. Избыток азотистого питания, в особенности во второй половине вегетации свеклы, когда идет процесс отложения сахара в корне, может снизить процент сахара и повысить содержание «вредного азота»[1]. Отмечено, что положительное действие калия и фосфора на качество урожая свеклы более определенно выступает, если уровень азотистого питания не является избыточным. Это обстоятельство следует учитывать, в частности, при проведении подкормок и не создавать избыточного азотистого питания, особенно осторожно относясь к проведению поздних подкормок азотом.

Высоковыным институтом свекловичного полеводства рекомендовались в соответствии со сказанным такие схемы подкормок в зависимости от высоты целевого урожая:

При получении урожая (в центнерах с 1 га)	Состав удобрений в подкормках				
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
500	NPK	PK	—	—	—
600	NPK	NPK	PK	—	—
800	NPK	NPK	NPK	PK	—
1 000	NPK	NPK	NPK	PK	PK

Первые подкормки рекомендуют вносить ближе к ряду растений (8—10—12 см) на глубину 10—12 см, а в последующем увеличивать и расстояние от ряда и глубину заделки (до 18—20 см).

Что касается *форм удобрений*, применяемых в свекловичных севооборотах, то здесь надо отметить следующее.

Из фосфатов преимущественное значение имеет *суперфосфат*. В основном удобрении под свеклу или под озимые культуры с одинаковым успехом может применяться томасшлак, а на менее насыщенных основаниями почвах применяется также и фосфоритная мука.

В рядки (и в подкормках) из фосфорнокислых удобрений вносится, как правило, суперфосфат. В последнее время получены данные, указывающие на целесообразность применения для внесения в рядки смеси суперфосфата с небольшой дозой фосфоритной муки (для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и улучшения физических свойств его).

Для внесения азота в основном удобрении с осени под свеклу (или под кормовые зерновые) более подходят такие удобрения, как сульфат аммония или же нитрат-сульфат аммония (лейна-селитра, монтан-селитра), а для подкормок (в связи с большой подвижностью нитратного азота в почве)—*амселитра* или же $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$.

Для рядкового удобрения лучшей формой азотистого удобрения является $NaNO_3$ по таким соображениям: 1) молодые проростки свеклы бедны углеводами и поэтому чувствительны к избытку аммиачного питания; 2) на развитие свекловичного растения положительное действие оказывает натрий; 3) $NaNO_3$ обладает хорошими физическими свойствами, что облегчает равномерное внесение малой дозы удобрения в рядки.

При отсутствии $NaNO_3$ и необходимости выбора между $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4NO_3 иногда предпочтение (для внесения в рядки) отдают сульфату аммония ввиду его лучших физических свойств, хотя с физиологической стороны амселитра была бы более подходящей. Во всяком случае при употреблении амселитры для внесения в рядки надо следить за тем, чтобы она была хорошо измельчена и был обеспечен равномерный ее высев.

Из калийных удобрений для внесения под свеклу пригодны и хлористый калий и 30—40% соли, причем последние часто действуют даже лучше благодаря содержанию в них натрия. То же относится и к сильвиниту. Наличие большого количества хлора в калийных солях для сахарной свеклы опасности не представляет.

Сахарная свекла отличается повышенными требованиями к наличию в почве усвояемого бора, страдая при недостатке его «гнилью сердечка». Выявле-

[1] См. сказанное на стр. 257—258.

ние районов, почв, где внесение содержащих бор удобрений под свеклу дает положительный эффект, представляет актуальную задачу.

* * *

При разработке системы удобрения свекловичных севооборотов в *новых районах* свеклосеяния (Западная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия и др.) надо учитывать ряд специфических моментов, отличающих условия возделывания свеклы (и других культур) от тех, которые типичны для основных районов свеклосеяния. Сюда относятся прежде всего почвенно-климатические условия, состав культур севооборота и порядок их чередования, насыщение севооборота свеклой и т. д.

В свеклосеющих районах Средней Азии (Киргизская ССР, Казахская ССР) средние урожаи сахарной свеклы получаются значительно более высокими, чем в остальных областях свеклосеяния. Благоприятные в смысле притока солнечной энергии (свет, тепло) климатические условия и обеспеченность влагой путем поливов создают здесь большие возможности для дальнейшего повышения урожаев. Роль удобрений в поднятии урожаев свеклы в этих условиях весьма велика. Не останавливаясь подробнее на разборе всего того многообразия условий, которые имеют место в новых районах свеклосеяния, мы приведем здесь лишь в качестве примера более интенсивной системы удобрения свекловичного севооборота одну из схем, разработанных в Казахском институте земледелия (Крутиков).

Примерная схема размещения удобрений в свекловичном севообороте в условиях орошения (Казахская ССР, почвы каштановые, с глубоким стоянием грунтовых вод, без признаков вторичного засоления)

№ поля и культура	Удобрение (дозы по расчету на 1 га)
1. Яровые зерновые с подсевом люцерны	NPK, примерные дозы { N — 30 кг; P_2O_5 — 60 »; K_2O — 60 »
2. Люцерна 1-го года 3. Люцерна 2-го года	PK в дозах до 90 кг P_2O_5 и 120 кг K_2O
4. Яровая пшеница	PK, примерные дозы { P_2O_5—60 кг; K_2O—60 »
5. Сахарная свекла	NPK, примерные дозы (в килограммах):

	N	P_2O_5	K_2O
основное удобрение	60	150	90
в рядки	10	30	20
в подкормках[1]	45	60	60
Всего	115	240	170

6. Зернобобовые и прочие	Без удобрения (используют последействие)
7. Озимая пшеница	NPK, примерные дозы (в килограммах):

	N	P_2O_5	K_2O
основное удобрение	30	60	60
подкормка[1]	45	30	30

[1] Подкормка минеральными и местными удобрениями (навозная жижа и т. п.).

№ поля и культура	Удобрение (дозы по расчету на 1 га)
8. Сахарная свекла	Навоз 25 т + NPK, примерные дозы (в килограммах):

	N	P_2O_5	K_2O
в 25 т навоза	125	50	150
в минеральных удобрениях:			
основное	60	120	90
в рядки	10	30	20
в подкормках	45	60	60
Всего	240	260	260

Указанные в этой схеме дозы являются, конечно, весьма ориентировочными. По балансу азота эти дозы отвечают примерно среднему уровню урожаев в 500—600 ц свеклы и 20—30 ц зерновых на гектар. При таком уровне урожаев и принятых дозах калия и фосфора среднегодовой баланс (на гектар) по калию составляет в этом севообороте около—60 кг, а по фосфору+50 кг. Такое соотношение можно принять лишь для первых лет освоения системы удобрения с тем, чтобы в дальнейшем внести соответствующие коррективы, а именно: или снизить дозы фосфора, или же, наоборот, повысить дозы азота и калия (имея в виду дальнейший подъем среднего урожая).

ХЛОПКОВО-ЛЮЦЕРНОВЫЕ СЕВООБОРОТЫ (В РАЙОНАХ ПОЛИВНОГО ХЛОПКОВОДСТВА)

Обеспеченность удобрениями. Хлопчатник вместе с люцерной районов хлопководства по общему количеству применяемых минеральных удобрений занимает в СССР среди других культур второе (после сахарной свеклы) место. По размерам же применения азотистых удобрений хлопчатник стоит на первом месте, потребляя в настоящее время около половины всего количества минеральных азотистых удобрений, применяемых в сельском хозяйстве СССР.

О росте применения минеральных удобрений в хлопководстве могут дать представление следующие данные по Узбекской ССР, в которой сосредоточена значительная часть посевов хлопчатника:

Годы	Завоз удобрений (в тысячах тонн)	Количество удобрений в среднем на 1 га посевов хлопчатника (в центнерах)	Средний урожай хлопка-сырца (в центнерах с 1 га)
1932	28,5	0,29	8,2
1935	230,6	2,47	11,6
1939	476,0	5,18	17,0
1945 (план)	1 252,0	11,27	26,0

Как видно, за годы второй и третьей пятилеток снабжение хлопчатника минеральными удобрениями резко возросло, причем одновременно происходило и повышение среднего урожая хлопка-сырца.

Постановлениями СНК СССР и ЦК ВКП(б) о мерах по дальнейшему подъему хлопководства в Узбекистане, Туркмении, Таджикистане и Казахстане намечено увеличить посевную площадь под хлопчатником и вместе с тем поднять к 1945 г. средний урожай хлопка-сырца (по американским сортам) до 24—26 ц с гектара против 17 ц (в Узбекистане) в 1939 г.

В соответствии с установленным заданием по повышению урожайности хлопчатника наряду с другими мероприятиями намечается значительное

увеличение снабжения минеральными удобрениями. В среднем обеспеченность минеральными удобрениями хлопчатника к 1945 г. достигнет таких размеров:

Республики	В килограммах на 1 га		
	N	P_2O_5	K_2O
Узбекская ССР	93	110	21
Туркменская ССР	100	110	24
Таджикская ССР	100	120	30
Казахская ССР	100	110	25

Накопление навоза в районах поливного хлопководства происходит по сравнению с другими областями и районами в меньшем количестве. Во-первых, хлопчатник почти не дает кормовых продуктов (за исключением мыха; хлопок-сырец поступает на хлопкоочистительные заводы, а стебли и корни используются преимущественно в качестве топлива)[1], что, понятно, сказывается на соотношении между размерами животноводства и посевной площадью. Во-вторых, выходы навоза от 1 головы скота (при кратком стойловом периоде) бывают здесь, как правило, более низкими, чем, например, в подзолистой или черноземной зоне. Так, в качестве примерных норм выхода навоза от одной головы крупного рогатого скота здесь принимают 2—3 т в год (против 8—10 т в северной нечерноземной зоне).

Введение правильных севооборотов с посевом люцерны должно повысить обеспеченность животноводства кормами, а организация хранения навоза без потерь—увеличить выходы навоза от одной головы скота.

Почвенные условия. Посевы хлопчатника при орошении размещаются главным образом в средне-азиатских республиках (Узбекская ССР, Туркменская ССР, Таджикская ССР, Казахская ССР, Киргизская ССР), на долю которых приходится около 85% от всей посевной площади поливного хлопчатника, причем наибольшая часть падает на долю Узбекской ССР[2].

Почвы этих районов поливного хлопководства представлены преимущественно разностями *сероземов* (светлые и темные сероземы) и темноцветными луговыми, лугово-болотными и болотными почвами. Сероземы приурочены главным образом к повышенным элементам рельефа с глубоким стоянием грунтовых вод. Лугово-болотные почвы, наоборот, расположены в пониженных элементах рельефа при неглубоком уровне грунтовых вод.

Сероземы по сравнению с лугово-болотными почвами характеризуются меньшим содержанием органического вещества (около 1,5%), а в связи с этим и них невелико и общее содержание азота. В особенности невелико содержание органического вещества и азота в светлых сероземах. Различия в содержании органического вещества сказываются и на физических свойствах почв—в этом отношении темные сероземы и лугово-болотные почвы обладают несколько лучшими свойствами. Но в то же время надо иметь в виду, что на лугово-болотных почвах с неглубоко расположенным оглеенным горизонтом корневая система хлопчатника развивается лишь в верхнем, пахотном слое почвы. Поэтому под влиянием культуры эти почвы могут подвергаться более быстрому истощению, если не вносить достаточно удобрений.

Почвы районов орошаемого хлопководства по преимуществу карбонатные, они имеют нейтральную или щелочную реакцию; здесь распространены также почвы засоленные и солонцы, свойства которых характеризуются повышенным

[1] Использование остающихся после уборки хлопка стеблей (гуза-пая) в целях удобрения затрудняется тем, что при этом есть опасность распространения заболеваний хлопчатника. Поэтому необходима разработка соответствующих способов обеззараживания этих остатков.

[2] Из общей площади посевов хлопчатника в колхозах (около 2 млн. га в 1940 г.) на долю республик Средней Азии падает около 1 300 тыс. га (из них около 900 тыс. га в Узбекской ССР); часть посевов поливного хлопчатника расположена в Закавказье (около 200 тыс. га, главным образом в Азербайджанской ССР). Кроме того, на последнее время значительно расширились посевы хлопчатника в новых районах хлопководства (УССР, Ордженикидзевский край, Краснодарский край, Крымская АССР, Ростовская область и др.), где хлопок возделывается в основном без применения орошения (всего в новых районах около 500 тыс. га).

содержанием растворимых солей (солончаки, солончаковые почвы) и наличием в поглощающем комплексе натрия (солонцы, солонцевые почвы). Однако для почв, находящихся под культурой, характерны высокая насыщенность кальцием и магнием с преобладанием кальция в составе поглощенных катионов.

Сильно засоленные почвы (солончаки, такырные почвы) для введения в культуру нуждаются в предварительном осуществлении ряда мер с целью удаления растворимых солей и в улучшении физических и физико-химических свойств.

Борьба с засолением почв в районах орошаемого хлопководства имеет важнейшее значение. Наряду с применением соответствующих мелиоративных мероприятий (устройство сбросной сети, проведение промывных поливов и т. д.) большая роль в этом отношении принадлежит введению правильных севооборотов с участием люцерны и улучшению свойств почв с помощью органических удобрений (а в известных случаях и путем гипсования).

В общем для сероземов характерно невысокое содержание усвояемых форм азота и фосфора. В некоторой степени здесь замечается связь между содержанием в почве органического вещества и обеспеченностью растений азотом в усвояемой форме. Несколько выше обычно бывает обеспеченность азотом на почвах лугово-болотных, содержащих по сравнению с сероземами большее количество органического вещества.

Условия поливного режима оказывают сильное влияние на динамику азота в почве. Так, например, проведение промывных поливов сопровождается вымыванием нитратного азота; периодическое увлажнение почвы поливами в течение вегетационного периода и испарение в межполивные промежутки вызывают передвижение влаги в почве, а вместе с ней и находящихся в почве нитратов. Последнее часто приводит к скоплению нитратов в самых верхних слоях почвы, что затрудняет использование их корневой системой растений.

Фосфорная кислота как в сероземах, так и в лугово-болотных почвах подвергается весьма интенсивному связыванию, главным образом, повидимому, в результате процессов химического поглощения и образования трудно растворимых фосфатов кальция (по некоторым данным, в карбонатных почвах ретроградация фосфатов доходит до образования трудно растворимых и малоусвояемых соединений типа гидрооксиапатита или карбонатапатита). Вместе с тем имеются предположения, что на лугово-болотных почвах, содержащих много коллоидных полуторных окислов, последние также принимают участие в связывании фосфорной кислоты в малоусвояемые для растений формы. Особенно сильно (по наблюдениям Б. Мачигина) связывается фосфорная кислота в оглеенных горизонтах лугово-болотных почв.

Содержание усвояемого для растений калия, как правило, в почвах районов орошаемого хлопководства бывает сравнительно высоким и обеспеченность калием выше, чем азотом и фосфором. Однако под влиянием культуры люцерны и при увеличении выноса калия из почвы повышенными урожаями хлопчатника содержание усвояемого калия довольно сильно снижается и создаются условия для эффективного применения не только азотистых и фосфорнокислых, но и калийных удобрений.

При диференциации приемов удобрения в зависимости от почвенных особенностей приходится принимать во внимание не только общие различия между главнейшими почвенными разностями, о которых было сказано выше, но и ряд других признаков, позволяющих производить более детальное подразделение. Сюда относятся, в частности, различия в механическом составе почвы и свойствах подстилающей породы, а кроме того, и такие обстоятельства, которые связаны с изменениями почв под влиянием хозяйственной деятельности человека (отсюда такие термины, как «почвы недавнего освоения», «древне-орошаемые почвы» и т. п.). Определенное значение имеют различия, обусловленные неодинаковой интенсивностью предшествовавшего удобрения и тем или другим чередованием культур.

Севообороты. В настоящее время в районах орошаемого хлопководства начато массовое введение правильных хлопково-люцерновых севооборотов, и в течение ближайших лет будет иметь место переход на эти севообороты[1].

Для характеристики хлопково-люцерновых севооборотов приведем здесь несколько примеров.

1. Девятипольный хлопково-люцерновый севооборот с трехлетним пользованием люцерной

1. Люцерна 1-го года
2. Люцерна 2-го года
3. Люцерна 3-го года
4. Хлопчатник
5. Хлопчатник
6. Хлопчатник
7. Хлопчатник
8. Хлопчатник
9. Хлопчатник

2. Шестипольный севооборот с двухлетним пользованием люцерной

1. Люцерна 1-го года
2. Люцерна 2-го года
3. Хлопчатник
4. Хлопчатник
5. Хлопчатник
6. Хлопчатник

3. Десятипольный хлопково-люцерновый севооборот с включением одного поля прочих культур

1. Люцерна 1-го года
2. Люцерна 2-го года
3. Люцерна 3-го года
4. Хлопчатник
5. Хлопчатник
6. Хлопчатник
7. Зерновые (злаки и бобовые) и др.
8. Хлопчатник
9. Хлопчатник
10. Хлопчатник

На почвах, склонных к засолению, вводятся севообороты и с более узким соотношением между люцерной и хлопчатником. В качестве примера можно привести следующий семипольный севооборот, принятый в совхозе «Пахта-Арал» (Казахская ССР):

1. Люцерна 1-го года
2. Люцерна 2-го года
3. Люцерна 3-го года
4. Хлопчатник
5. Хлопчатник
6. Хлопчатник
7. Хлопчатник

На части же земель этого совхоза, вышедших из-под мелиорации, введен шестипольный севооборот с еще большим удельным весом люцерны[2]:

1. Люцерна 1-го года
2. Люцерна 2-го года
3. Люцерна 3-го года
4. Хлопчатник
5. Хлопчатник
6. Хлопчатник

Как видно, во всех хлопково-люцерновых севооборотах подобного типа условия возделывания хлопчатника в отношении характера предшественника будут в основном различаться тем, идет ли он по пласту (т. е. непосредственно после люцерны), по обороту пласта (т.е. на второй год после люцерны) или же после хлопчатника, более или менее отдаленного от люцерны. Наконец, в севооборотах, включающих поле зерновых (или других, кроме хлопчатника и люцерны, культур), будет еще поле хлопчатника, идущее вслед за этим предшественником.

В настоящее время (и в период перехода к правильным севооборотам в ближайшие годы) распределение посевов хлопчатника по предшественникам осуществляется не в таком строгом порядке, как это будет после освоения севооборотов. Однако в той или иной мере аналогичные различия в условиях имеют место: именно, часть посевов хлопчатника размещается на участках после распашки люцерны, часть в отдельных случаях идет после зерновых и прочих

[1] Так, согласно постановлению ЦК ВКП(б) и СНК СССР от 22 декабря 1939 г., хлопково-люцерновые севообороты в колхозах Узбекской ССР должны быть введены в 1943 г. на площади 1 350,2 тыс. га.

[2] М. Заонегин. Совхоз Пахта-Арал в третьей пятилетке. «Советский хлопок», № 5, 1939.

культур, а значительная доля посевов хлопчатника производится после хлопчатника же, возделывавшегося зачастую непрерывно на одном и том же поле в течение многих лет (такие участки называют «хлопковая старопашка»). Такой хлопковой старопашки в полном смысле этого слова в хлопково-люцерновом севообороте уже не будет, но все же будут поля, значительно удаленные от люцерны, на которых хлопчатник по хлопчатнику высевается в пятый или шестой раз подряд, и в этом смысле аналогичные старопашке.

Особенности питания хлопчатника. Как теперь, так и после освоения севооборотов ведущей культурой здесь, понятно, будет хлопчатник. Поэтому вопросы удобрения хлопчатника являются сейчас и будут в дальнейшем главными с точки зрения разработки правильной системы удобрения хлопково-люцерновых севооборотов.

Размеры потребления хлопчатником питательных веществ находятся в зависимости от высоты получаемого урожая. По данным СоюзНИХИ[1], вынос азота, фосфора и калия хлопчатником по расчету на 1 т хлопка-сырца составляет от 30 до 60 кг азота, от 10 до 20 кг P_2O_5 и от 30 до 60 кг K_2O (в среднем принимают 50 кг N, 15 кг P_2O_5 и 50 кг K_2O на каждую тонну сырца).

Вот некоторые данные из опытов Ан-Кавакской опытной станции[2], в которых был учтен вынос N, P и K урожаями хлопчатника (при различном удобрении) за четыре года[3].

Удобрение	Урожай хлопка-сырца за 4 года (в сумме) в центнерах с 1 га	Вынос урожаями за 4 года					
		в килограммах с 1 га			по расчету на 1 т сырца в килограммах		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Без удобрения	95,4	406	89	332	42,6	9,3	34,8
P	112,9	536	167	428	47,5	14,8	37,9
NP	137,4	691	182	589	50,3	13,3	42,9
NPK	153,5	707	191	632	46,1	12,4	41,2

Как видно, средний вынос N, P и K по расчету на 1 т сырца в этих опытах колебался, в зависимости от удобрения, в пределах 46—50 кг N, 9—15 кг P_2O_5 и 34—43 кг K_2O. Характерно довольно заметное изменение выноса фосфора (на каждую тонну сырца) под влиянием удобрений.

Вынос питательных веществ хлопчатником, рассчитанный на единицу урожая сырца, находится в зависимости от соотношения между вегетативными и репродуктивными органами хлопчатника. Чем больше сохранится завязей и образуется коробочек при одинаковой вегетативной массе, тем относительно меньше будет вынос питательных веществ по расчету на единицу урожая сырца. И наоборот, при большой вегетативной массе и меньшем числе коробочек расход питательных веществ на образование единицы урожая сырца будет повышен. В связи с этим замечают, что, например, у египетских сортов хлопчатника, для которых характерно более широкое соотношение между вегетативными и репродуктивными органами, вынос азота, фосфора и калия по расчету на 1 т сырца бывает выше, чем у американских сортов.

Отмечено, что при получении стахановцами-хлопководами высоких урожаев хлопчатника (50—100 ц с 1 га и выше) соотношение между вегетативными и репродуктивными органами бывает более благоприятным при высоком урожае сырца, т. е. на одно и то же количество вегетативной массы приходится больше продуктивной части урожая. Поэтому вынос N, P и K по расчету на каждую тонну сырца бывает в этих случаях, как правило, несколько ниже, чем при урожаях более низкого уровня. Другими словами, при лучшей агротехнике

[1] Всесоюзный научно-исследовательский институт хлопководства (Ташкент).

[2] Ташкентская область, Узбекской ССР.

[3] С. А. Кудрин. «Химизация социалистического земледелия», № 6, 1940.

и высоком урожае хлопка происходит как бы более экономное расходование питательных веществ для образования каждой единицы урожая сырца.

Но даже и при одном и том же уровне урожая вынос питательных веществ может быть различным в зависимости от условий питания и других факторов (полив и пр.), влияющих на развитие растения и, в частности, на соотношение между репродуктивными и вегетативными органами.

Поступление питательных веществ в течение вегетации растянуто у хлопчатника на большой период времени, причем интенсивность поступления сильно возрастает с момента начала бутонизации и далее, во время цветения и до массового созревания. По Е. А. Жорикову, «в начале роста, до стадии бутонизации, хлопчатник потребляет около 2—3% калия и около 3—5% азота и фосфора от общего количества потребленных питательных веществ за весь вегетационный период; от бутонизации до разгара цветения—около 25—30% азота и 15—20% фосфора и калия; от разгара цветения до массового созревания потребляется наибольшая часть питательных веществ, т. е. около 65—70% азота, 75—80% фосфора и калия. Таким образом, в период после цветения хлопчатник предъявляет особенно высокие требования к питательным веществам, особенно к фосфору и калию»[1].

Вот некоторые данные из опытов, проведенных в Таджикской ССР в 1938 г. (Протасов и Петрова)[2], иллюстрирующие ход поступления азота, фосфора и калия в хлопчатник в течение вегетации:

Сроки и фазы	В килограммах на 1 га			В процентах от общего выноса		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
От всходов до бутонизации, с 17/IV по 13/VI (57 дней)	14,3	3,6	16,0	8,4	8,1	10,0
От бутонизации до плодообразования, с 13/VI по 16/VIII (64 дня)	101,0	24,8	101,4	59,7	56,1	63,6
От плодообразования до конца вегетации, с 16/VIII до 11/X (57 дней)	54,5	15,8	42,3	31,9	35,8	26,4

Изменение интенсивности потребления питательных веществ хлопчатником в течение вегетационного периода, по данным тех же авторов, представлено на рисунке 69.

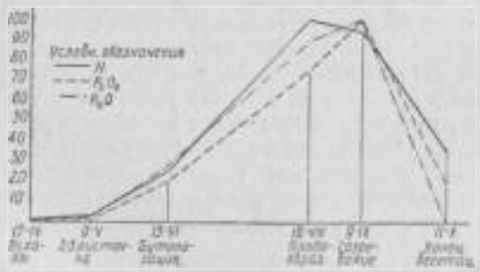


Рис. 69. Среднесуточное потребление N, P и K хлопчатником при урожае хлопка-сырца 40 ц с 1 га (в процентах от максимального среднесуточного потребления этих элементов).

Как видно из этих данных, наиболее интенсивное потребление хлопчатником азота, фосфора и калия происходит после цветения, во время плодообразования и начала созревания. Так как цветение у хлопчатника начинается после $2-2^1/_2$ месяцев после посева, то между началом роста хлопчатника и периодом интенсивного потребления питательных веществ проходит значительный промежуток времени. Это обстоятельство имеет существенное значение для правильного понимания условий эффективного использования хлопчатником удобрений при разных сроках и способах их внесения.

Размещение удобрений в севообороте. Минеральные удобрения, как правило, вносятся на всей площади посевов хлопчатника. Люцерна в хлопко-

[1] «Химизация социалистического земледелия», № 6, 1939.
[2] «Советский хлопок», № 2, 1940.

вых районах также получает минеральные удобрения (фосфатные или фосфатные и калийные). Поэтому система удобрения хлопково-люцернового севооборота характеризуется *очень высокой интенсивностью*.

В этих условиях вопросы размещения удобрений в севообороте касаются, во-первых, места органических удобрений в севообороте и, во-вторых, соотношения минеральных удобрений и доз их, вносимых в том или другом поле.

В зависимости от размеров накопления навоза можно наметить следующие примерные схемы размещения его в хлопково-люцерновом севообороте:

Схема размещения навоза в севообороте

Поля севооборота	При меньшем количестве навоза	При большем количестве навоза
1—3. Люцерна	—	—
4. Хлопчатник	—	—
5. Хлопчатник	—	—
6. Хлопчатник	—	Навоз
7. Хлопчатник	Навоз	—
8. Хлопчатник	—	Навоз
9. Хлопчатник	—	—

В пользу такого типа размещения органических удобрений говорит следующее: в полях после люцерны почва обладает лучшими физическими свойствами и менее нуждается во внесении органического вещества. С этой точки зрения наиболее резко, казалось бы, выявляется необходимость внесения органических удобрений в последнем поле севооборота. Но, учитывая последействие навоза, для более полного использования его лучше вносить навоз, например, за два года до окончания ротации. При большей обеспеченности навозом и распределении его по второму варианту первые два поля хлопчатника (4-е и 5-е поля данного севооборота) имеют хороший фон после люцерны, в 6-м и 8-м полях хлопчатник получает органическое удобрение, а в 7-м и 9-м—использует его последействие.

Следует, однако, заметить, что потребность во внесении органических удобрений определяется здесь не только местом данного поля в севообороте, но еще и особенностями почвы. Так, считают, что более богатые органическим веществом луговые и лугово-болотные почвы менее нуждаются во внесении навоза, а среди сероземов тяжелые, глинистые почвы, обладающие плохими физическими свойствами, в первую очередь должны быть обеспечены органическими удобрениями. Наконец, внесение навоза оказывается особо важным на участках, где проводится углубление пахотного горизонта. Поэтому схемы размещения органических удобрений в хлопково-люцерновом севообороте, аналогичные вышеприведенным, не могут охватить полностью всего разнообразия условий, которые надо принимать во внимание в конкретной обстановке, учитывая, в частности, особенности почвенного покрова данного хозяйства. Но наряду с ними при составлении плана применения навоза надо иметь в виду и место того или другого поля в севообороте.

Кроме навоза и компостов, в районах хлопководства применяются так называемые землистые удобрения (арычный ил, озерная земля, дувальная земля и т. п.). Эти удобрения надо применять опять-таки с учетом свойств почв. На почвах легких следует вносить арычный ил и другие землистые удобрения, состоящие из мелких глинистых частиц. На почвах же тяжелых следует применять ил из арыков с песчаными отложениями и т. п. Такое использование землистых удобрений позволяет улучшать физические свойства почв.

Минеральные удобрения, как уже было сказано, вносятся во всех полях севооборота, занятых хлопчатником, в том числе и на участках, удобренных навозом.

Однако дозы и соотношения удобрений устанавливаются различные, в зависимости от почвенных условий и в соответствии с намеченной высотой урожая. При этом уровень урожайности проектируется с учетом всего комплекса агротехнических мероприятий, обеспечивающих возможность получения урожая намеченной высоты. Ниже (стр. 565) мы приводим таблицу примерных доз минеральных удобрений под хлопчатник, дифференцированных в зависимости от задания по урожайности и почвенных условий.

Что касается размещения минеральных удобрений в севообороте, то надо принимать во внимание, во-первых, повышенную обеспеченность азотом почв

после распашки люцерны. Поэтому дозы азотистых удобрений в этих полях могут быть несколько снижены.

Потребность в фосфоре и калии после хорошо развитой люцерны, наоборот, может относительно возрасти в связи с повышенным использованием усвояемых форм этих элементов люцерной. При высоких урожаях люцерна выносит из почвы довольно большое количество P_2O_5 и K_2O (около 65 кг P_2O_5 и 150 кг K_2O на каждые 100 ц сена).

Во всяком случае, соотношение между азотом, с одной стороны, и фосфором и калием—с другой, для внесения под хлопчатник, идущий в севообороте после люцерны, должно быть иным, чем на тех же почвенных разностях, но на хлопковой старопашке. Так, рекомендуют придерживаться следующих примерных соотношений между $N : P_2O_5 : K_2O$ в составе полного удобрения под хлопчатник (в годовых нормах):

Почвы	После люцерны 1-го и 2-го года распашки	Хлопковая старопашка	Поля, удобренные навозом в количестве более 15 т на гектар
	$N : P_2O_5 : K_2O$	$N : P_2O_5 : K_2O$	$N : P_2O_5 : K_2O$
Сероземы и светлолуговые . . .	1 : 2 : 1	1 : 1 : 0,3	1 : 1,5 : 0
Темнолуговые и лугово-болотные, с мощным гумусовым горизонтом	1 : 2 : 1	1 : 1,5 : 0,5	1 : 2 : 0
Сероземы, с близким подстиланием галькой или песка, песчаные и супесчаные	1 : 1,5 : 1	1 : 0,5 : 0,5	1 : 1,5 : 0,5

В соответствии с этим характер размещения удобрений в хлопково-люцерновом севообороте можно представить следующим образом:

Примерная схема размещения удобрений в хлопково-люцерновом севообороте[1]

Поля севооборота	При меньшем количестве навоза		При большем количестве навоза	
	удобрение	соотношение $N : P_2O_5 : K_2O$ в минеральных удобрениях	удобрение	соотношение $N : P_2O_5 : K_2O$ в минеральных удобрениях
1—3. Люцерна	P или PK	—	P или PK	—
4. Хлопчатник	NPK	1 : 2 : 1	NPK	1 : 2 : 1
5. Хлопчатник	NPK	1 : 2 : 1	NPK	1 : 2 : 1
6. Хлопчатник	NPK	1 : 1 : 0,3	NP + навоз	1 : 1,5 : 0
7. Хлопчатник	NP + навоз	1 : 1,5 : 0	NPK	1 : 1 : 0,3
8. Хлопчатник	NPK	1 : 1 : 0,3	NP + навоз	1 : 1,5 : 0
9. Хлопчатник	NPK	1 : 1 : 0,3	NPK	1 : 1 : 0,3

На участках, получающих навозное удобрение, из полного минерального удобрения может быть совсем исключен калий или доза его значительно снижена. В меньшей степени снижаются на навозном фоне дозы азота и фосфора. По поводу калия надо заметить, что необходимость его внесения выступает достаточно отчетливо лишь при получении более высоких урожаев. Даже на легких почвах, относительно менее обеспеченных калием, при урожаях в 15—20 ц на гектар потребность во внесении калия обычно не возникает.

При урожаях же выше 30 ц на гектар потребность во внесении калия проявляется не только на легких почвах, особенно, если иметь в виду систематическое получение высоких урожаев из года в год. При урожае сырца около 30 ц вынос калия хлопчатником составляет примерно 150 кг K_2O на гектар. Надо полагать, что ежегодное отчуждение такого или еще большего (при более высоких урожаях) количества калия, несомненно, будет повышать потребность во внесении калийных удобрений под хлопчатник. Но для того, чтобы использовать калийные удобрения достаточно эффективно, особенно важно учитывать различия в свойствах почв и контролировать действие удобрений путем полевых опытов.

[1] Указаны примерные соотношения удобрений в годовых нормах для серозёмов и светлолуговых почв.

На почвах засоленных и недостаточно промытых калийные удобрения, как правило, не вносятся совсем.

Дозы удобрений под хлопчатник. Для того чтобы дать более конкретное представление о характере дифференцировки доз минеральных удобрений в зависимости от задания по урожайности и почвенных условий, приведем здесь таблицу примерных доз удобрений, рекомендованных в 1940 г. НКЗ СССР для поливного хлопчатника в республиках Средней Азии.

Примерные дозы минеральных удобрений под хлопчатник (при внесении)
(в килограммах на 1 га)

Поля	Задание по урожайности (в центнерах с 1 га) (сырца)		Светлые серозёмы с близким подстиланием галькой или песка, песчаные и супесчаные почвы			Серозёмы и светлолуговые почвы			Темные луговые почвы с мощным гумусовым горизонтом и почвы лугово-болотные		
	для тонковолокнистых сортов	для американских сортов	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Хлопковая старопашка	10—15	15—20	90	75	—	70	70	—	30	50	—
	15—20	20—30	130	110	75	120	120	—	80	120	—
	20—30	30—40	170	130	100	160	160	80	120	160	80
	30—40	40—50	200	150	125	190	190	90	150	190	90
Участки, удобренные навозом в количестве более 15 т на 1 га	10—15	15—20	50	50	—	30	45	—	—	—	—
	15—20	20—30	90	90	35	80	110	—	40	80	—
	20—30	30—40	130	120	60	120	150	40	80	150	40
	30—40	40—50	140	140	85	150	180	50	110	200	50
Участки из-под хорошо развитой люцерны первого и второго года распашки	15—20	20—30	60	90	60	—	—	—	—	—	—
	20—30	30—40	100	150	100	75	150	60	60	150	60
	30—40	40—50	130	180	120	120	200	90	90	200	100
	40—50	50—60	—	—	—	150	220	120	120	225	140

Понятно, что эти дозы подлежат уточнению в зависимости от конкретных почвенных и агротехнических условий.

Наряду с тем, что при высоких урожаях хлопчатника сильно возрастает вынос питательных веществ и, следовательно, повышается потребность в удобрениях, следует иметь в виду значение последействия удобрений, которое может вносить в этом отношении некоторые коррективы. Именно на почвах, сильно удобрявшихся в предшествовавшие годы, обеспеченность питательными веществами может оказаться повышенной, и поэтому урожаи определенной высоты могут быть на таких почвах достигнуты при меньших дозах удобрений, чем на почвах, ранее не удобрявшихся или слабо удобренных.

Значение предшествовавшего удобрения можно иллюстрировать следующими данными учета урожаев хлопчатника в колхозах Андижанского района, Узбекской ССР, в зависимости от почвенных условий и удобрений[1] (см. табл. на стр. 566, сверху).

[1] Н. Б а л а б о, «Советский хлопок», № 1, 1939.

Почвенные условия	Урожай хлопка-сырца (в центнерах с 1 га)		
	без удобрения	при дозах удобрений (N и P_2O_5) на гектар	
		около 100 кг	около 200 кг
Сероземы недавнего освоения	10—12	20—25	—
Древнеполивные сероземы, слабо удобренные в предыдущие годы	15—20	25—30	35—45
Древнеполивные сероземы, сильно удобренные в предыдущие годы	20—30	35—45	45—60

Из этих данных видно, что, например, урожаи в 20—25 ц сырца на сероземах недавнего освоения были получены при внесении удобрений в дозах около 100 кг N и 100 кг P_2O_5 (на 1 га); такой же высоты урожаи (20—30 ц) получены и без внесения удобрений, но на почвах, сильно удобрявшихся в предыдущие годы. Урожаи в 35—45 ц на тех же (ранее сильно удобрявшихся) почвах получены при дозах удобрений около 100 кг N и P_2O_5, а на других почвах—при дозах, вдвое более высоких.

Последействие удобрений, несомненно, может иметь значение и в отношении условий, создающихся после распашки люцерны. Если люцерна была сильно удобрена фосфором или фосфором и калием, то на полях после люцерны обеспеченность этими элементами может быть не снижена, как это обычно представляют, а, наоборот, повышена за счет последействия. Точно так же после сильно удобрявшегося хлопчатника обнаружится последействие на люцерне.

Вот, например, данные одного из опытов, в котором учитывалось последействие удобрений, внесенных под хлопчатник (за три года), на урожай люцерны (Ак-Кавакская опытная станция).

Удобрение (внесено под хлопчатник за 3 года)	Урожай люцерны (в центнерах с 1 га)
Без удобрения	27,8
Жмых (180 кг N, 84 кг P_2O_5 и 53 кг K_2O)	38,1
Минеральные удобрения (53 кг N, 180 кг P_2O_5 и 202 кг K_2O)	47,1
Навоз (520 кг N, 260 кг P_2O_5 и 650 кг K_2O)	61,6

При большом насыщении удобрениями хлопково-люцерновых севооборотов последействие, несомненно, должно иметь существенное значение. В связи с этим надо заметить, что рекомендуемые в настоящее время дозы удобрений (см. табл. на стр. 565) при их систематическом внесении в севообороте, повидимому, будут в состоянии обеспечить более высокие урожаи, чем при внесении тех же доз на почвах, ранее удобрявшихся менее интенсивно.

Так, например, для урожаев в 20—30 ц египетского хлопчатника и соответственно 30—40 ц американского (с гектара) в настоящее время рекомендуются дозы фосфорных удобрений в 150—160 кг P_2O_5 на гектар.

За ротацию девятипольного хлопково-люцернового севооборота это составило бы в сумме около 900 кг P_2O_5 на гектар (считая ежегодное внесение в шести полях под хлопчатник). Суммарный вынос фосфора за ротацию такого севооборота при среднем урожае люцерны в 100 ц и хлопчатника в 30—40 ц составит около 500 кг P_2O_5 на гектар. Таким образом, если даже не считать фосфора, вносимого под люцерну, то и тогда средний баланс по фосфору в таком севообороте сводится с превышением около 400 кг P_2O_5 на гектар за ротацию или около +45 кг P_2O_5 в среднем в год; если же принять во внимание внесение фосфора под люцерну и фосфор навоза, то разница будет еще больше (она достигает 60—70 кг P_2O_5 на гектар). Надо полагать, что такое большое превышение внесения фосфора над выносом его урожаями при ежегодном внесении удобрений вряд ли будет выражаться необходимостью, хотя в первые годы усиления интенсивности удобрения это и может быть целесообразным в связи с невысоким коэфициентом использования фосфора удобрений растениями.

В отношении калия при рекомендуемых в настоящее время дозах баланс получается иной, а именно: при тех же урожаях вынос калия в девятипольном хлопково-люцерновом севообороте составит за ротацию около 1 500 кг K_2O с 1 га, или около 160 кг K_2O в среднем в год. Если учесть, что для урожаев в 30—40 ц сырца дозы калия рекомендуются в пределах 60—100 кг K_2O на гектар, то средний ежегодный дефицит калия достигает в этих условиях примерно 50% от выноса его урожаями, или 60—100 кг K_2O на гектар в год.

Поэтому не исключена возможность, что по мере роста урожайности хлопчатника и люцерны относительная потребность в калийных удобрениях в условиях хлопково-люцернового севооборота окажется со временем более высокой, чем это имеет место теперь.

Баланс азота в хлопково-люцерновом севообороте складывается примерно следующим образом. Если принять, что люцерна даст в корневых остатках около 200 кг N на гектар (за 3 года) и отнести за счет фиксации азота азотобактером около 20 кг N в год, то это даст в сумме за ротацию девятипольного севооборота около 350—400 кг азота на гектар. Вынос азота хлопчатником (в 6 полях) при среднем урожае в 30—40 ц сырца составит около 1 000 кг с гектара за ротацию. Допуская, что за счет внесения навоза в одном из полей будет дано 100 кг N на гектар, получаем, что минеральными удобрениями надо покрыть около 500—550 кг, или примерно 50—55% от выноса азота урожаями. В среднем это составляет 80—90 кг N на гектар в год (считая на 6 полей хлопчатника), что приблизительно соответствует рекомендуемым в настоящее время дозам азота для получения урожаев в 30—40 ц сырца (американского хлопчатника) по навозному фону и после люцерны, но заметно ниже доз азота, рекомендуемых для этого уровня урожаев на неудобренной навозом старопашне.

Способы и сроки внесения удобрений под хлопчатник. Применение правильных сроков и способов внесения удобрений под хлопчатник позволяет в сильной степени повысить коэфициент использования питательных веществ удобрений и действие удобрений на урожай хлопчатника.

Зная средние размеры выноса питательных веществ на 1 т урожая сырца и прибавку урожая от удобрений в полевых опытах и в хозяйственных условиях, можно приблизительно подсчитать коэфициент использования питательных веществ удобрений в этих условиях. Так, например, если принять приведенные выше данные о выносе азота хлопчатником в пределах 30—60 кг N на каждые 10 ц сырца, то при использовании полностью внесенного азота можно было бы ожидать прибавки урожая хлопка-сырца от 17 до 33 кг на каждый килограмм внесенного азота (так называемая оплата удобрения прибавкой урожая).

Фактически, по данным полевых одногодичных опытов, прибавка урожая сырца на 1 кг внесенного азота чаще всего колебалась в пределах от 5 до 10 кг сырца, хотя в отдельных случаях, особенно при лучшей агротехнике и получении высокого урожая, эта оплата поднимается до 20 и выше килограммов сырца на 1 кг азота. По сообщению Л. Голодковского[1], коэфициент использования азота хлопчатником в год внесения удобрения (по данным СоюзаНИХИ) в массовых хозяйственных опытах в среднем равнялся всего 27%, а для фосфора—от 10 до 20%.

Определения коэфициента использования удобрений хлопчатником (путем анализа растений с удобренных и неудобренных делянок полевого опыта), проведенные на Ак-Кавакской опытной станции (С. Кудрин), показали, что использование азота внесенных минеральных удобрений (при учете за несколько лет подряд) достигает в отдельных случаях 80—100%, но иногда составляет и менее 50%. В тех же опытах коэфициент использования фосфора колебался в пределах около 15—30%.

Сравнительно невысокий коэфициент использования фосфора удобрений является более или менее общим явлением, в основном связанным с процессами ретроградации растворимых фосфатов в почве. В этом отношении почвы районов хлопководства не представляют исключения, наоборот, как уже было сказано, вследствие высокой карбонатности связывание фосфорной кислоты происходит здесь довольно энергично.

Благодаря быстрому поглощению фосфорной кислоты в месте внесения удобрения, передвижения ее в почве почти не происходит; отсюда большое значение таких способов внесения и заделки удобрения, которые обеспечивали бы наиболее благоприятное для усвоения корневой системой хлопчатника расположение удобрения в почве. В частности, важно правильно установить глубину заделки основного удобрения. При внесении фосфора в подкормках также надо иметь в виду фиксацию его в почве: именно внесение в поверхностный слой почвы, в зону постоянного рыхления в междурядиях на небольшую

[1] Л. И. Голодковский. «Итоги научно-исследовательских работ по вопросам удобрения хлопчатника и задачи на III пятилетку», доклад на пленуме ВАСХНИЛ в Ташкенте (1939 г.).

глубину, может не обеспечить образования нужного контакта между корневой системой и внесенным удобрением.

Азот минеральных удобрений, в отличие от фосфорной кислоты, обладает большой подвижностью в почве. В связи с тем, что почвы районов поливного хлопководства обладают нейтральной или щелочной реакцией и высокой биологической активностью, аммиачный азот удобрений подвергается здесь быстрой нитрификации, нитраты же легко передвигаются вместе с почвенной влагой.

Повидимому, низкий коэфициент использования азотистых удобрений хлопчатником, наблюдавшийся в большом числе полевых опытов, был следствием применения неправильных способов и сроков внесения удобрений. Он объясняется, во-первых, высокой подвижностью нитратного азота в почве и, во-вторых, тем характером передвижения влаги и растворимых солей, который создается в почве под влиянием поливного режима и соответствующих климатических условий. При внесении азотистых удобрений вразброс перед посевом хлопчатника, создаются условия для накопления нитратов в верхних слоях почвы, в гребнях рядков и вообще во всяких повышениях микрорельефа, где идет более интенсивное испарение влаги. Так как в первое время роста (до бутонизации—цветения) хлопчатник потребляет азота, как и других питательных веществ, очень мало, то за это время большая часть азота, внесенного с удобрениями до посева, передвигается к поверхности почвы, к гребням рядков, где и остается неиспользованной.

В некоторых случаях при внесении азотистых удобрений в допосевные сроки могут иметь место потери нитратов от вымывания. Это возможно в условиях неглубокого залегания водопроницаемой подстилающей породы (галечник), на почвах более легких, а также при неглубоком стоянии грунтовых вод. Проведение специальных промывных поливов с целью удаления избытка водорастворимых солей (на почвах засоленных), понятно, также вызвало бы вымывание нитратов, если бы азотистые удобрения были внесены до этих промывных поливов. Внесение азотистых удобрений во время вегетации позволяет создать лучшие условия для более полного использования растениями азота удобрений. При глубоком внесении подкормки растениепитателем в междурядия в периоды интенсивного потребления растениями азота (бутонизация, цветение и даже более поздние фазы), удобрения, попадая в зону распространения корневой системы, быстро используются растениями. Прибавка урожая на каждый килограмм внесенного азота в этих условиях бывает, как правило, более высокой, чем при внесении всей дозы азота до посева.

Практика применения удобрений стахановцами-хлопководами, так же как и данные опытных учреждений, указывают на большое значение дробного (в несколько сроков) внесения удобрений под хлопчатник в условиях орошения.

Вот один из примеров, иллюстрирующих значение внесения удобрений под хлопчатник во время вегетации. В опыте, проведенном в 1938 г. в колхозе им. Молотова, Ленинабадского района, Таджикской ССР, на почве с близким подстиланием (20—25 см) галечника были получены такие урожаи[1]:

Всего внесено удобрений (в килограммах на 1 га)			Из них внесено (в килограммах на 1 га)									Урожай сырца (в центнерах с 1 га)
			до посева			во время бутонизации			во время цветения			
N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
100	100	50	100	100	50	—	—	—	—	—	—	15,7
100	100	50	20	40	20	60	20	—	20	40	30	26,1

[1] Н. Малинин, «Советский хлопок», № 2, 1939.

В другом опыте, на фоне довольно высокого исходного плодородия почвы, при сравнительно умеренных дозах удобрений, равных 75 кг N и P_2O_5 на гектар, изменение сроков внесения удобрений дало такой результат[1]:

Варианты	Внесено (в килограммах на 1 га)						Урожай сырца (в центнерах с 1 га)
	до посева		в бутонизацию		в цветение		
	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	
Без удобрения	—	—	—	—	—	—	38,8
NP	50	50	—	—	25	25	44,6
»	—	—	50	50	25	25	50,3
»	—	25	25	—	50	50	52,5

Как видно, в этих опытах только за счет изменения сроков внесения удобрений при одной и той же годовой норме были получены разницы в урожае на 8—10 ц хлопка-сырца с гектара.

Правильное распределение годовой нормы удобрений между разными сроками внесения позволяет не только создать лучшие условия для более полного использования хлопчатником внесенных удобрений, но в известной степени регулировать его развитие с учетом состояния растений и питательного режима в почве на отдельных участках. Так, считают, что повышением уровня азотистого питания в разгар цветения можно увеличить плодообразование, а внесением фосфора и калия ускорить темпы открытия коробочек и созревание. С другой стороны, повышенный уровень фосфатного питания в период от всходов до бутонизации также ускоряет развитие хлопчатника.

Распределение годовой нормы удобрений между допосевными сроками внесения и внесением во время вегетации зависит от доз удобрений.

При малых (годовых) нормах удобрений, по данным СоюзНИХИ, более целесообразно *все количество азота* внести в *подкормках*. Так, при норме в 30 кг N рекомендуют вносить все количество его в один срок, во время цветения; при норме в 45—50 кг N—в два срока (во время бутонизации и в разгар цветения). Только при высоких дозах азота часть его вносят в основном удобрении до посева.

Что касается *фосфорных* и *калийных* удобрений, то *допосевному внесению*, наоборот, отводят *бо́льшую роль* и при невысоких годовых нормах рекомендуют все количество P и K вносить до посева.

В качестве примеров более или менее типичного распределения годовой нормы удобрений между допосевным внесением и подкормками в зависимости от размеров общей дозы удобрений и почвенных условий можно привести следующие (см. таблицу на стр. 570).

Путем такого распределения удобрений по срокам внесения стремятся обеспечить повышение уровня азотистого питания в период бутонизации—цветения и плодообразования с тем, чтобы во время бутонизации и начала цветения соотношение между N и P_2O_5 было с преобладанием азота. В ранний же период роста хлопчатника (до бутонизации) и начиная с массового цветения и плодообразования более благоприятным для формирования урожая хлопчатника является иное соотношение, а именно с преобладанием фосфора над азотом (или отношение 1 : 1).

В настоящее время в хлопковых районах применяются тукосмеси из азотистых и фосфорных удобрений с различными добавками (жмых, костная мука, преципитат, известь и др.), которые вводятся для улучшения физических свойств смесей (см. о смешивании удобрений ниже, стр. 637). В соответствии с отмеченными выше требованиями к соотношению N : P в удобрениях в зависимости от сроков внесения одни из смесей предназначаются для внесения до посева, другие—во время вегетации. В 1940 г., например, тремя тукосмеси-

[1] Из опытов СоюзНИХИ (павильон «Химизация», ВСХВ, 1940 г.).

Примерное распределение удобрений под хлопчатник между допосевным внесением и подкормками (в килограммах на 1 га)[1]

Задание по урожайности (в центнерах с 1 га) для американских сортов (в скобках—для египетских)	Почвенные условия	Голодная норма			Сроки и доза внесения удобрений											
					до посева			во время бутонизации			в начале цветения		в период массового цветения		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	N	P_2O_5	K_2O
15—20 (10—15)	Серозёмы, старопашка	70	70	—	20	35	—	20	—	—	—	—	30	35	—
	Легкие почвы, старопашка	90	75	—	20	40	—	20	—	—	20	10	30	25	—
	Темноцветные луговые и луговоболотные, старопашка	30	50	—	—	50	—	—	—	—	30	—	—	—	—
40—50 (30—40)	Серозёмы, старопашка	190	180	90	65	80	45	35	15	20	40	25	50	60	25
	Серозёмы, после люцерны	120	200	90	30	100	45	25	25	20	30	—	35	75	25
	Легкие почвы, после люцерны	130	180	120	40	90	60	25	10	25	30	20	35	60	35
50—60 (40—50)	Темноцветные луговые и луговоболотные, старопашка	190	220	100	60	100	50	40	30	25	30	30	60	60	25
	Темноцветные луговые и луговоболотные, после люцерны	120	225	140	40	120	70	30	30	30	—	—	50	75	40

тельными заводами (Кокандским, Каганским и Сумгаитским) выпускались такие тукосмеси:

Тукосмеси из сульфата аммония + + суперфосфат + добавки

	Содержание в процентах N	Содержание в процентах P_2O_5
Для внесения в предпосевной период	5,5	11
	6	12
	7	10,5
Для внесения в период бутонизации	12	6
Для внесения во время разгара цветения и начала плодообразования	9	9

Тукосмеси на аммиачитры + + суперфосфат + добавки

	Содержание в процентах N	Содержание в процентах P_2O_5
Для внесения до посева	7	14
	8	16
Для внесения в период бутонизации	16	8
	20	10
Для внесения во время разгара цветения и начала плодообразования	11	11
	13	13

При возможности выбора форм удобрений для допосевного внесения следует, повидимому, предпочитать из азотистых удобрений сульфат аммония, а для подкормок—аммиачную селитру.

Из фосфорных удобрений в хлопковых районах применяется преимущественно суперфосфат и частично преципитат. В качестве калийных удобрений применяются концентрированные соли—калийная соль и хлористый калий.

При внесении удобрений существенное значение имеют способ внесения и глубина заделки удобрений. За последнее время получен ряд данных, указы-

[1] Такое распределение в качестве примерного было рекомендовано инструкцией НКЗ СССР на 1940 г.

вающих на эффективность местного внесения удобрений при вспашке на дно борозды. В связи с этим выпущены специальные машины, позволяющие осуществлять такое внесение. Имеются также приспособления для местного внесения и глубокой заделки удобрения при обработке почвы чизелем. Выбор того или другого способа внесения удобрений до посева должен, однако, производиться соответственно конкретным почвенным условиям. Так, например, на лугово-болотных почвах с близким подстиланием оглеенного горизонта, в которых корневая система хлопчатника не идет глубже пахотного слоя, прием внесения удобрения на дно борозды, повидимому, не подходит. Часть удобрений, предназначенная к внесению до посева, может быть внесена при весенней обработке почвы, а если ограничиваются только осенней вспашкой, то фосфорнокислые и калийные удобрения могут быть частично внесены и под эту вспашку.

Осеннего внесения удобрений (особенно азотистых) следует, во всяком случае, избегать на почвах засоленных, подвергающихся осенне-зимним промывкам (при которых питательные вещества могут быть вымыты), на почвах с близким стоянием грунтовых вод, а также на легких почвах с водопроницаемой подстилающей породой (галечник, песок). При этом на участках с повышенной водопроницаемостью и на таких, где проводятся весенние поливы, азотистые удобрения, предназначенные к внесению в основном удобрении (до посева), вносят не при ранних весенних обработках, а перед посевом.

Немалое значение имеют способ и глубина заделки удобрения также и при внесении подкормок. В опытах в Наманганском районе, на сероземных почвах, были получены, например, такие результаты[1]:

Способ внесения удобрений во время вегетации	Урожай хлопка-сырца (в центнерах с 1 га)
Руками, в междурядия без нарезки борозд	36,0
Руками, на дно борозды, нарезанной окучником	39,4
Сеялкой Баннера, в междурядия, без нарезки борозд	42,0
Сеялкой Баннера, на дно борозды, нарезанной окучником	46,5

Большое значение механизированного внесения подкормки связано, очевидно, с тем, что удобрения при этом попадают в более глубокие слои почвы, ближе к корням растений.[2]

В американской практике довольно широко применяется внесение удобрений под хлопчатник при посеве, причем создан ряд машин, осуществляющих местное (рядковое) внесение удобрений на определенном расстоянии от семян.

По имеющимся наблюдениям, наиболее эффективным при этом оказывается так называемое боковое внесение удобрений, т. е. в сторону от места расположения семян.

Соответствующая конструкция приспособления к хлопковой сеялке (ХТ-7) для внесения удобрений одновременно с посевом разработана у нас Институтом НовНИХИ[3]. Надо полагать, что рядковое удобрение при удачной конструкции соответствующих машин может стать важным звеном в общей системе применения удобрений под культуру хлопчатника не только в условиях неорошаемой культуры, но и в поливных районах.

СЕВООБОРОТЫ СО ЛЬНОМ (В ПОДЗОЛИСТОЙ ЗОНЕ)

Обеспеченность льна удобрениями. Из технических культур, возделываемых в северной нечерноземной полосе СССР, наибольшее количество минеральных удобрений в настоящее время применяется под лен-долгунец.

По общему количеству применяемых минеральных удобрений лен среди других культур в СССР занимает третье место (после сахарной свеклы и хлопчатника). Средняя обеспеченность посевов льна минеральными удобрениями составляла в 1940 г. около 2,3 ц на гектар (0,3 ц азотистых, 0,4 ц калийных и 1,6 ц фосфорнокислых удобрений на 1 га).

Навозообеспеченность в льноводческих хозяйствах, как и вообще в подзолистой зоне, является более высокой, чем, например, в районах свеклосеяния

[1] Карамышев, Поликов и др. Опыт Наманганской бригады СоюзНИХИ, Ташкент, 1938.

[2] См. В. Вигги. Механизация подкормки хлопчатника в новых хлопковых районах. «Химизация социалистического земледелия», № 7, 1940.

в черноземной зоне. Чаще всего соотношение между площадью пашни и сенокосов бывает здесь выше, чем в черноземной зоне; стойловый период продолжительнее и, следовательно, выход навоза может быть большим. Освоение правильных севооборотов с клевером, повышая обеспеченность хозяйства кормами, приводит и к увеличению накопления навоза. Многие колхозы районов льноводства имеют возможность широко использовать торф как в виде подстилки (в целях увеличения количества навоза), так и применяя его в сочетании с навозом, навозной жижей и другими удобрениями.

В связи с этим в колхозах, расположенных в подзолистой зоне, часты случаи, когда навоза хватает на удобрение не одного, а двух полей севооборота или (при невысоких дозах навоза) даже большей площади. Но иногда и здесь имеет место такое положение, когда размеры накопления навоза не обеспечивают полностью в достаточных дозах даже одного поля севооборота.

Почвенные условия и севообороты. Наиболее крупные площади заняты льном в Калининской, Смоленской, Ленинградской, Кировской и Ярославской областях и в БССР. В сумме на них падает свыше 60% посевной площади льна-долгунца (а вместе с областями Вологодской, Горьковской, Ивановской, Московской, Молотовской и Удмуртской АССР—около 80% всех посевов льна-долгунца[1]).

В общем районы льноводства характеризуются достаточно большим количеством осадков, что положительно сказывается на действии удобрений; лишь в отдельные годы, при неравномерном выпадении осадков, имеет место недостаток влаги в почве, и в этих условиях эффективность удобрений может быть пониженной. В западных областях льносеющей зоны осадков выпадает обычно больше, чем в восточных, и недостаток влаги наблюдается реже.

Почвы районов возделывания льна-долгунца по преимуществу подзолистые. Главнейшие различия в почвенных условиях бывают связаны здесь: а) со степенью оподзоленности почвы, б) механическим составом почв, в) степенью насыщенности, кислотностью почв, г) содержанием органического вещества и подвижных питательных веществ. Весьма существенное значение имеет также характер предшествовавшего использования почв, в частности, степень их удобренности в прошлом и т. д.

Большей частью посевы льна приурочены к почвам средним по механическому составу (средние и легкие суглинки). На тяжелых почвах, так же как и на песчаных, лен удается хуже. Наряду со старопахотными почвами под посевы льна отводят часто вновь осваиваемые земли, выведенные из-под раскорчевок, после распашки пустошей, лугов и т. п.

Введение правильных севооборотов, широко начатое в льноводных колхозах с 1938 г. (в соответствии с известным постановлением СНК СССР о мероприятиях по подъему урожайности и улучшению качества волокна и семян льна-долгунца), является важнейшим средством повышения плодородия почв и поднятия урожаев всех культур и, в частности, льна. В севооборотах со льном, как правило, вводится клевер двухлетнего пользования. Все посевы льна в правильном севообороте должны быть размещены по клеверищу после двухлетнего пользования клевером. Типичными примерами севооборотов со льном-долгунцом могут служить следующие:

I. Севообороты с подсевом клевера под озимые

Семипольный севооборот:	Восьмипольный севооборот:
1) пар черный,	1) пар черный,
2) озимые с подсевом клевера,	2) озимые с подсевом клевера,
3) клевер,	3) клевер,
4) клевер,	4) клевер,
5) лен-долгунец,	5) лен-долгунец,
6) пропашные и зернобобовые,	6) яровые зерновые (или озимые),
7) яровые зерновые.	7) пропашные и зернобобовые,
	8) яровые зерновые.

[1] Остальные 20% размещаются в других областях европейской части РСФСР, в северных районах УССР и в Сибири (Алтайский край, Красноярский край, Иркутская область).

II. Севообороты с подсевом клевера под яровые

Восьмипольный севооборот:	Девятипольный севооборот:
1) пар черный,	1) пар черный,
2) озимые,	2) озимые,
3) яровые зерновые с подсевом клевера,	3) яровые зерновые с подсевом клевера,
4) клевер,	4) клевер,
5) клевер,	5) клевер,
6) лен-долгунец,	6) лен-долгунец,
7) пропашные и зернобобовые,	7) яровые зерновые или озимые,
8) яровые зерновые.	8) пропашные,
	9) яровые зерновые.

При посеве льна и клевера на половинах поля чередование может быть, например, таким:

1) пар черный,
2) озимые,
3) яровые зерновые с подсевом клевера на ½ поля,
4) клевер ½ поля и пар ½ поля,
5) клевер ½ поля и озимые ½ поля,
6) лен ½ поля, пропашные ½ поля,
7) яровые зерновые.

Максимальное насыщение льном имеет место в том случае, когда лен занимает одно полное поле в семипольном севообороте, что составляет 14,3% от всей площади под севооборотом. В этом случае под клевером должно находиться ежегодно 28,5% площади.

Правильная система удобрения севооборота, наряду с разрешением задачи соответствующего обеспечения растений условиями питания, должна одновременно предусматривать систематическое улучшение физических и физико-химических свойств почв, что в условиях подзолистых почв приобретает особенно большое значение.

Для решительного повышения плодородия подзолистых почв важно создание достаточно глубокого культурного пахотного слоя, обогащение его органическим веществом, устранение неблагоприятной реакции (в известных случаях снижение подвижности алюминия), улучшение физических свойств и повышение обеспеченности растений усвояемыми формами питательных веществ. Эта задача разрешается согласованной системой агротехнических мероприятий, среди которых главнейшее значение имеют: введение правильного севооборота, улучшение обработки почвы и применение удобрений.

Ведущей технической культурой в разбираемых севооборотах является лен. Непосредственное внесение удобрений под лен имеет существенное значение для повышения урожая льноволокна (и семян льна), но с точки зрения системы удобрения севооборота в целом удобрение под лен представляет лишь одно из необходимых звеньев этой системы, обязательно включающей применение удобрений в других полях севооборота. Это связано не только с задачей повышения урожая других культур (кроме льна), но имеет определенное значение и для получения высоких урожаев льна.

Особенности питания льна. Количество питательных веществ, которое выносит из почвы урожай льна, сравнительно невелико, составляя в среднем около 15 кг азота, 7 кг P_2O_5 и 12 кг K_2O на каждые 10 ц урожая льносоломы (считая содержание N, P и K в семенах и в соломе в сумме).

От этих средних величин встречаются значительные отклонения, зависящие и от условий питания и от других причин. Так, например, в одной серии анализов соломы различных сортов льна были обнаружены колебания процентного содержания P_2O_5 от 0,136 до 0,22, N—от 0,37 до 0,84 и K_2O от 0,91 до 1,65% (данные А. Щепетильниковой).

Если принять приведенные выше средние данные, то для урожаев льна различной высоты получим следующие примерные величины выноса азота, фосфора и калия (см. табл. на стр. 574).

Примерные размеры выноса N, P и K льном (в килограммах)

Урожай соломы (в центнерах)	N	P_2O_5	K_2O
20	30	14	24
40	60	28	48
60	90	42	72
100	150	70	120

По подсчетам Я. Пейве и Г. Склярова[1], произведенным на основании исследования химического состава льна нескольких стахановских звеньев, получивших высокие урожаи льноволокна (свыше 10 ц на гектар) в колхозах Бежецкого района, Калининской области, вынос азота, фосфора и калия льном при урожае в 10 т общей массы достигает 155 кг N, 113 кг K_2O и 33 кг P_2O_5 на гектар. Как видно, эти цифры (по азоту и калию) близки к приведенным в таблице данным для урожая соломы в 60—100 ц.

Таким образом, даже при рекордно высоких урожаях лен выносит сравнительно умеренные количества питательных веществ. В то же время лен является культурой, весьма требовательной к пищевому режиму, и резко реагирует на недостаток легко усвояемых питательных веществ в почве.

Повышенная требовательность льна в этом отношении, повидимому, может быть объяснена отчасти тем, что корневая система у него развита слабее, чем у большинства других культурных растений, и не отличается высокой усвояющей способностью. Кроме того, известное значение может иметь и то, что поступление большей части всего количества питательных веществ, необходимых для формирования урожая льна, происходит у него в течение довольно краткого

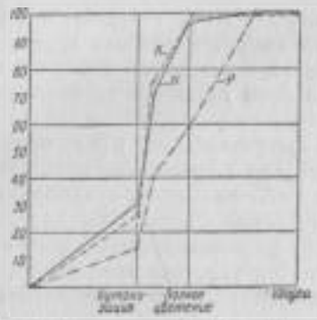


Рис. 70. Поглощение N, P и K льном в процентах от общего выноса к моменту уборки. (По данным Шулова и Щепетильниковой).

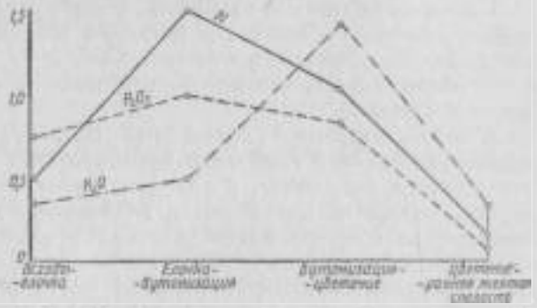


Рис. 71. Среднесуточное потребление льном N, P_2O_5 и K_2O по периодам (в миллиграммах на 1 растение; по В. Г. Егорову).

промежутка времени. На рис. 70 изображены данные, иллюстрирующие ход потребления N, P и K льном, из которых видно, что темп поступления питательных веществ (особенно азота и калия) резко возрастает у льна во время бутонизации—начала цветения (относительно более равномерно идет поступление фосфора, см. также рис. 71). Для того чтобы корневая система льна могла за короткий срок взять нужное количество питательных веществ, необходимо повышенное содержание их в почве в усвояемой форме.

Как показали вегетационные опыты по изучению отношения льна к условиям питания в разные сроки вегетации, на развитии льна сильно отражается снабжение питательными веществами не только в период усиленного поступления питательных веществ, но и в другие сроки, в частности, в первое время роста—до бутонизации. Недостаток фосфора в самые первые дни роста льна резко сказывается на дальнейшем его развитии и не исправляется последующим повышением уровня фосфатного питания. Калийное голодание льна до начала

[1] «Химизация социалистического земледелия», № 5, 1940.

бутонизации также сильно снижает урожай соломы, тогда как на урожае семян более резко сказываются условия калийного питания во время бутонизации. К недостатку азота лен особенно чувствителен в период от фазы «елочки» (высота 6—7 см) до бутонизации. Азотистое голодание в этот срок понижает урожай семян и соломы и уменьшает выход волокна.

Наряду с повышенной требовательностью к наличию в почве легко усвояемых питательных веществ лен отрицательно реагирует даже на небольшой их избыток; в особенности это относится к азоту. Избыток азотистого питания в начале роста льна задерживает его развитие, а слишком интенсивное снабжение азотом в более поздние сроки затягивает цветение (так называемое «вечное цветение») и вызывает неравномерное созревание льна. Результатом избыточного азотистого питания может быть полегание льна, уменьшение выхода волокна и снижение его качества.

При посеве льна по клеверищу, наряду с улучшением (под влиянием клевера) физических свойств почвы, создаются благоприятные условия снабжения льна усвояемыми формами азота за счет разложения корневых остатков клевера. Качество клеверища находится, однако, в зависимости от того, насколько хорошо был развит клевер. После хорошо развитого клевера и обеспеченность азотом бывает выше и физические свойства почвы лучше.

Лен отличается повышенной чувствительностью к реакции среды и к наличию в почве подвижного алюминия. В то же время лен страдает и от избытка извести, поэтому такое мероприятие, как известкование, в севооборотах со льном должно проводиться с большой осторожностью (см. сказанное об этом в главе «Известь»).

В связи с этим все другие средства, способные улучшить неблагоприятные свойства кислых почв (внесение навоза, фосфоритной муки, золы и т. п.), приобретают в системе удобрения льняного севооборота очень большое значение.

Размещение удобрений в севооборотах со льном. *Навоз* в льняных севооборотах вносится в первую очередь в двух полях: 1) в пару под озимые и 2) в поле, занятом пропашными культурами (преимущественно под картофель). Под ведущую техническую культуру—лен, как правило, навоз непосредственно не вносится. Это связано как с особенностями самой культуры льна, так и с местом его в севообороте. Именно внесением навоза по клеверищу легко можно создать избыток азотистого питания. Кроме того, непосредственное внесение навоза под лен вызывает пестроту в травостое льна (что, повидимому, связано с недостаточно равномерным распределением навоза), затрудняется борьба с сорняками и т. д.

Стахановцы-льноводы, получающие высокие урожаи льна, стремясь обеспечить лучшие условия питания растений, с успехом вносят иногда непосредственно под лен сильно перепревший навоз (перегной), который поддается более равномерному распределению. Однако при правильно налаженном использовании навоза доводить его разложение до стадии перегноя-сыпца нерационально (это повело бы к слишком большим потерям азота). Поэтому лучше вносить навоз под такие культуры, которые позволяют с успехом применить навоз нормальной степени разложения, полученный при правильном хранении без излишних потерь. Положительное же действие навоза, внесенного в севообороте под другие культуры, будет сказываться и на урожаях льна, который, кроме того, получает еще и минеральные удобрения.

Внесение навоза (и других удобрений) в пару имеет целью не только повышение урожая озимых культур, но и создание лучших условий для следующих за озимыми растений, в частности, для клевера; хорошее же развитие клевера, как уже было сказано, положительно отразится и на урожае льна.

В качестве примера, иллюстрирующего действие навоза, внесенного в пару, на урожаи озимой ржи и последующих культур льняного севооборота приведем следующие данные из опытов бывш. Западной опытной станции:

Действие навоза в севообороте (урожай в центнерах с 1 га[1])

Культуры севооборота	Первая ротация		Вторая ротация	
	Без удобрения	Навоз в пару (20 т на 1 га)	Без удобрения	Навоз в пару (20 т на 1 га)
Рожь (зерно)	11,8	18,3	9,2	14,1
Клевер за 2 года (сено)	51,9	64,8	64,1	71,5
Лен (семя)	4,4	5,2	5,1	6,1
Лен (волокно)	4,7	5,1	—	—
Лен (солома)	—	—	30,0	33,1
Овес (зерно)	14,4	17,2	19,2	19,1
Рожь (зерно)	7,6	8,9	7,7	9,0
Овес (зерно)	15,9	18,5	13,2	15,3

Кроме пара, навоз, как уже было сказано, в первую очередь вносится в клину пропашных культур, среди которых чаще всего преобладает картофель. Здесь главной целью является повышение урожая непосредственно удобряемой навозом культуры.

Картофель и корнеплоды выносят из почвы при хорошем урожае большое количество питательных веществ (картофель, например, выносит в среднем около 50 кг N, 20 кг P_2O_5 и от 70 до 100 кг K_2O на каждые 100 ц клубней[2]) и весьма отзывчивы на удобрение навозом, особенно на подзолистых почвах.

При наличии половины (или другой части) поля под картофелем, в зависимости от накопления навоза, примерную схему размещения его в севообороте можно наметить следующим образом:

Чередование культур в полях севооборота		I. При меньшем количестве навоза		II. При большем количестве навоза	
1-я часть поля	2-я часть поля	1-я часть поля	2-я часть поля	1-я часть поля	2-я часть поля
Пар	Пар	—	Навоз	Навоз	Навоз
Озимь	Озимь	—	—	—	—
Клевер	Клевер	—	—	—	—
Клевер	Клевер	—	—	—	—
Лен	Лен	—	—	—	—
Картофель	Зернобобовые и пр.	Навоз	—	Навоз	—
Яровые зерновые	Яровые зерновые	—	—	—	—

Лучшим из двух приведенных вариантов размещения навоза является, несомненно, второй, когда навоз вносится на всей площади парового поля и, кроме того, под пропашные. Но при недостатке навоза слишком мелкое дробление доз навоза нецелесообразно; хорошей нормой навоза под картофель можно считать здесь 30—40 т на 1 га. При стремлении охватить удобрением бо́льшую площадь, дозы навоза в пару, а иногда и под пропашные, снижают до 18—20 т на 1 га. Вопрос о дозах навоза должен решаться в зависимости от размеров накопления навоза; он тесно связан с мероприятиями по организации лучшего хранения навоза, с повышением выходов навоза и т. д.

Недостаток навоза для внесения в пару может быть компенсирован применением *торфа, торфо-навозных компостов, торфо-золных и торфо-фосфоритных компостов* и т. п. *Фосфоритная мука*, особенно на почвах с повышенной кислотностью, может вноситься в пару и самостоятельно и в сочетании с другими

[1] Цитировано по Я. Пейве. Удобрение в севооборотах льноводных хозяйств. Сборник «Удобрение в севообороте», вып. 3, 1937—1938, стр. 79.

[2] В ботве и в клубнях в сумме (при обильном снабжении калием наблюдаются иногда и более высокие выносы калия на каждые 100 ц клубней).

удобрениями. Наконец, на части парового поля может быть с успехом применена *сидерация с внесением фосфатно-калийного удобрения* под растение, высеваемое на зеленое удобрение или при запашке его под озимые.

Используя эти возможности с учетом конкретных условий каждого хозяйства, особенностей почвенного покрова соответствующих полей, наличия удобрений и т. д., надо добиваться обеспечения удобрениями всей площади пара при условии внесения полной нормы навоза и под пропашные.

Действие фосфоритной муки в комбинации с навозом (при внесении ее в пару) на урожай льна можно иллюстрировать следующими данными Смоленской опытной станции[1] (в звене севооборота: пар—озимь—клевер—клевер—лен):

Удобрения	Урожай льносоломы (в центнерах с 1 га)	Урожай волокна (в центнерах с 1 га)		Центнеров номеров трепаного волокна
		трепаного	всех волокнистых веществ	
Без удобрения	31,6	4,3	6,2	61,5
Навоз 20 т на 1 га (в пару)	34,7	4,75	7,2	71,25
Навоз 20 т + фосфоритная мука 120 кг P_2O_5 на 1 га (в пару)	37,4	5,5	8,5	82,5

Положительное действие фосфоритной муки, внесенной в пару, на урожай льна, было заметным и в том случае, когда удобрения вносились не только в пару, но и под клевер и под лен. Вот соответствующие данные:

Удобрения	Урожай льносоломы (в центнерах с 1 га)	Урожай волокна		Центнеров номеров трепаного волокна
		трепаного	всех волокнистых веществ	
I. Навоз в пару (20 т на 1 га)+PK по клеверу 1-го года (по 60 кг P_2O_5 и K_2O)+ +NPK под лен (30—45 кг N и по 60 кг P_2O_5 и K_2O)	38,3	4,7	7,0	75,2
II. То же, что I, но в пару внесен навоз (20 т на 1 га)+фосфоритная мука (120 кг P_2O_5)	41,2	5,4	8,6	86,4

В том случае, если обследование почв указывает на целесообразность *известкования*, его также удобно провести в небольших дозах в паровом поле[2] в сочетании с навозным удобрением.

Минеральными удобрениями в льняных севооборотах прежде всего должна быть обеспечена ведущая техническая культура—лен. Данные многочисленных полевых опытов с удобрением льна указывают на то, что наибольшие прибавки урожая дает полное минеральное удобрение (NPK). Относительное значение компонентов полного удобрения неодинаково и зависит от почвенных условий и характера предшественника. В общем отмечается повышение роли калия в составе полного удобрения на почвах более легких и фосфора—на тяжелых. Потребность в азоте в большей степени зависит от предшественника; на клеверищах после хорошо развитого клевера обеспеченность азотом значительно выше, чем после плохо развитого клевера или по другим предшественникам (по «мякоти»).

Размеры прибавок урожая льна от полного минерального удобрения, по данным полевых опытов (при дозах удобрений 20—30 кг N и по 45 кг P_2O_5 и K_2O),

[1] Ф. Давченко. К вопросу о системе удобрения в льноводном севообороте. «Химизация социалистического земледелия», № 7, 1940 г.

[2] Однако не исключается возможность внесения извести и в других полях севооборота.

достигают примерно 10—12 ц льносоломы на гектар, но во многих случаях средние прибавки урожая от полного удобрения (в массовых опытах) бывают ниже и составляют 5—6 ц льносоломы. Действие удобрения сильно зависит от уровня агротехники и общего культурного состояния почвы. Поэтому, например, в опытах с более высокими урожаями на неудобренных контрольных делянках (что характеризует в некоторой степени уровень агротехники) удобрения (на удобренных делянках) действуют лучше. Вот примеры из опытов, проведенных в бывш. Западной области (1932/33 г.) на средних пылеватых суглинках (урожаи и прибавки в центнерах на 1 га):

	Средний урожай льносоломы без удобрения	Прибавка урожая от NPK		Средний урожай льносоломы без удобрения	Прибавка урожая от NPK
По клеверищу	до 12	6,0	По мякоти	до 12	5,3
	от 12 до 18	6,5		от 12 до 18	5,5
	выше 18	10,5		выше 18	8,4

Размер прибавок урожая льна, по данным массовых опытов, указывает в общем на сравнительно невысокий коэфициент использования удобрений льном. Именно, если принять, что для повышения урожая на 10 ц соломы лен должен взять около 15 кг N, 7 кг P_2O_5 и 12 кг K_2O, то (при дозах удобрения, равных 20—30 кг N, 45 кг P_2O_5 и 45 кг K_2O) прибавка в 10 ц льносоломы на гектар отвечает примерно использованию азота удобрений на 50—75%, фосфора—15% и калия—25% *.

Невысокий коэфициент использования льном удобрений (в особенности фосфора и отчасти калия) находится, очевидно, в связи с разобранными выше особенностями питания льна—малой усвояющей способностью корневой системы, коротким периодом интенсивного поступления питательных веществ. Понятно, что эти особенности данного растения отражаются в первую очередь на полноте усвоения фосфорной кислоты и калия, которые поглощаются твердой фазой почвы и поэтому мало подвижны в почве.

На полноту использования удобрений должны сильно влиять общие условия развития льна, обусловленные агротехникой, физическими и физико-химическими свойствами почвы. Поэтому улучшение общего культурного состояния почвы, повышение уровня агротехники будут создавать условия для более высокого действия удобрений. Известная роль, в частности, должна в этом отношении принадлежать хорошей заправке почвы органическими удобрениями в пару.

Обеспечение хорошей заправки удобрениями парового поля, внесение навоза под пропашные и минеральных удобрений под лен—такую систему можно считать первой ступенью химизации льняного севооборота; эта система должна обеспечить, при правильном ее выполнении и при условии хорошей агротехники, возможность получения довольно высокого среднего урожая всех культур и повышение плодородия почв.

Следует, однако, иметь в виду, что относительная интенсивность такой системы будет неодинаковой в зависимости от длительности севооборота и соответственно от процента площади, находящейся под паром, клевером и льном.

Так, например, в семипольном севообороте с полными двумя полями клевера, одним полем льна и одним полем чистого пара суммарный вынос азота за ротацию, при средних урожаях (с гектара): зерновых—20 ц, льна—40 ц соломы и картофеля—300 ц клубней, составляет примерно следующие величины (с 1 га):

1-я часть поля		2-я часть поля	
Зерновые в двух урожаях	140 кг	Зерновые в двух урожаях	140 кг
Лен	60 кг	Лен	60 кг
Картофель	150 кг		
Итого	350 кг	Итого	200 кг

* По данным Института льна, коэфициент использования удобрений льном в лучшем случае достигает для азота 90%, калия—50% и фосфора 15% (Я. Пейве и Г. Скавров. «Химизация социалистического земледелия», № 5, 1940 г.).

Можно допустить, что клевер (при хорошем развитии) оставит в корневых остатках приблизительно 100 кг N (на гектар). В первой части поля будет внесен два раза навоз по 20 т на 1 га в пару и 30 т под картофель, а во второй части поля—только в пару в такой же дозе. В результате приход азота за счет этих двух источников составит (за ротацию):

На 1-й части поля		На 2-й части поля	
20 т навоза в пару	100 кг N	20 т навоза в пару	100 кг N
Корневые остатки клевера	100 кг N	Корневые остатки клевера	100 кг N
30 т навоза под картофель	150 кг N		
Итого	350 кг N	Итого	200 кг N

Таким образом, вынос азота указанными урожаями (20 ц зерна, 40 ц льносоломы и 300 ц картофеля на гектар) почти целиком покрывается в таком севообороте приходом азота за счет корневых остатков клевера и азота навоза.

В общем в семипольном льняном севообороте с полными двумя полями клевера, *при хорошем его развитии и при обеспечении должных размеров навозонакопления*, баланс азота складывается довольно благоприятно. Это не исключает, понятно, применения минеральных азотистых удобрений под лен и под зерновые культуры (в частности, в виде подкормок на части пашни), но важно то, что *основными статьями* прихода азотного баланса в подобных севооборотах являются навоз и клеверище.

Если же взять, севооборот *девятипольный*, с одним полным полем пропашных и четырьмя полями зерновых культур и применить те же дозы навоза (в пару в дозе 20 т и под пропашные 30 т на гектар), то аналогичный расчет дает несколько иной результат:

Вынос азота (на 1 га)		Приход азота (на 1 га)	
Зерновые в четырех урожаях	280 кг	Навоз 20 т на 1 га в пару	100 кг
Лен	60 кг	Корневые остатки клевера	100 кг
Пропашные	150 кг	Навоз 30 т под пропашные	150 кг
Итого	490 кг	Итого	350 кг

В данном случае имеет место уже недостаток азота—около 140 кг за ротацию на гектар. Таким образом, разница между семипольным и девятипольным севооборотами выступает в данном случае достаточно рельефно[1].

Что касается фосфора и калия, то необходимость их систематического внесения в севообороте в виде минеральных удобрений для получения высоких средних урожаев льна и других культур выступает совершенно отчетливо.

Примерные размеры выноса *фосфора* и *калия* (при том же уровне урожаев) за ротацию семипольного севооборота составляют (в килограммах с 1 га):

1-я часть поля			2-я часть поля		
Культуры	Вынос		Культуры	Вынос	
	P_2O_5	K_2O		P_2O_5	K_2O
Зерновые (в двух урожаях)	60	100	Зерновые (в двух урожаях)	60	100
Клевер (при урожае 70 ц сена за 2 года)	35	100	Клевер (за 2 года)	35	100
Лен	30	50	Лен	30	50
Картофель	60	250	Зернобобовые	30	50
Итого	185	500	Итого	155	300

При внесении навоза в пару (20 т на 1 га) и под картофель (30 т) в первой части поля возвращается около 125 кг P_2O_5 и 300 кг K_2O, а во второй части поля—около 50 кг P_2O_5 и 120 кг K_2O. Дефицит составляет здесь, следовательно, 50—100 кг P_2O_5 и 180—200 кг K_2O за ротацию, или около 10—15 кг P_2O_5 и 25—30 кг K_2O в среднем в год.

Отсюда можно сделать заключение, что при нормальной обеспеченности навозом и регулярном применении его в севообороте в первую очередь (для поднятия урожаев до среднего уровня, отвечающего примерно 20 ц зерна, 40 ц льносоломы и 300 ц картофеля с гектара) необходимо систематическое внесение фосфорнокислых минеральных удобрений. При этом

[1] Заметим, что в этих подсчетах мы не принимали во внимание прихода азота за счет азотобактера и тому подобных источников; но, с другой стороны, надо иметь в виду, что для повышения плодородия подзолистых почв необходимо обогащение их органическим веществом (а следовательно, и увеличение содержания азота в почве).

вполне допустимо и целесообразно вносить фосфора за ротацию *в среднем* примерно раза в полтора больше вычисленного дефицита с тем, чтобы среднегодовой баланс по фосфору составлял около +5, +7 кг P_2O_5. Для приведенного выше уровня урожаев это отвечает внесению около 100—150 кг P_2O_5 на гектар (за ротацию[1]).

Что касается калия, то здесь необходимо лишь некоторое снижение размеров среднего дефицита (учитывая бедность подзолистых почв). Если, например, считать здесь допустимым средний дефицит около 15—20 кг K_2O (в год), то потребность во внесении калийных удобрений выражалась бы приблизительно в 60—90 кг K_2O (на 1 га) за ротацию[2].

Таким образом, внесение растворимых фосфатов и калия под лен, фосфоритной муки в пару и полное обеспечение навозом парового поля в пропашных позволяет обеспечить приходную часть баланса (по фосфору и калию), отвечающего высокому уровню урожая.

При дальнейшем насыщении севооборота удобрениями прежде всего возникает вопрос о целесообразности непосредственного фосфатно-калийного удобрения клеверов.

Потребность во внесении фосфатно-калийных удобрений под клевер находится (помимо почвенных условий) также в зависимости от севооборота. В более коротких севооборотах, с чередованием: пар—озимь—клевер, при условии внесения в пару должной нормы навоза необходимость непосредственного удобрения клевера меньше, чем в севооборотах с чередованием: пар—озимь—яровые—клевер. В первом случае последействие навоза на клевере будет сильнее, чем во втором. В связи с этим иногда рекомендуют в случае подсева клевера под озимь (по унавоженному пару) вносить РК по клеверу второго года пользования, считая, что в первый год достаточно последействия удобрений, внесенных в пару.

При подсеве же клевера под яровые может оказаться более целесообразным внести РК по клеверу первого года пользования (в связи с большим отдалением клевера от удобренного пара). Примерные дозы Р и К под клевер колеблются обычно в пределах 45—60 кг на 1 га (P_2O_5 и K_2O).

При еще более интенсивном применении удобрений в севообороте минеральные удобрения вносятся под яровые зерновые (чаще всего под яровые зерновые необходимо полное удобрение); в первую очередь должна быть обеспечена удобрением яровая пшеница. При наличии достаточного количества навоза он также может быть внесен под яровую пшеницу. Заметим, однако, что яровая пшеница не только хорошо отзывается на непосредственное удобрение, но и весьма отзывчива к предшествовавшей заправке почвы.

Вот, например, данные из уже цитированных выше опытов Смоленской опытной станции (в звене севооборота: пар—озимая рожь—клевер—клевер—лен—яровая пшеница):

Удобрения (по расчету на гектар)	Урожай зерна яровой пшеницы (в центнерах с 1 га)	Прибавка (в центнерах на 1 га)
Без удобрений	10,0	—
Навоз 20 т в пару	11,7	1,7
Навоз 20 т + фосфоритная мука 120 кг P_2O_5 (в пару)	13,1	3,1
Навоз 20 т + фосфоритная мука в пару + РК по клеверу первого года	14,7	4,7
Навоз 20 т в пару + РК по клеверу первого года + NPK под лен	16,0	6,0
Навоз 20 т + фосфоритная мука в пару + РК по клеверу первого года + NPK под лен	17,5	7,5
Навоз 20 т в пару + РК по клеверу первого года + NPK под лен + NPK под пшеницу	18,6	8,6

Из этих данных отчетливо видно, как по мере увеличения насыщения удобрениями звена севооборота, предшествовавшего яровой пшенице, повышались размеры последействия удобрений на этой культуре.

[1] А при внесении фосфоритной муки, повидимому, целесообразно дать и большее количество фосфора за ротацию.

[2] Мы не касаемся в данном случае различий в почвенных условиях (например, по механическому составу) в пределах рассматриваемой здесь зоны, что также может быть принято во внимание при определении приблизительных размеров допустимого дефицита калия.

В соответствии со всем сказанным, примерную схему размещения удобрений в льняном севообороте можно представить таким образом:

Примерная схема размещения удобрений в льняном севообороте

Поля и культуры в порядке чередования	Варианты последовательности насыщения севооборота удобрениями (на расчету на гектар)		
	I	II	III
1. Пар	Навоз 18—20 т	Навоз 20—25 т (или навоз+торф, навоз+фосфоритная мука, навоз+торф+фосфоритная мука или навоз+известь[1])	Навоз 25—30 т (или навоз+торф+фосфоритная мука, или навоз+известь[1])
2. Озимые с подсевом клевера	—	—	Посевная подкормка минеральными или местными удобрениями на всем поле или на части его (с учетом состояния растений)
3. Клевер 4. Клевер	—	Р или РК в дозах 45—60 кг	Р или РК в дозах 45—60 кг
5. Лен[2]	РК или NPK	РК или NPK	РК или NPK
6. Картофель Зернобобовые Яровая пшеница	Навоз 18—20 т — —	Навоз 20—30 т — —	Навоз 30 т — NPK в дозах от 30 до 60 кг
7. Овес	—	—	—

Дозы удобрений и способы внесения под лен. Большая пестрота почвенных условий, характерная для подзолистой зоны, особенно подчеркивает значение *дифференцированного подхода к установлению доз и форм удобрений* в зависимости от свойств почвы. В случае внесения удобрений под лен (и вообще в льняных севооборотах) значение такого дифференцированного подхода еще более усугубляется сильной чувствительностью льна к изменениям как условий питания, так и к реакции среды, содержанию подвижного алюминия и пр., т. е. к таким условиям, которые тесно связаны с разнообразными проявлениями так называемого косвенного действия удобрений.

Всесоюзным институтом льна проведена большая работа в целях внедрения в производство легко и быстро выполнимых, простых методов агрохимического анализа почв для руководства при установлении дифференцированных доз удобрений и выбора форм удобрений для внесения под лен. Соответствующие методы были широко применены в производственной работе агрохимических лабораторий МТС районов льноводства и с успехом использованы стахановцами-льноводами при разработке планов применения удобрений на участках рекордного урожая.

Приведем здесь примерные дозы фосфорных и калийных удобрений (под лен-долгунец), рекомендованные в 1938 г. Институтом льна для почв, различающихся по содержанию легко растворимой фосфорной кислоты и подвижного калия[3].

[1] Известь и фосфоритная мука вносятся с учетом кислотности почвы; на части парового поля возможны сидерация+фосфоритная мука и т. д.

[2] О дозах удобрений под лен см. ниже.

[3] В данном случае имеется в виду содержание подвижного калия, определяемого по методу Пейве (в вытяжке 1-н NaCl), и легко растворимой фосфорной кислоты по методу Кирсанова (в вытяжке 0,2-н HCl).

Примерные дозы удобрений под лен

Содержание подвижного калия в почве (в миллиграммах на 100 г почвы)	Дозы K_2O (в килограммах на 1 га)		Содержание легко растворимой P_2O_5 (в миллиграммах на 100 г почвы)	Дозы P_2O_5 (в килограммах на 1 га)	
	при массовой химизации	на стахановских участках		при массовой химизации	на стахановских участках
До 7 мг	90	160	До 5 мг	90	160
От 7 до 10 мг	60	120	От 5 до 10 мг	60	120
От 10 до 15 мг	45	90	От 10 до 15 мг	45	90
От 15 мг и выше	45	60	От 15 мг и выше	45	60

Дозы в 160—180 кг P_2O_5 и K_2O на гектар являются для льна весьма высокими. Если взять коэфициент использования фосфора близким к 15%, а калия только 30%, то и тогда эти дозы обеспечивают (при прочих благоприятных условиях) возможность повышения выноса этих элементов льном в количестве около 25 кг P_2O_5 и 50 кг K_2O, что отвечает возможному приросту урожая льносоломы около 40 ц или примерно 7—8 ц льноволокна. Такая прибавка урожая за счет удобрений может быть получена лишь при условии общего высокого агротехнического фона и культурного состояния почвы, что осуществляется на стахановских участках. Для массовой химизации дозы не превышают 90 кг P_2O_5 и K_2O, но надо иметь в виду, что при достаточно высоком уровне агротехники и эти дозы могут обеспечить внушительные прибавки урожая—примерно в 20 ц льносоломы.

При внесении повышенных доз фосфорнокислых и калийных удобрений особенно важным становится *правильный выбор форм* этих удобрений. Известно, что высокие дозы калийных удобрений на кислых подзолистых почвах способны активировать почвенную кислотность, увеличивать подвижность алюминия, что может отразиться отрицательно на льне—растении весьма чувствительном к этим факторам. С другой стороны, внесение фосфоритной муки, золы на таких почвах не только не вызывает этих неблагоприятных явлений, но, наоборот, хотя и в слабой степени, но все же несколько понижает кислотность почвы (причем фосфор фосфоритной муки становится более доступным для растений). В связи с этим Институтом льна было предложено для дифференцированного выбора форм фосфорнокислых и калийных удобрений пользоваться показаниями pH солевой вытяжки из почвы. В зависимости от степени кислотности почв, которая характеризуется в данном случае величиной pH солевой вытяжки, устанавливается целесообразность применения из фосфорных удобрений одного суперфосфата или одной фосфоритной муки или же внесения их в определенном сочетании. Соответственно для калийных удобрений устанавливается желательность внесения большей или меньшей части калия в виде золы. Этот прием сочетания разных форм удобрений, в зависимости от степени кислотности почв, также был широко использован стахановцами-льноводами в их борьбе за высокий урожай льна.

Институтом льна были рекомендованы также примерные соотношения форм фосфорнокислых и калийных удобрений в зависимости от кислотности почв, измеряемой показаниями pH солевой вытяжки[1] (см. табл.).

pH солевой вытяжки	Соотношение в процентах от суммы P_2O_5		pH солевой вытяжки	Соотношение в процентах от суммы K_2O	
	фосфоритная мука	суперфосфат		зола	калийная соль
До 4,5	80	20	До 4,5	40	60
От 4,5 до 5,0	60	40	От 4,5 до 5,5	20	80
От 5,0 до 5,5	40	60	От 5,5 до 6,5	10	90
От 5,5 до 6,0	20	80	Выше 6,5	0	100
Выше 6,0	0	100			

[1] Эти и предыдущие две таблицы приводятся нами по тезисам к докладу Я. В. Пейве на секции химизации ВАСХНИЛ в 1938 г.

Таким образом, для того чтобы установить лучшие дозы и сочетания форм фосфорнокислых и калийных удобрений, следует использовать данные анализа почв на кислотность и содержание подвижных форм фосфора и калия.

Различия между почвами в этом отношении обусловливаются, с одной стороны, природными особенностями почв, с другой—сильно зависят от предшествовавшей истории полей.

При наличии почвенной карты и ежегодной регистрации количества внесенных на том или другом поле удобрений легко можно выделить те участки, где необходимо путем соответствующих анализов уточнить дозы и формы удобрений под лен.

Что касается азотистых удобрений, то они вносятся под лен в общем в более низких дозах, чем фосфорнокислые и калийные. Это объясняется, во-первых, тем, что предшественником льна служит клевер; во-вторых, как уже было сказано выше, лен очень чувствителен к избытку азотистого питания и, наконец, в-третьих, коэфициент использования льном азота удобрений значительно превышает коэфициент использования калия и фосфора.

При достаточно выраженной потребности в азоте и использовании азота удобрений льном на 70—80% доза в 60 кг N на гектар может обеспечить повышение выноса азота льном на 40—50 кг, что отвечает приросту урожая льносоломы около 30 ц на гектар.

Практика стахановских звеньев отчетливо демонстрирует необходимость внесения умеренных доз азота в удобрении даже при получении очень высоких урожаев льна.

Так, по данным ВСХВ (1939 г.), из 367 стахановских льноводных звеньев 275 (или 75%) звеньев вносили на своих участках менее 60 кг N (на гектар), в то время как из числа тех же звеньев 249 (или 68%) вносили в удобрениях свыше 90 кг P_2O_5 и 283 звена (77%)—свыше 90 кг K_2O (в сумме удобрений—органических и минеральных[1]).

Фосфорные и калийные удобрения вносятся под лен в основном до посева, причем лучшими являются более ранние сроки внесения—с осени или же рано весной. Вот средние данные из опытов Института льна за 1934—1936 гг. (урожай волокна в центнерах с 1 га):

Удобрения (РК) внесены	Длинного волокна	Всего волокна
До пахоты, осенью	3,95	5,0
После пахоты	3,88	5,0
Рано весной	3,83	5,3
Перед посевом (под культивацию)	2,98	4,05

Внесение с осени азотистых удобрений менее целесообразно, особенно на почвах легких, так как при этом возможны потери путем вымывания. Азотистые удобрения вносят поэтому весной, до посева, а иногда и в подкормку.

В зависимости от качества предшественника, азотистые удобрения могут быть внесены или на всем поле или на части его, например, на клеверище после плохо развитого, изреженного клевера, а также после других предшественников (по жнивьям), что может иметь место в период перехода к правильному севообороту.

Выборочное внесение небольших доз азотистых удобрений на отдельных участках может быть произведено в виде подкормки с учетом состояния всходов льна, метеорологических условий, влажности почвы и т. д.

В качестве примерных доз азотистых удобрений (при условии высокой агротехники и при внесении фосфорнокислых и калийных удобрений) можно указать следующие:

Предшественники	Дозы азота (в килограммах на 1 га)	
	до посева	в подкормках (выборочно)
Хорошие клеверища[2]	—	20—25
Средние клеверища	20—25	20—25
Плохие клеверища и жнивья	40—45	15—20

[1] Последнее обстоятельство еще более подчеркивает разницу в дозах азота, с одной стороны, и фосфора и калия—с другой, так как усвояемость азота органических удобрений обычно сильно отличается от усвояемости азота минеральных удобрений, тогда как усвояемость фосфора и калия органических удобрений не ниже (а часто выше), чем минеральных удобрений.

[2] Урожай клевера не ниже 40 ц с гектара.

Внесение азота в подкормке должно производиться в ранние сроки (примерно до высоты льна в 15—20 см). Более поздние сроки внесения азота менее эффективны и могут действовать даже неблагоприятно. В случае недостатка влаги в почве подкормку вносить не следует.

В практике стахановцев-льноводов широко применялось внесение в подкормках не только азотистых, но и других удобрений. Прибавки урожая льна от перенесения в подкормку калия и фосфора (в сочетании с азотом) наблюдались и в полевых опытах Института льна.

В качестве примера приведем здесь результаты одного из таких опытов, представленные на ВСХВ (павильон «Лен и конопля», 1940 г.):

Сроки внесения и дозы удобрений (в килограммах на 1 га)								Урожай льноволокна (в центнерах с 1 га)
Осенью под пашу		Рано весной			При высоте льна 6—10 см		Перед бутонизацией	
P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
—	—	—	—	—	—	—	—	5,20
180	180	45	—	—	—	—	—	9,44
90	90	25	60	60	20	30	30	12,03

В условиях массовой химизации необходимо ориентироваться в основном на своевременное внесение удобрений под лен *до посева*, сочетая в случае необходимости осенние и весенние сроки. Правильная дифференцировка доз удобрений в зависимости от почвенных условий и своевременное внесение удобрений до посева устранят такие случаи, когда подкормка становится необходимой для исправления дефектов основного удобрения.

При посеве льна на перегнойно-карбонатных почвах, темноцветных заболоченных почвах, на вновь осваиваемых целинных землях и на подзолистых почвах, подвергнутых известкованию (особенно в высоких дозах), часто выявляется *необходимость внесения удобрений, содержащих бор*. Признаком недостатка бора служит заболевание льна бактериозом. На ранних стадиях это заболевание проявляется в повреждении и отмирании корней, а позднее—в отмирании точки роста (верхушка стебля засыхает, а стебель утолщается и грубеет). Под влиянием этого заболевания особенно резко снижается урожай семян льна. Удобрение бором (главным образом с этой целью применяется так называемое бор-магниевое удобрение[1], в состав которого входят борная кислота и сернокислый магний) представляет радикальное средство борьбы с заболеванием льна бактериозом. Дозы бора для внесения под лен рекомендуются в пределах 2—4 кг (на гектар) в пересчете на борную кислоту (0,35—0,7 кг B). Более низкая доза (2 кг) рекомендуется в тех случаях, когда признаки поражения льна бактериозом выражены слабо. Борное удобрение дает лучшие результаты при внесении его перед посевом льна[2]. На тех же почвах борные удобрения рекомендуют применять под клевер, оставляемый на семена. Дозы бора для удобрения клевера рекомендуются в пределах от 6 до 18 кг на 1 га в пересчете на борную кислоту.

Применение содержащих бор удобрений, повидимому, позволит в дальнейшем более смело подходить к проведению известкования в льняных севооборотах, чем это имеет место в настоящее время.

[1] Отход от производства борной кислоты.

[2] Подробнее об удобрениях, содержащих бор, и примеры действия их на урожай льна см. выше, стр. 408 и 421.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ С УДОБРЕНИЯМИ

Под влиянием новых взглядов, высказанных Либихом, с сороковых годов прошлого столетия начали производиться в больших количествах, чем раньше[1], полевые опыты для выяснения влияния различных удобрений на культурные растения; при этом вначале казалось, что эти опыты поставить очень легко, стоит только засеять один участок каким-либо растением по испытываемому удобрению, а другой участок—тем же растением, но без удобрения; в этих опытах прибегали, как правило, к большим делянкам (0,1—0,25 га) без всякой повторности и каких бы то ни было иных предосторожностей. Вскоре, однако, оказалось, что такая элементарная постановка часто ничего не дает[2], так как на результатах опыта слишком сильно отражаются всякие случайности, и прежде всего неоднородность почвы на сравниваемых делянках. В принципе при постановке опытов стремятся пользоваться *методом разницы*, т. е. изменять только тот фактор, влияние которого хотят наблюдать, оставляя остальные факторы постоянными и неизменными[3]; тогда разница в урожае укажет на роль изучаемого фактора; но желаемая неизменность остальных факторов в полевом опыте нелегко осуществима, ибо природная изменчивость почвы даже на небольших расстояниях обычно гораздо больше, чем это принято думать. Правда, рекомендуется при выборе места для опытов, по возможности, следить за тем, чтобы между делянками не было, например, различий, вызываемых условиями рельефа; разница эта может состоять в разном распределении влаги, питательных веществ (наносы или смывание мелкозема), также света и тепла при наклоне, обращенном к разным сторонам горизонта; избегают также близости дорог, которые, помимо риска прямой порчи, могут вызвать различия в строении почвы и богатстве питательными веществами, особенно если нет гарантий, что дорога не изменяла своего положения в прошлом; точно так же влияет близость леса (снег лежит дольше). Но пожелание относительно однородности свойств и условий залегания делянок не всегда строго выполнимо даже в тех отношениях, о которых можно судить по непосредственному осмотру; между тем, помимо пер-

[1] Обычное представление, что опыты с концентрированными удобрениями ведут начало только от Либиха, неверно; достаточно взять «Möglinsche Annalen» за тридцатые годы, чтобы убедиться в этом: там, в XXIX томе (1832 г.) напечатаны статьи Korte, в одной из которых описываются опыты по влиянию костяной муки на урожай хлебов, а в другой—опыты по влиянию удобрений на содержание клейковины и крахмала в зернах пшеницы.

[2] Если в случае рельефности действия удобрений опыты без повторных делянок и могут иметь демонстративное значение, то при попытке количественного учета остается совершенно неизвестным размер погрешностей, зависящих от неоднородности почвы.

[3] Следует иметь в виду, что строгое проведение принципа единственной разницы между вариантами в опыте, вообще говоря, является весьма трудно достижимым, так как, например, при изучении действия удобрений мы всегда имеем дело как с прямым, так и косвенным действием удобрений. Если, например, сравниваются делянки, получившие PK и NPK, то нельзя говорить, что отличие второй делянки от первой заключается лишь в том, что она получила азот. На самом же деле, в зависимости от вида азотистого удобрения, эти делянки будут различаться и в ряде других отношений. Если азот дается в виде $NaNO_3$, какое-то влияние окажет физиологическая щелочность этого удобрения, самостоятельное значение может иметь также внесенный натрий, изменение концентрации почвенного раствора и т. д.

На разных почвах, в зависимости от их свойств, эти дополнительные элементы разницы будут иметь, конечно, весьма неодинаковое значение, положительное или отрицательное.

вичной изменчивости почвенного покрова, т. е природных различий в механическом и химическом составе почвы или подпочвы, существует целый ряд условий, которые, ускользая от внимания экспериментатора, могут сильно отразиться на результатах опыта, в особенности же неодинаковое удобрение частей поля в прежние годы (иногда довольно давние; если, например, 50 лет назад на месте современной пашни была деревня и границы бывших огородов, не всегда остающиеся в памяти населения, попадут в пределы опытного участка, то делянки могут оказаться весьма неоднородными).

В особенности большая изменчивость на малых расстояниях может наблюдаться в подзолистой полосе, где ледниковые наносы обнаруживают напрасные чередования прослоек различного механического состава, и иногда два рядом лежащих участка могут давать разные урожаи из-за того, что в подпочве дренирующая прослойка выклинивается где-нибудь по средине опытного поля, и никакое исследование пахотного горизонта этой причины различия в урожаях обнаружить не может.

Чтобы дать некоторое понятие об изменчивости свойств почвы (даже в черноземной полосе, где изменчивость меньше, чем в зоне подзолов), возьмем на выдержку из четвертого отчета Ивановской опытной станции[1] несколько рядов цифр, выражающих урожаи свекловицы на рядом расположенных и ничем не удобренных делянках, по 125 м² каждая (нужно иметь в виду, что участок взят на постоянном опытном поле, следовательно, при всем соблюдении возможной однородности почвы по видимым признакам).

№	49-а	50-а	51-а	52-а	53-а	54-а	55-а	56-а
I	508	572	607	552	567	494	419	471
II	666	642	665	619	627	642	617	669
III	663	640	659	640	620	589	665	709
IV	696	672	698	707	684	713	697	715

Здесь показания отдельных делянок колеблются от 419 до 715. Если даже сложить цифры горизонтальных рядов и образовать крупные делянки в 1 000 м², то их показания все же различны, а именно: 4 185—5 147—5 185—5 582* и т. д.

Такова изменчивость в хорошем случае, т. е. при однородных внешних свойствах, благоприятном рельефе, одинаковой культуре в прошлом; при отсутствии этих условий размеры колебаний в сильной степени возрастают.

Не только к северу, в сторону подзолов, но и к югу от черноземной полосы пестрота почвенного покрова увеличивается. «Особенно пестры почвы на крайнем засушливом юго-востоке, в частности, так называемые комплексные полупустынные почвы, со скудной злаковой растительностью вообще, а в особенности на солонцеватых пятнах с солонцеватой растительностью. Даже во влажные годы посевы на таких почвах пестры и не выравнены».

«В сухие годы пестрота посевов там не поддается учету: наряду с мелкими куртинами, дающими урожай в 8—10 ц, встречаются пятна с урожаем в 2—3 ц и ниже» (Константинов).

Сильно выражена бывает иногда пятнистость и на переходах от степи к лесостепи.

[1] Данные относятся к 1910 г. и приводятся нами в фунтах, как в оригинале.

* Приведем подобные же данные, полученные на Сумской опытной станции при дробном учете на овсяном поле (без всякого удобрения).

Урожай надземных частей овса (килограммы на делянках в 64,5 м²)

№	1-а	2-а	3-а	4-а	5-а	6-а	7-а	8-а
I	1,87	2,22	2,05	2,12	2,06	1,80	1,89	1,70
III	2,16	2,09	2,14	1,48	2,00	2,07	2,20	2,10
IV	2,32	1,98	2,01	1,82	1,99	2,19	1,96	2,14
VII	1,46	1,73	1,97	2,04	2,11	2,26	2,20	2,30

и т. д. Здесь имели место колебания от 1,46 до 2,32 кг.

Для преодоления этого главного препятствия к достижению точности в полевом опыте предлагались разнообразные пути, вплоть до такого, казалось бы радикального, как снятие почвенного слоя со всех делянок, хорошее его перемешивание (вплоть до пропускания через сито) и обратное возвращение уже вполне однородной массы на место. Но не говоря о трудности этой меры, осуществимой только в мелкоделяночных опытах, она создает новую среду, отличную от почвы на остальной площади поля, так как строение почвы, степень аэрации, распределение влажности (и даже микроорганизмов) будут иными, нитрификация будет итти энергичнее и т. п. Может быть, эта однородная среда будет очень ценной для улавливания тонких различий между некоторыми удобрениями (например, преципитатом и суперфосфатом), но это будет другая среда, это будет уже переход к вегетационному опыту, который имеет свои задачи, при котором идут еще дальше в сторону различий от полевых условий (создание оптимальной влажности и пр.), но цифры которого нельзя переносить непосредственно в поле.

Другой путь устранения (или смягчения) различий почвенного плодородия пытались найти в так называемых уравнительных посевах, т. е. посеве по всей площади будущего опытного участка какого-либо растения без всяких удобрений; предполагалось, что на местах, сохранивших влияние прежнего внесения удобрений, растения разовьются лучше и возьмут питательных веществ больше, что будет способствовать выравниванию плодородия и подготовке участка к закладке опыта в будущем. Но так могут быть устранены только различия от такого рода удобрения, как селитра, действие которой благодаря легкой растворимости в воде и непоглощаемости почвой является быстрым и скоропреходящим, а, например, хорошая заправка навозом оставляет след на большее число лет (см. стр. 489); тем более уравнительными посевами не могут быть сглажены те различия в химическом и механическом составе почвы, какие могут встретиться в разных частях одного и того же поля.

Поэтому самый термин «уравнительный посев» теперь потерял значение, и вместо того говорят о рекогносцировочных, или разведочных, посевах, которые имеют известное значение; однако и здесь не подтвердилось предположение о каком-то поправочном коэффициенте для одной делянки по отношению к другой, не оказалось также возможным наметить делянки с совершенно равным плодородием почвы, чтобы в последующие годы можно было все различия между ними приписать только различию в удобрениях.

Но вполне возможно эмпирическим способом сравнить участки за год до производства опытов, выделив их заранее, одинаково, по возможности, их обработать, засеять в одно время, убрать отдельно урожаи и сравнить между собой; если не будет значительных колебаний в показаниях, то можно признать участки пригодными для производства опытов по удобрению на следующий год.

Конечно, этот способ помогает исключить грубые расхождения показаний, но он не исключает все-таки различий, проявляющихся неодинаково при разных условиях погоды и разных культурах. Так, в Австрии Dafert («Landw. Jahrb.», 1903) занимался в 1899 г. предварительной выверкой 100 мелких делянок (по 10 м² каждая), причем урожай пшеницы колебался на этих делянках от 2,7 до 3,8 кг; для опытов 1900 г. были выбраны только делянки, давшие вполне совпадающие показания, тем не менее урожай следующего растения (картофеля) колебался на этих избранных делянках от 19,76 до 26,6 кг, а урожай третьего хлеба (овса)—от 2,8 до 3,3 кг[1]. Причины таких несовпадений показаний разных лет могут лежать частью в условиях погоды; например, при недостатке (или избытке) влаги урожаи могут быть равны, а при оптимальной влажности скажется различие в плодородии делянок, или, наоборот, делянки равного плодородия дадут урожаи, уклоняющиеся в противоположную сторону во влажный год по сравнению с сухим годом, благодаря малозаметным различиям в микро-

[1] Подобные же примеры из данных Шатиловской станции приведены в статье А. Н. Лебединцева в «Вестнике сельского хозяйства» № 6, 1912 г.

рельефе; далее, при разных растениях может оказаться, что для одних запас пищи был везде обеспечен и различия не проявились, а для других, более требовательных, эти различия сказались (например, там, где хлеба не обнаружат различий, сахарная свекла их дает).

Тем не менее при изучении площади, отводимой под постоянные опытные поля, этот прием может оказывать значительные услуги, хотя не в той мере, как это ожидалось; так, если предварительными посевами не достигается выравнивания свойств отдельных делянок, если также нельзя делать на основании их каких-либо исправлений в случае учета урожаев при последующих опытах, то все же они служат для изучения свойств площади поля (характера изменчивости) и могут содействовать при достаточной дробности учета более правильному установлению размеров делянок (в связи с числом повторностей), более правильному делению площади на части, предназначаемые для отдельных опытов, или исключению той или иной части площади, если она окажется слишком пестрой.

В конце концов вследствие недостижимости уравнения свойств делянок предварительными посевами и невозможности прибегать к смешению почвы с разных делянок для придания ей однородности приходится находить выход в том, чтобы *вместо физического смешения почвы с отдельных делянок прибегать к чисто арифметическому смешению или суммированию урожайных данных с нескольких делянок, расположенных в разных частях изучаемого поля, и выведению путем деления среднего показания для однородных случаев*; при этом полагают, что в указанном среднем погасят те случайные отклонения, которые были вызваны неодинаковым плодородием одиночных делянок. Однако устойчивость средних чисел зависит (кроме степени однородности показаний) еще и от числа слагаемых, а потому чем большей точности требуем мы от опыта, тем большее число раз должны повториться размещенные порознь повторные делянки.

Самое важное при всяком опыте—знать размер возможной погрешности и сопоставить с ним различия, получаемые от применения удобрения; если, например, от удобрения получаются приросты в 40—50%, то разница между показаниями неудобренных участков в 5% и даже 10% не будет так затемнять результатов опыта, как если дело идет об учете более тонких влияний; тогда приходится повышать требование к точности показаний и умножать число повторных делянок (а также увеличивать размер делянок, если характер изменчивости почвы этому не противоречит). Во всяком случае, если имеют дело с малым числом повторений, то разницы между удобренными и неудобренными делянками должны *значительно* (например, в 3—4 раза) *превышать колебания между показаниями одноименных делянок*, чтобы опыт мог быть признан доказательным.

Необходимость определенной методики в полевом опыте не сразу нашла себе общее признание. Выше уже было сказано, что лет 100 назад слепо верили в показание больших делянок, не имевших повторностей, и не трудились проверить на опыте степень устойчивости таких показаний. В Германии в шестидесятых годах Грувен обратил внимание на невозможность обобщения данных отдельного опыта и необходимость параллельных опытов во многих пунктах; в семидесятых годах Меркер впервые выставил тезис, что при всяком опыте *нужно знать размер погрешности*, для чего он ввел повторность, особенно для неудобренных делянок, требуя, чтобы каждая третья (или, по крайней мере, каждая пятая) делянка оставалась неудобренной. Меркер выводил среднее из показаний всех одноименных делянок и отклонение от среднего для делянки с самым высоким и с самым низким урожаем принимал за размер погрешности, присущий данному опыту; поэтому он признавал наличность эффекта от удобрения только тогда, когда показания удобренных делянок явно выходили за пределы ошибки опыта. Тогда же Дрекслер обратил внимание на нездоровое стремление усложнять задачу опыта из-за желания решать в одном опыте сразу несколько вопросов. Особенно же систематически требование относительно

установления границ погрешностей и возможного их снижения путем повторности стал проводить с восьмидесятых годов прошлого столетия Вагнер (Paul Wagner), много сделавший для развития методики как полевого, так и вегетационного опыта.

Но то, чего стали так настойчиво требовать Меркер и Вагнер, не сразу вошло в жизнь, и только с начала XX века в Германии стало общим правилом регулярное применение повторности делянок и других мер предосторожности при опытах с удобрением.

Обыкновенно сравнивают среднее показание удобренных делянок со средним из показаний делянок неудобренных и по разности судят о том или ином действии удобрений. Но если данные одноименных делянок, расположенных в разных частях поля, недостаточно близки и дело идет об оценке показания отдельной делянки, то правильнее сравнивать его не прямо с общим средним, а прежде всего со средним из двух соседних неудобренных, лежащих по обе стороны данной удобренной делянки: такое среднее ближе отвечает предполагаемому урожаю данной делянки, если бы она не получила удобрения (воображаемая контрольная делянка)[1].

Но значительная повторность сильно увеличивает труд по постановке и учету опытов, тем более что обычно приходится не просто сравнивать влияние внесения удобрения (например, типа NPK) с отсутствием его, а иметь дело с более или менее сложными схемами, как, например, восьмерная схема, когда четырех- или шестикратная повторность вызывает уже наличие—32—48 делянок, на которых все работы по посеву и уборке должны быть произведены одновременно (иначе, например, дождь может задержать уборку части делянок, создать различия, не зависящие от действия удобрения, и тем испортить опыт).

Кроме числа делянок, бо́льшая или меньшая трудность выбрать однородную площадь для опыта (при условии также одновременного и строго однообразного проведения всех мероприятий по постановке опыта) зависит от размера делянок, который бывает весьма различен и для которого общего правила установить нельзя; часто встречается размер делянки в 100 м², а теперь имеется стремление поднять его до 1 000 м² (и больше при постановке опытов в производственных условиях), с другой стороны, при особом типе мелкоделяночных опытов при иной цели исследования он опускается до 2 м². В период возникновения наших опытных станций, из которых старейшей является Полтавская, основанная в 1885 г., помещики-«практики» обычно упрекали опытников за работу с повторностью при небольшом размере делянок, утверждая, что «вот если взять целую десятину и ее удобрить, а другую не удобрять, то и без повторности будет видно, стоит ли удобрять»; очевидно, тогда принималось, что если на-глаз почва на обеих десятинах одинаково черна, то и урожай на них

[1] Если даже неудобренные участки не лежат непосредственно по обеим сторонам взятого удобренного, а расположены реже, то в случае постепенного изменения свойств почвы на расстоянии между неудобренными участками можно в известных случаях пользоваться интерполированием и вычислять урожай воображаемого контрольного участка, отвечающего данному удобренному на основании соотношения расстояний этого последнего от обоих неудобренных. Этим путем иногда удается ввести существенные поправки при обработке результатов опытов; однако допустимость этого приема зависит от характера изменчивости почвы, от того именно, меняются ли урожаи неудобренных участков с известной правильностью, повышаясь постоянно (или понижаясь) в одном определенном направлении или же скачками; лишь в первом случае мы можем быть уверены в целесообразности примененного расчета. Но судить о характере изменчивости (если не было реноговосцировочного посева) можно именно путем частого повторения контролей. Случаи постепенной, плавной изменчивости возможны, например, в черноземной полосе при расположении опытов на склонах. Когда говорят, что на склонах не следует ставить опытов, то из этого правила все-таки приходится делать исключения, если дело идет об удобрении именно склона (характерно, что когда при отыскании места для Московской областной станции в 1916 г. выбор остановился на имении «Собаниово», отличающемся чрезвычайно ровной поверхностью, то затем был сделан упрек, что такое ровное место совсем не типично для Московской губернии). См. статьи Б. И. Рождественского «Как повысить точность полевого опыта» в сборнике имени Чупрова «Опыты с минеральными удобрениями на крестьянских землях» (под ред. Д. Н. Прянишникова, с предисловием К. А. Тимирязева), М., 1908.

(без удобрения) бывает одинаков, однако и на черноземе имеют место большие колебания, и чем больше площадь, охваченная опытом, тем больше риска захватить неоднородные площади; поэтому *большие делянки не освобождают от повторности*, и число необходимых повторений для каждого размера делянок должно быть установлено путем опыта в пределах *данной почвенной разности*. Дело в том, что изменчивость почвы носит разный характер, и в ней нужно различать дробную изменчивость, которую большая делянка может перекрывать и потому сглаживать, от изменчивости иного масштаба, которая может выявляться, например, на протяжении километра или в постепенном падении почвенного плодородия в одном направлении (как это бывает в черноземной полосе при переходе от возвышенного плато к речной долине), или в капризной и многократной его изменчивости, как это бывает часто в нечерноземной полосе, притом не только в связи с рельефом, но и независимо от него. Поэтому увеличение общей площади под опытом сверх известного предела (в разных зонах—разного) становится невыгодным потому, что такое увеличение может вызвать выход части делянок не только за пределы однородности почвенного покрова, но и за пределы тождественных условий экспозиции; это особенно легко происходит в районе субтропических культур, где капризно меняющийся горный склон исключает возможность работы с крупными делянками.

Установление размеров делянок еще и потому трудно поддается общей нормировке, что, кроме характера почвенной изменчивости, вопрос этот является сопряженным и с числом повторностей (так как произведение на площади делянок на повторность и на число комбинаций в схеме опыта дает общую площадь, занимаемую опытом), а также и с тем, при какой технике выполнения с.-х. работ будет проводиться опыт—трактор, конная упряжка, мотофреза или ручная работа при посадке каждого растения, как при культуре свекловичных высадок; также и при уборке—жнея или комбайн или ручной сбор (хлопок, шафран и т. п.).

Ввиду того что вопросы о *числе повторных делянок, величине отдельной делянки и площади всего опытного участка являются вопросами сопряженными, необходимо, взвесив значение каждого фактора, выбрать затем некоторый оптимальный комплекс их*, обусловливающий возможно бо́льшую точность ответа для данных условий; поэтому остановимся ближе на взаимодействии этих факторов.

Наиболее существенное увеличение достоверности среднего достигается обычно путем увеличения числа делянок. По теории вероятностей средний размер погрешности уменьшается пропорционально корню квадратному из числа показаний, т. е. при 2 показаниях погрешность уменьшается в отношении $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}71$, при 4 показаниях—вдвое (в отношении $\left(\frac{1}{\sqrt{4}} = 0{,}50\right)$ и т. д.

При проверке этих отношений применительно к условиям полевого опыта Holstmark и Larsen (Норвегия) наблюдали близкие к вычисленным изменения, именно:

	При среднем на делянке		
	1	2	4
Средние размеры погрешности относятся как	1 :	0,658 :	0,418
Вычисление же дает	1 :	0,71 :	0,50

На деле сокращение размера погрешности оказалось даже выше предсказываемого теорией вероятностей, что объясняется так: погрешности в показаниях отдельных делянок на самом деле не вполне случайны (как это допускается при теоретическом построении), они являются отчасти как бы общими или более близкими для целых групп делянок; так, обычно плодородие почвы меняется не беспорядочными скачками от одной делянки к другой, а более постепенно в том или другом направлении (это констатировано и в опытах Larsen); поэтому когда мы увеличиваем число повторных делянок, мы еще выигрываем и на распределении их по площади, свойства которой оказываются тогда лучше представленными в нескольких делянках, разбросанных в разных частях опытного участка (заметим, что характер изменчивости свойств почвы может быть в разных случаях в той или иной мере неодинаковым).

Величина делянки также может способствовать повышению точности показания, но не в тех пределах, как это нередко думают лица, не имевшие дела с постановкой опытов; вот пример из того же исследования Larsen:

Величина делянки (в квадратных метрах) .	6,25	12,50	25	50	100
Средний размер погрешности (в процентах)	17,4	15,8	14,6	12,7	11,5

Таким образом, здесь крупное (16-кратное) увеличение площади под каждую делянку понизило размер погрешности почти лишь в том же отношении, как если бы мы только удвоили число самых малых делянок $\left(\frac{17{,}4}{\sqrt{2}} = 12{,}3\%\right)$*.

Различие между удвоением (или вообще умножением) числа делянок и увеличением площади делянки видно уже из того, что при удвоении площади захватываются только соседние части, на которых погрешность обычно близка к тому же типу; при удвоении же числа делянок (или одновременном увеличении площади и раздроблении прежней делянки на части, разбросанные в разных местах участка) мы *захватываем разные части площади* с разными размерами погрешностей и таким образом лучше учитываем последние.

Итак, *в пределах данного опыта увеличение числа делянок повышало точность в большей мере, чем увеличение их площади* (опыт относится к условиям нечерноземной полосы); следовательно, в данном случае можно повысить точность, если вместо одной крупной делянки взять несколько мелких, в сумме равных ей по площади; при таком раздроблении делянки больше выигрывается в точности от увеличения числа делянок, чем будет утрачено от уменьшения площади каждой делянки, общая же площадь при этом останется прежней.

Насколько можно понизить размер погрешности таким раздроблением делянок, можно видеть из следующих данных Larsen: 20 делянок по одному ару[1] каждая (100 м²) дали средний урожай сена в 74,85 кг при среднем отклонении в 12%, параллельно с этим на той же площади луга были образованы разбросанные дробные делянки по 0,5, 0,25, 0,125, и 0,0625 ара, которые при учете образовали в сумме делянки тоже по одному ару, по двадцать таких суммарных делянок в каждой серии; при этом получились такие отклонения (в процентах):

Серия по 20 аров

	Делянки целые (по 1 ару)	Делянки раздробленные			
		2 по 1/2	4 по 1/4	8 по 1/8	16 по 1/16
Среднее отклонение	12,02	8,06	5,30	4,62	3,33
Наибольшее отклонение	32,14	22,11	16,10	8,62	8,63

В подобном опыте на Ивановской опытной станции при гораздо большей величине делянок (свыше 1 000 м²) Б. Н. Рождественский наблюдал такие откло-

* При подобном сравнении на Сумской опытной станции М. А. Егоровым получены такие величины (приводим в саженях по оригиналу, так как здесь пересчет на метры не имеет смысла):

Размер делянки (в квадратных саженях) . . .	1	3	5	10	20	40	60
Средний процент отклонения	7,3	5,7	5,0	3,8	3,9	2,8	2,8

Повидимому, для данных условий повышение точности показания от увеличения размера делянки прекращалось при приближении к площади в 40 саж. [или, может, быть даже ранее], так как для промежуточных площадей (20—40 саж.) нет данных (см. «Журнал опытной агрономии», 1909].

[1] Ар—сотая часть гектара.

нении (при разбивке на 8 элементарных делянок по 135 м² каждая, занятых сахарной свеклой):

	Делянки (9) расположены			
	в 1 месте	в 2 местах	в 4 местах	в 8 местах[1]
Величина делянки (в квадратных метрах)	1 080	540	270	135
Среднее отклонение (в процентах)	5,16	4,08	3,07	2,72

Крайние отклонения при этом уменьшились от 13,69% до 6,07%.

Таким образом, при весьма различной величине делянок подтверждается выгодность раздробления большой делянки и размещение ее частей в разных местах изучаемого поля.

Увеличение числа делянок без уменьшения их размеров повлекло бы за собой увеличение общей площади, занятой данным опытом; такое увеличение, даже если оно не встречает препятствий внешних (размер площади, отводимой под опыты), то за известными пределами оно может быть нежелательно по существу, так как влечет за собой увеличение расстояний между крайними делянками; между тем при больших расстояниях можно ожидать (особенно в зоне подзолистых почв) бо́льших различий в свойствах почвы, чем при малых, а значит и бо́льших размеров погрешностей в показаниях делянок[2].

Чтобы противодействовать этому возрастанию погрешностей при увеличении общей площади опытного поля, Holstmark и Larsen предложили пользоваться методом, который в течение ряда лет с успехом применялся на опытных полях в Норвегии и который они обозначают в своем немецком сообщении[3] как «Massparzellenmethode», т. е. «метод измерительных делянок», или стандартов;

[1] Или большая делянка в 1 080 м² разбита на 2, 4, 8 меньших, расположенных в разных частях опытного участка.

[2] Является совершенно неверным утверждение, будто переход к менее крупным делянкам при увеличении повторности был связан с тем, что опытное дело обслуживало мелкое крестьянское землевладение. В этом утверждении заключается целый комплекс ошибок. Во-первых, изучение вопроса о значении повторности при не столь крупных делянках началось у нас на Ивановской опытной станции, основанной крупным землевладельцем Харитоненко (ему принадлежало 45 000 га в Харьковской губернии); станция эта имела задачей изучение приемов свекловичной культуры, которая была в то время культурой помещичьих хозяйств. Дальнейшее изучение методики опытного дела (работы Франкфурта, Рождественского, Юровского и др.) велось сетью опытных полей Всероссийского общества сахарозаводчиков, а членами этого общества были крупнейшие землевладельцы Киевской (и смежных с нею) губерний, которые заботились об интересах собственных хозяйств, а вовсе не о мелком крестьянском землевладении (точно так же и в Германии Павел Вагнер, с восьмидесятых годов начавший работу по методике опытного дела и пришедший к выводу о полезности замены одной крупной делянки несколькими мелкими, выносил результаты вегетационных опытов прежде всего из поля крупных землевладельцев, которым легче было нести расходы по опытам). Во-вторых, в означенном утверждении смешиваются два совершенно разных масштаба мелкости и крупности делянок, так как то, что было мелкой делянкой с точки зрения хозяйства Харитоненко, было бы слишком крупной делянкой для крестьянской полосы, а самый способ расположения делянок в пространстве для крестьянского хозяйства был бы совершенно неприемлем и никем для этой цели не предлагался. В-третьих, здесь имеет место анахронизм (ошибка хронологическая), именно интерес к раздроблению больших делянок проявился тогда, когда о перенесении опытов с минеральными удобрениями на крестьянские земли еще никто и не думал, когда и в помещичьих хозяйствах минеральные удобрения вообще еще не применялись, и только сахарная свекла начинала играть роль первого проводника суперфосфата (и отчасти селитры) исключительно в имениях сахарозаводчиков (или их крупных поставщиков). Перенесение опытов с минеральными удобрениями на крестьянские земли имело место в заметном размере лишь в предвоенные годы (опыты московского земства), а методические работы на опытных полях свеклосахарных хозяйств начались в конце XIX века (см. Прянишников. Отчеты об агрономических съездах в имении Харитоненко, журнал «Хозяин», 1899 г. и следующие годы).

[3] «Landw. Versuchsstationen, Band LXV, 1906 (первое сообщение сделано Larsen на сельскохозяйственном конгрессе в Стокгольме в 1897 г.).

этот метод сводится к известному способу размещения контрольных делянок (если угодно—пробных площадей) и пользования ими для учета действия того или иного испытываемого приема (как влияния удобрения, так и сравнения сортов и пр.). На общем фоне шахматно расположенных квадратных делянок (см. рис. 72) располагаются делянки измерительные, рядами, параллельными диагонали (на рисунке обозначены буквой *O*), если же мы будем двигаться по горизонтальным (или вертикальным) рядам, то через каждые две «опытные» делянки будем встречать одну измерительную (стандартную, или контрольную), так что на последние делянки приходится $^1/_2$ всей площади опытного поля.

При таком расположении каждая «опытная» делянка (например, *a* и *b* на рис. 72) имеет по соседству с собой три измерительные делянки, которыми и пользуются для того, чтобы вместо фактически полученных урожаев на сравниваемых делянках употреблять для сравнения, так сказать, «идеальные» урожаи, которые высчитываются следующим образом:

Рис. 72.

«Вычисляют средний урожай трех ближайших к сравниваемой измерительных делянок и определяют разность между этой средней величиной и урожаем соответственной (сравниваемой) делянки. Это делается для всех делянок, входящих в опыт. Далее вычисляют средний урожай всех измерительных делянок на данном поле, и в конце концов для каждой сравнительной делянки отвечающую ей разность прибавляют к среднему из урожаев измерительных делянок или из него вычитают, смотря по тому, положительный или отрицательный знак имеет разность»[1].

При таком методе изменчивость на протяжении всего поля не оказывает существенного влияния на размер погрешностей, последний зависит главным образом лишь от тех изменений, какие возможны при переходе от одной соседней делянки к другой.

Если вглядеться в сущность этого «норвежского» метода, то легко обнаружить, что среднее из всех контрольных делянок играет здесь лишь видимую роль, на самом же деле сравнение производится с соседними контрольными. Графически основной прием можно выразить так: проводим горизонтальную линию, отвечающую уровню общего среднего урожая для всех измерительных (контрольных) делянок, а на ординатах, отвечающих «опытным» делянкам, откладываем кверху (или книзу) от названной линии те разности урожаев, которые дала каждая такая делянка по сравнению со средним урожаем трех соседних контрольных делянок. Следовательно, в конце концов сравниваются эти последние разности, только после приведения (чисто формального) к некоторому общему уровню[2].

Своеобразно в «норвежском» способе самое размещение контрольных делянок, позволяющее иметь по соседству с каждой удобренной три неудобренные делянки при отведении всего лишь $^1/_2$ площади под последние; это представляет несомненную положительную сторону, однако осуществимую только при многорядном (шахматном) расположении делянок квадратной (или близкой к последней) формы, тогда как по ряду соображений удлиненная форма представляет ряд преимуществ. Все сказанное о сравнении с соседними контролями и о последующем приведении всех показаний к общему масштабу относится и к рядовому расположению делянок, но только тогда придется отвести большую долю площади под контроли (например, 50%, если каждая удобренная делянка имеет с двух сторон контроль) или же, отводя также $^1/_2$ под контроли,

[1] «Landw. Versuchsstationen», Bd. LXV, стр. 19—20. Но если выразить приросты для отдельных случаев в процентах от среднего из показаний трех смежных контролей, то показания всех удобренных делянок будут непосредственно сравнимы между собой.

[2] Эти замечания мы делаем не ради возражения против «норвежского» способа, но ради выяснения его значения. Нельзя не отметить, что многое в нем близко с неоднократно измечавшимся и в нашей литературе: там—«идеальный урожай», здесь—«воображаемая контрольная делянка» Б. Н. Рождественского; там—расчет на основании трех соседних, здесь—двух (но, к сожалению, Б. Н. Рождественский и целый ряд других русских авторов печатали свои работы только по-русски, поэтому они не могли быть приняты во внимание западно-европейскими авторами).

допускать, что каждая удобренная делянка непосредственно соприкасается только с одной контрольной.

Такого рода расположение делянок рекомендуется акад. Константиновым (так называемый парный метод), причем каждая опытная делянка сравнивается с соседней ей контрольной (или «стандартной»). Обозначая контрольную делянку буквой О, а варианты опыта—I, II, III и т. д., получим такое расположение делянок (см. рис. 73).

0	I	II	0	III	IV	0	V	VI	0

Рис. 73.

Упрощенный способ обработки результатов такого опыта, по Константинову, состоит в следующем. Урожаи делянок вариантов I, II, III и т. д. выражают в процентах от урожая рядом расположенной контрольной делянки. Затем вычисляют средний урожай контрольных делянок; принимая этот средний урожай за 100 и имея выраженные в процентах урожаи каждого варианта, рассчитывают так называемый приведенный (к среднему контролю) урожай всех вариантов. Понятно, что этот способ расположения делянок (как и способ обработки результатов) не снимает необходимости иметь в опыте несколько повторностей. В качестве суррогата повторности предлагается подразделение сменных учетных делянок (одна из которых контрольная) на части или парцеллы при уборке урожая, с последующим сравнением рядом расположенных парцелл. По существу этот способ не заменяет повторности в обычном понимании, но в тех случаях, когда разница в урожаях между делянками достаточно рельефна и в то же время наблюдается изменчивость вдоль расположения делянок, подобного рода парцеллярный (дробный) учет может дать дополнительный материал для более объективной оценки результатов опыта[1].

Отдельные требования к размеру опытных делянок, как вытекающие из совершенно различных соображений, могут иногда приходить в противоречие друг с другом; так, например, если характер изменчивости почвы или другие соображения говорят за малый размер делянок, а опыт ставится не на стационарном опытном поле, а в хозяйственных условиях, где обработка идет большими загонами и при посеве к трактору прицепляется пять сеялок, то все-таки возможно, кроме опыта с крупными делянками с хозяйственной обработкой, посевом и удобрением, провести опыт и с меньшими делянками, не нарушая общего хода работ в хозяйстве; для этого достаточно разбить участок на делянки какой угодно величины, внести удобрения, затем убрать все колышки (кроме знаков на меже) и предоставить хозяйству произвести обработку и посев обычным образом. Перед учетом стоит только до начала общей уборки восстановить (исходя от межи) границы делянок и учесть урожай с какой угодно степенью тщательности и дробности.

Кроме того, можно, не производя общей уборки, произвести учет по пробным снопам, рядкам, полосам и пр., чтобы иметь проверку хозяйственного учета, который нередко осложняется всякими случайностями и при котором потери от осыпания и другие могут казаться по чисто внешним причинам неодинаковыми для разных делянок.

Опыты с удобрениями на небольших делянках являются безусловно необходимыми тогда, когда идет дело об испытании удобрений, которые не производятся в больших количествах, и еще только ставится вопрос, должны ли они у нас производиться. Поэтому совершенно неправильно со стороны некоторых малосведомленных лиц делались упреки, например, Научному институту по удобрениям (НИУ—ВСНХ), что он в период, предшествовавший развитию туковой промышленности (1925—1931 гг.), проводил свои основные опыты не в производственных условиях, а на опытных станциях, при небольшом размере делянок (но при шестикратной повторности). Эти опыты ставились с дорогими импортными удобрениями, и проводить их на больших делянках было бы неправильно.

[1] Подробнее о парном методе см. в книге Н. П. Константинова «Методика полевых опытов», Сельхозгиз, 1939.

В итоге нужно сказать, что можно работать с делянками какой угодно величины, но *для каждой величины делянки и каждой почвенной разности должно быть опытом установлено число повторений*, могущее гарантировать ту точность опыта, с которой мы хотим работать, так как снижение погрешностей до 10 или 5 или 3% достигается в разных случаях при разном числе повторений.

Поэтому тот переход от 100-метровых делянок к 1 000-метровым (и бо́льших размеров), который вызывается изменением техники земледелия, должен сопровождаться методической работой, отдельно проводимой для разных почвенных зон. Если переход от 25-метровых к 250-метровым делянкам сопровождается известным уменьшением погрешности, то из этого вовсе не следует, что и переход от 250-метровых делянок к делянкам с площадью в 0,1 или 0,25 га на всякой почвенной разности будет непременно сопровождаться тоже уменьшением погрешности, тем более никто a priori не может сказать, в какой мере это будет иметь место; но, с другой стороны, заведомо известно, что наиболее важным фактором уменьшения размеров погрешности является повторность, а главное, только повторность позволяет установить этот размер; работа без повторностей подобна хождению с завязанными глазами или плаванию без компаса. В том, что делянки в 1 000 м² могут требовать значительной повторности даже в черноземной полосе (где почвенный покров гораздо более однороден, чем в нечерноземной), часто можно убедиться даже без постановки новых опытов, но прибегая к использованию прежних данных опытных станций по дробному учету площади, подготовляемой для закладки опытов в будущем. Большой материал по методике полевого опыта содержится, например, в работах Б. Н. Рождественского; из этих работ мы можем взять следующий пример: при закладке нового опытного поля на Ивановской станции площадь около 6 га была разбита на делянки около 125 м²*, расположенные в 4 ряда по 104 делянки в каждом ряду. Если мы суммируем по 10 делянок, то получим суммарные делянки около 1 250 м², примыкающие друг к другу длинными сторонами. Размеры колебаний урожайности на составляющих (малых) делянках и на суммарных (больших) делянках видны из следующих примеров:

Урожай для 125 м²

№	Ряды I	Ряды II	Ряды III	Ряды IV	№	Ряды I	Ряды II	Ряды III	Ряды IV
51	607	665	659	698	61	545	701	660	739
52	552	619	640	707	62	545	719	709	718
53	567	627	620	684	63	534	660	672	720
54	494	642	589	713	64	543	676	681	736
55	419	647	665	697	65	557	680	663	705
56	471	669	709	715	66	511	711	654	739
57	479	660	682	697	67	471	650	660	750
58	510	696	713	736	68	442	659	707	762
59	466	686	676	673	69	502	640	651	661
60	545	743	656	741	70	508	622	669	651
Суммарные делянки (по 1 250 м²)					Суммарные делянки (по 1 250 м²)				
	5 119	6 624	6 619	7 061		5 158	6 708	6 726	7 181

В данном случае плодородие почвы возрастало регулярно от первого ряда к четвертому, и увеличение размера делянки по длине полосы до 1 250 м² не

* Так как в оригинале, относящемся к 1910 г., размер делянок указан в саженях, то при пересчете в метры получаются дробные числа, что для нас в данном случае не имеет значения. Урожаи показаны в пудах (см. «Труды Ивановской опытной станции», вып. IV).

устранило весьма значительных расхождений между показаниями делянок, совершенно одинаково обработанных и ничем не удобренных[1]. Поэтому делянная повторность необходима всегда и нельзя думать, что при больших делянках двойная повторность есть нечто, не оставляющее желать ничего лучшего,—при ней возможны значительные отклонения, особенно в нечерноземной полосе. Достаточно сказать, что известные опыты в Ротамстеде, которые имеют недостаточную повторность (только двойную, потому что они закладывались в сороковых годах прошлого столетия), обнаруживают средний размер погрешности в 10%. В тех случаях, когда по условиям постановки опыта приходится ограничиться только двойной повторностью для удобренных делянок, *все же необходимо иметь большее число делянок без удобрения, чтобы иметь возможность контролировать изменчивость почвенного покрова*[2].

Но нужно всегда помнить, что нет общих правил для числа повторностей и размеров делянок, вопрос приходится решать сообразно цели опыта и характеру изменчивости почвы. Так, от полевого опыта требуется бо́льшая точность для целей сортоиспытания, чем при испытании действия удобрений, и сообразно этому, если селекционеры желают работать с точностью до 2% (которая для вопросов удобрения большей частью излишня), то им приходится сильно повышать число делянок.

Для селекционера нужна такая точность потому, что если один сорт даст урожай больше, чем другой, например, на 5%, то его следует уже предпочесть, ибо эти 5% представляют чистый плюс (так как предпочтение одного сорта другому не связано с расходами); если же удобрение дает 5% прироста урожая, то это большей частью не интересно, так как применение удобрений связано с затратами средств и труда, и нужно, чтобы прирост урожая значительно превосходил по ценности примененные удобрения.

А если нас интересуют приросты в 30—40 и 50%, то мы можем снизить точность опыта, например, до 5%, и тогда работать со значительно меньшим числом повторений, чем это делается при сортоиспытании[3].

В истории нашего опытного дела были случаи, когда считали повторность несущественной, если опыты ставятся в очень большом числе по одной и той же схеме в определенном более или менее однородном районе, полагая, что при математической обработке все случайные отклонения сгладятся и общие закономерности все-таки выявятся. Здесь недоразумение заключалось в следующем:

---

[1] В данном случае суммирование в поперечном направлении дает более устойчивые показания, но без дробного учета нельзя предвидеть заранее, в каком направлении выгоднее вытягивать делянки.

[2] Недопустимость только двух неудобренных делянок на почве, не проверенной на изменчивость, может быть иллюстрирована на следующем конкретном примере: был поставлен опыт, в котором 1-я и 11-я делянки оставлены неудобренными, а со 2-й по 10-ю и с 12-й по 20-ю даны были различные удобрения в одинаковой последовательности; при уборке оказалось, что урожаи с 1-й до 10-й делянки правильно возрастали, а с 11-й до 20-й правильно падали; лицо, ставившее опыт, вывело среднее арифметическое и пришло к заключению, что удобрение на данной почве не действует. Между тем здесь, очевидно, влияло местное падение почвенного плодородия от 11-й делянки к 20-й; если бы была добавлена по крайней мере 3-я контрольная делянка в конце полосы (№ 21-й), то это падение плодородия было бы обнаружено и опыт должен был быть забракован, или же, если бы между удобренными делянками были чаще разбросаны неудобренные и они обнаружили бы плавное падение плодородия в одном направлении, все-таки *сравнение удобренных делянок с соседними неудобренными выявило бы наличность эффекта от удобрений*.

[3] Вопрос о влиянии выбора сорта на результат опыта с удобрениями также может представлять интерес, притом с нескольких сторон: так, не все сорта одинаково отзывчивы к удобрениям, и оценка сортов, установленная селекционерами до применения минеральных удобрений, может существенно измениться на фоне обильного применения этих удобрений. Кроме того, разные сорта дают разный процент ошибки при постановке опытов. Так, на Краснокутской станции при учетной площади делянки в 50 м² и десятикратной повторности получена такая точность опыта для разных сортов (по Константинову):

10 сортов пшеницы дали ошибки в	0,5—2%
14 » » » » »	2 —3%
4 » » » » »	3 —4%
4 » » » » »	5 —6%

бесполезно пускать в математическую обработку негодный материал и ждать, что он превратится в хороший, а без должного повторения (особенно проверки изменчивости почвы с помощью многих неудобренных делянок) нельзя провести браковку первичного материала, и плохие опыты (заложенные на неподходящем фоне и пр.) будут затемнять собой данные хороших опытов. По этому поводу один видный математик[1] выразился так: «Математика—это все равно, что сильные жернова, которые могут все перемолоть, но если вы положите зерно, то получите муку, а положите гравий—получите песок». Поэтому важно отбросить плохой материал заранее, а этого нельзя сделать без должной повторности.

Насколько слепая вера в значение средних величин из большого числа опытов может быть ошибочной, если достоинство отдельных опытов не проверено, может показать даже такой упрощенный пример: допустим, что сравниваются два удобрения *а* и *б*, и среднее арифметическое из данных опытов оказывается одинаковым, например:

	а	*б*
1	20	25
2	30	23
3	22	32
4	28	20
Среднее . .	25	25

Несмотря на совпадение средних, показания отдельных опытов в данном примере противоречивы, и никакого вывода из такого опыта сделать нельзя. Недоброкачественные опыты должны быть исключены до выведения средних, а судить о доброкачественности опыта без повторности нельзя.

Кроме числа и величины делянок, обращают внимание и на их форму. Опыт показывает, что вытянутые делянки дают более постоянные результаты, нежели квадратные, так как они захватывают почву различных качеств и лучше отвечают средним свойствам всего участка; но в отмеривании их должна соблюдаться большая тщательность, так как небольшая ошибка в измерении короткой стороны и неправильность в проведении длинной стороны (кривизна линии) могут существенно отозваться на величине площади участка[2]. При этом удобно пользоваться рядовой сеялкой, с помощью которой можно получать делянки строго одинаковой ширины и площади при любой длине (это особенно удобно при внесении удобрений рядовым способом при помощи комбинированных сеялок).

При сравнении делянок квадратных и удлиненных Б. Н. Рождественский получал такого рода данные (в процентах):

	Средние отклонения	Крайние отклонения
Квадратные	8,07	19,96
Удлиненные делянки	9,89	10,51

Расположение делянок может быть или однорядным или многорядным (многоярусным, шахматным). Однорядное расположение является неизбежным на узких и длинных полосах, притом обработанных всвал; кроме формы полосы, к этому побуждает здесь и неоднородность условий роста на том и другом скате (т. е. если бы мы расположили делянки, например, в два ряда, то один ряд оказался бы на северном, другой на южном или западном и восточном скатах), если же каждый участок захватывает всю ширину полосы, то участки будут более сравнимы друг с другом[3].

---

[1] Н. Е. Жуковский.

[2] Так, при участках 100 м длиной и 10 м шириной, ограниченных друг от друга лишь пропашной бороздой, погрешность при проведении последней на ширину борозды с той и другой стороны участка создает уже потерю 6% площади участка (Drechsler, «Journ. f. Landw.», 1880).

[3] См. о расположении и величине делянок и других подробностях в статьях Франкфурта в Рождественского («Труды сети опытных полей», сообщение 1-е), Ротмистрова («Методика полевого опыта», Одесское опытное поле, № 9); в статье «Полевые опыты» в VII томе с.-х. энциклопедии (изд. Девриена); в докладах и инструкциях, напечатанных в сборнике им. А. И. Чупрова под редакцией Д. Н. Прянишникова («Труды Московского совещания», М., 1908); в отчетах о работах Екатеринославской сети и в ряде отчетов опытных станций—Сумской, Шатиловской, Безенчукской, Ивановской, в четвертом выпуске «Трудов Ивановской

При разбрасывании удобрения необходимо следить за тем, чтобы благодаря неосторожности или ветру удобрения не попадали на соседние полосы (устройство промежуточных «защитных» полос помогает парализовать невольное перенесение удобрения при боронованиии); если удобрение сильно пылит (шлаки, цианамид) или вообще желают увеличить вес разбрасываемой массы ради более равномерного ее распределения, то смешивают удобрение с небольшим количеством сухой земли. При заделке удобрений должно быть обращено внимание на то, чтобы они заделывались на одинаковую глубину и одинаковыми приемами (если соответствующие разные приемы не являются объектом изучения); на неудобренном участке такая же вспашка, какая необходима для заделки, все-таки должна быть произведена, в противном случае различие может происходить от неодинаковой обработки. Точно так же и при посеве необходимо строго соблюдать общее условие—одной и той же густоты посева и одних и тех же операций при заделке семян и одновременности их выполнения.

Во время роста желателен надзор за опытными участками, так как (помимо охраны и предупреждения потрав) иногда во-время сделанное наблюдение открывает причину последующих незакономерных различий; особенно важен осмотр озимых весной с тем, чтобы отметить вымочки и выключить поврежденные места или же совершенно забраковать опыт.

Перед уборкой выжинивают защитные полосы так, чтобы осталась лишь площадь, подлежащая учету, удаляют хлеб, снятый с защитных полос (во избежание риска смешения), и затем убирают самые делянки. При постановке опытов, в различных хозяйствах (массовые опыты, коллективные опыты), ввиду возможности смешения копен при перевозке[1], молотьбе, риска повреждений при хранении и пр. весьма существенно взвесить весь урожай еще в поле, чтобы по крайней мере по суммарному весу зерна и соломы судить о действии удобрений; кроме того, возможно определить и урожай зерна до общего обмолота путем учета по пробным снопам[2]. Для этого снопы кладутся сначала несвязанными, из каждого снопа берется горсть (о предосторожностях при взятии этой горсти см. в статьях, цитированных в примечании), из этих горстей составляется пробный сноп, который взвешивается одновременно с взвешиванием остальной массы урожая на участке (связанной в снопы вслед за взятием пробы); одновременное взвешивание существенно, особенно в нечерноземной полосе, где колебания во влажности (в зависимости от изменения температуры в разные часы дня) способны существенно повлиять на вес соломы (и тем вызвать неверность в определении урожая зерна). Пробные снопы кладутся затем в нумерованные мешки, увозятся в сухое помещение, где по высушивании еще раз взвешиваются; зная вес зерна с каждого пробного снопа и отношение веса пробного снопа к общей массе урожая с делянки (при одинаковых условиях влажности), нетрудно определить вес зерна на делянке (а так как известна потеря в весе пробного снопа при высыхании, то можно и весь валовой урожай пересчитать на сухой вес, что может представлять интерес для более правильного определения веса соломы и отношения веса зерна к весу соломы). Затем

опытной станции» (1910), глава «Приемы, увеличивающие точность полевого опыта» (сост. Рождественский). Из монографий более позднего периода см. Недокучаев, «Полевой метод» (1930), Römer, Der Feldversuch, 2-е изд., 1925 (Можно выразить сожаление, что перевод обстоятельной монографии проф. Ремера остался ненапечатанным на русском языке; имеется лишь размноженный на мимеографе перевод проф. Умова, Владивосток, 1930), Müller-Arnold und Feichtinger, Der Feldversuch in der Praxis, Wien, 1929, Fisher R. A., The Desing of Experiments, London, 1935, Кудрявцева, «Методика и техника постановки полевого опыта на стационарных участках», СХГ, 1932, а также упомянутую выше книгу Константинова, «Методика полевых опытов», СХГ, 1939.

[1] См. о некоторых мерах предосторожности у В. Г. Ротмистрова, «Методы полевого опыта» (оттиски из отчета Одесского опытного поля, год IX).

[2] См. В. В. Винер, Метод средних образцов при производстве полевых опытов («Журнал опытной агрономии», 1901 г.); А. Н. Венгеровский, Учет урожая по методу средних образцов («Вестник сельского хозяйства», № 30, 31, 32, 1907 г.); статьи М. Н. Вовлейна и др. в сборнике им. А. И. Чупрова (Москва, 1908); см. также т. I Екатеринославских «Трудов сети» и т. д.

производятся по мере возможности тщательный обмолот и взвешивание урожаев зерна с целых делянок. Иногда этого произвести не удается (при «летучих» опытных участках, разбросанных в разных хозяйствах), тогда приходится довольствоваться учетом по пробным снопам. Опыт показывает, что при этом достигается степень точности, могущая конкурировать с точностью при уборке целых делянок при обычных условиях хозяйства и даже ее превосходить, и что только при очень тщательном обмолоте и внимательном исполнении всех остальных операций уборка всего урожая представляет достаточные гарантии точности. Если же экспериментатор вынужден предоставить уборку и обмолот опытных участков лицам, не имеющим специального навыка в учете, исполняющим эти работы среди других хозяйственных работ, то ему лучше полагаться на тщательный, им самим произведенный учет по пробным снопам.

Иногда предлагалось не довольствоваться «эмпирическим методом» и вычислять тот урожай, который «должен бы быть, если бы посев был идеально равномерным, если бы не было пропавших растений, если бы уцелевшие растения развились вполне нормально». Подобные попытки делались и на Западе лет 50 назад, но по справедливости были отвергнуты[1]. Часто уместно «выключение» части площади делянки еще до уборки, если на ней произошло повреждение местного характера, заведомо не связанное с действием удобрения, например, потрава или вымочка; конечно, здесь нужна значительная осторожность, например, для засушливых местностей рекомендуется выключать не только места, пострадавшие от вымочки, но и прилежащую к вымочке часть, по той причине, что растения, окружающие вымочку, бывают развиты сильнее остальных, так как пользуются влагой с тех мест, где растения погибли. Упоминаем об этом, чтобы отметить, как иногда прием, казалось бы вполне законный, может повлечь за собой незаметное для экспериментатора изменение показания в ту или другую сторону[2].

Выше мы касались преимущественно таких препятствий к успешному проведению полевого опыта, которые лежат в неоднородности отдельных делянок; но, кроме упомянутых, есть еще ряд хотя и равномерно действующих причин, но тем не менее изменяющих результаты полевых опытов, как, например, погода; засуха может подавлять действие удобрения, как и излишняя влажность; нападение насекомых, поражение паразитными грибами могут повредить опыту[3], даже если предположить полную равномерность в распределении повреждений. Для того чтобы парализовать влияние этих случайностей, повторяют опыты из года в год по одному плану в течение нескольких лет или даже десятилетий, как, например, в Ротамстеде (Англия) с 1843 г. до сих пор.

Помимо исключения влияния погоды путем получения средних чисел за ряд лет, многолетние опыты на стационарных полях имеют и другой смысл—это учет суммирующегося влияния кислых и щелочных остатков удобрения на урожай и на состав поглощенных оснований, реакцию почвенного раствора и т. д. в целях установления допустимости частого внесения одних и тех же удобрений на различных почвенных разностях (см. сказанное на стр. 226 и 239 о влиянии сульфата аммония и цианамида на почву и растения и перегруппировку в оценке удобрений через 5—10 и более лет после начала их применения).

Другой прием—это массовое повторение опытов одновременно во многих местах с целью парализовать влияние случайных причин; значение этого приема

[1] Paul Wagner писал по поводу подобных предложений следующим образом:
«Mayer sagt, wir sollen diejenigen Pflanzen zur Erntenahme auswählen, welche «für die Parzelle normal sind». Welche Pflanzen sind denn nun «für die Parzelle normal?» Selbstverständlich diejenigen, deren Ausbildung der Wirkungsgrösse der gegebenen Düngung entspricht. Und welche ist die Wirkungsgrösse der gegebenen Düngung? Die wollen wir erst finden. Und wie finden wir sie? Durch Wägung der Pflanzen, «welche für die Parzelle normal sind».
Da haben wir uns im Kreise herumgedreht, und selbst Adolf Mayer, so sehr er sonst ein Meister in der Logik ist, wird keinen Ausweg wissen» («Landw. Jahrbücher», 1883, S. 735).

[2] Подробнее о выключении см., например, в т. I Екатеринославских отчетов («Труды сети коллективных опытов»).

[3] Иногда бывают случаи и обратные, что влияние неблагоприятного фактора утрированно подчеркивает действие удобрения; это может наблюдаться, например, при повреждении свеклопичной плантации долгоносиком; при этом сохранится лишь демонстративное значение опыта, цифры же учета будут нетипичными.

различно, смотря по выбору района. Однако суммарные данные, полученные при различных почвенных и иных условиях, имеют меньшее значение для отдельных пунктов, чем опыты, производимые при условиях однообразных, хотя они и могут представлять интерес в целях выяснения значения какого-либо удобрительного вещества для целой страны; другое дело, если выбираются местности с общими климатическими и почвенными условиями, тогда результаты таких массовых опытов обладают более значительной степенью общей приложимости для данного района; при такой постановке массовые опыты могут являться заключительным звеном в общей работе опытных учреждений, позволяющим в обычных хозяйственных условиях испытать размер действия тех приемов, положительное влияние которых было предварительно изучено на постоянных станциях и полях, и сделать их общеизвестными; в то же время в других отношениях коллективные опыты могут играть роль разведочную, и в их данных опытные станции нередко получают полезные указания при выработке своих программ.

Весьма большое значение при постановке полевого опыта имеет правильное ограничение вопроса и выбор схемы. Так как сложные схемы при необходимости повторных делянок делают опыт трудно исполнимым, то лучше избегать усложнения задачи, но, ограничив задачу определенными рамками, в этих пределах требовать от схемы полного и точного выяснения поставленного вопроса. Первый вопрос, с которым приходится сталкиваться при начале исследования неизвестной нам почвы путем полевого опыта, будет следующий: 1) реагируют ли растения на данной почве на внесение питательных веществ вообще и какие именно из питательных веществ вызывают наибольшее повышение урожая? После того как опыт даст ответ на эти вопросы, можно итти дальше и узнавать: 2) в какой форме, 3) в каких количествах и 4) какими способами и в какие сроки следует вносить недостающие вещества, чтобы достигнуть наибольших урожаев той или другой культуры.

Если бы мы задались целью сразу решать все эти вопросы, то пришли бы к схемам невероятной сложности; хотя бы они и были осуществимы, то с затратой значительной части труда понапрасну (например, мы рисковали бы испытывать разные количества и разные формы азотистой и калийной пищи на такой почве, на которой растение реагирует только на внесение фосфора).

При постановке опытов по вопросам первой категории (в каких веществах нуждается растение на данной почве) приходится также начинать прежде всего с испытания тех веществ, потребность в которых является наиболее вероятной. Как правило, производится испытание на отзывчивость к трем главнейшим (с точки зрения наиболее выраженной потребности) веществам: азоту, фосфору и калию. Однако для испытания отношения к этим веществам недостаточно было бы такой схемы:

1) 0, 2) N, 3) K, 4) P,

так как если в почве одновременно недостает двух из них, то ни одно вещество порознь не проявит полного действия; поэтому необходимо добавить комбинацию этих удобрений по два; а так как по мере удовлетворения потребности в двух недостающих элементах может проявить свое действие и третий, то необходимо ввести делянку, которая получит три рода удобрений[1]; словом, мы приходим неизбежно к восьмерной схеме:

1) 0, 2) N, 3) K, 4) P, 5) NK, 6) NP, 7) KP, 8) NKP.

Если эта схема повторялась бы в таком именно виде необходимое число раз (3—6 и т. д.), то в ней контрольные делянки в сущности были бы слабее представлены, чем любой из элементов удобрения, потому что, например, действие азота взаимно контролируется сравнением четырех пар делянок [N и 0, NP и P, NK и K, NPK и PK]. Поэтому желательно увеличивать число контрольных делянок, чтобы лучше следить за изменчивостью плодородия почвы по всей длине опытной полосы, вставляя, например, после каждых двух удобренных одну неудобренную делянку:

0, N, P, 0, K, NP, 0, NK, KP, 0, NKP.

Такое расположение помогает расшифровать смысл опыта или забраковать его, если различия между контрольными делянками окажутся такого же порядка, как между делянками различно удобренными.

Вопрос о том, в каком отношении находится эффект от суммарного внесения двух элементов к сумме эффектов от внесения тех же элементов порознь, не имеет общего решения. Здесь возможны три случая: 1) эффект от совместного внесения больше суммы эффектов от внесения отдельных элементов; это имеет место при преобладании прямого действия удобрения над косвенным и при четко выраженном недостатке обоих элементов; тогда с ясностью проявляется «закон минимума» (т. е. незаменимость одного элемента другим); порознь оба элемента почти не действуют, и суммарный эффект значительно превосходит сумму отдельных эффектов; 2) эффект от совместного действия меньше суммы эффектов от применения отдельных удобрений; ряд таких случаев наблюдался в опытах ВИУАА, именно часто K и P, данные вместе (KP), давали меньший эффект, чем сумма эффектов от применения порознь K и P. Здесь можно предполагать следующие действия каждого из удобрений: калийная соль (40%), а тем более сильвинит, на подзолистых почвах повышают концентрацию ионов водорода в почвенном растворе, а это может увеличить растворимость почвенных фосфатов; если же в действие калия уже включено действие фосфора, то ясно, что добавление фосфата не дает полного эффекта. С другой стороны, суперфосфат, внесенный без калия, может вызывать обогащение почвенного раствора калием, так как содержащийся в нем $CaSO_4$ вытесняет своим кальцием поглощенный калий из почвенных цеолитов и обогащает раствор калием (K_2SO_4); поэтому на фоне суперфосфата действие калия ослабляется, по сравнению с действием калийной соли, внесенной в отдельности; 3) если возможны два противоположных случая (1 и 2), то возможна и комбинация их, когда действие KP равно сумме действия K и P, внесенных порознь.

Если восьмерная схема оказывается трудно осуществимой, то приходится подумать, как ее сократить с наименьшим ущербом. Сокращение возможно лишь в том случае, если мы пожертвуем полнотой ответа и придадим меньшее значение одному из элементов, например, заранее решим, что вопрос о калийных удобрениях в данном случае нас меньше интересует ввиду того, что калий если и бывает нужен, то обыкновенно не в первую очередь (что не для всех типов почв и не для всех культур сохраняет одинаковую вероятность); при этом предположении можно выбросить делянки с одним K, а также NK и PK, оставив лишь калий в присутствии N и P; тогда схема из восьмерной превратится в пятерную и примет такой вид:

0, N, P, NP, NKP

или со вставкой повторных контролей:

a) 0, N, P, 0, NP, NKP, 0
b) N, 0, P, 0, NP, 0, NKP

Нередко встречается другой способ сокращения восьмерной схемы в пятерную—это выбрасывание тех делянок, где удобрения вносятся поодиночке; остается следующее: 0, NK, NP, KP, NKP; при этом о действии каждого элемента приходится судить, сравнивая делянку NKP с той, где данный элемент отсутствует. Этот способ сокращения более уместен в хозяйствах, где применяют все три вида удобрений; действительно, их относительная важность при этом способе сказется. Но в хозяйстве, где приходится искать пока хотя бы одного экономически выгодного рода удобрений, нельзя обойтись без делянок с одиночными удобрениями; поэтому первый способ сокращения является во многих случаях допустимым с тем, конечно, что на роль третьестепенного элемента не всегда попадает K, а иногда и N, например, на лугах, где представлены бобовые, на торфяниках, клеверищах и пр.

Тогда схема получит иной вид:

0, K, P, KP, NKP.

[1] Мы не касаемся здесь таких схем опытов, которые включают изучение действия так называемых микроудобрений (B, Mn и др.). Опыты по влиянию извести ставятся в отдельности там, где это вызывается соображениями иного порядка (см. сказанное в главе об известновании).

или лучше:

К, 0, Р, 0, КР, 0, NKP

Когда выяснено значение отдельных компонентов полного удобрения, тогда можно переходить к изучению сравнительного действия форм и доз удобрений, например, сравнивать фосфоритную муку, томасов шлак, костяную муку с суперфосфатом, устанавливать относительное действие каждого удобрения и т. д. Отсюда видно, насколько нерациональны простые пробы отдельных удобрений, которые делались так часто, когда могло казаться, что для решения вопроса о пригодности того или иного удобрения достаточно иметь лишь две категории участков (с данным удобрением и без него); сделать рациональный вывод из такого опыта, например, при опыте с фосфоритом, очевидно нельзя, так как мы не можем тогда разобраться в причинах того или иного результата: может быть, растение на данной почве в случае отрицательного результата опыта не реагирует совсем на внесение фосфорной кислоты; может быть, оно нуждается в ней, но форма удобрения непригодна для этой почвы; может быть, наконец, потребность в фосфорной кислоте имеет место и данная ее форма подходит к условиям опыта, но одновременно нехватает, например, азота, и без него действие P_2O_5 не проявляется.

Таким образом, кроме названных двух делянок, приходится непременно выделить еще делянки с растворимой фосфорной кислотой, тогда получаем простейшую схему: 1) без удобрения, 2) фосфорит, 3) суперфосфат. Если бы мы были уверены, что другие вещества, кроме фосфора, заведомо находятся в достаточном количестве, то можно было бы ограничиться для данного случая повторной закладкой только такой схемы. Но так как такая уверенность не может быть распространена на каждый отдельный пункт, где производятся опыты, то лучше добавить также делянки с калием и азотом. Тогда опыт принимает такое расположение: 1) без удобрения, 2) фосфорит, 3) суперфосфат, 4) селитра[1]+ +калийная соль, 5) селитра+калийная соль+фосфорит, 6) суперфосфат+ +селитра+калийная соль (не считая необходимых повторений).

Очень часто думают, что при постановке опытов на клеверном фоне не приходится считаться с недостатком азота, но при этом забывают, что когда в отличие от севооборотов Бельгии, Голландии и Англии (вроде норфольского) сеется не просто клевер, а клевер с тимофеевкой, то остающаяся, например, на 3-й год тимофеевка потребляет азот, накопленный клевером; в этом случае азот уходит в навоз, а не остается в так называемом клеверище в том количестве, в каком его действительно способен накопить клевер и какое приводится в справочниках на основании западного опыта с посевами чистого клевера одногодичного пользования (высказанное здесь подтвердилось в опытах ВИУА— в ряде случаев на клеверном фоне азот оказывал значительное действие).

То, что здесь сказано применительно к опытам с фосфоритом, относится (с соответственной подстановкой) и к другим опытам по испытанию формы внесения того или иного питательного вещества.

При постановке опытов по сравнительной оценке удобрений необходимо правильно установить дозу удобрения: не все равно, вносить ли при совершенно однородных участках большее или меньшее количество удобрения, так как при больших дозах испытываемых удобрений происходит сглаживание разниц между различными удобрениями, при малых, наоборот,—разницы часто подчеркиваются более рельефно[2].

---

[1] Или другое азотистое удобрение, но одинаковое на всех делянках, получающих азот (4, 5 и 6).

[2] Высказанное здесь явилось впоследствии развитием на Западе в работах de-Vries'a, который при обширных опытах в Голландской Индии проводил систему рядов с возрастающими дозами удобрения, так что для каждой почвы могла быть вычерчена кривая возрастающего действия с различным максимумом в отдельных случаях. Это, с одной стороны, усложняет опыт, но с другой—позволяет несколько сократить число повторений для каждой дозы в отдельности.

Мелкоделяночные опыты. В предыдущем изложении, говоря о делянках различной величины, мы имели в виду преимущественно такие колебания размеров делянок, при которых сохраняется все же возможность обработки, ухода (а часто и уборки) теми методами, какие применяются в полевой культуре при данных условиях хозяйства; бывают, однако, случаи, когда от этого правила допускаются отступления и приемы обработки приспособляются к малой площади делянок. Делается это тогда, когда идет дело не о получении абсолютных величин, которые можно переносить в хозяйственные условия, а о сравнительных данных, служащих для характеристики удобрения. Так можно поступать, например, когда ставится вопрос, одинаково ли действие суперфосфата и преципитата на данной почве или каково влияние условий сушки на усвояемость преципитата, влияние тесного смешения $(NH_4)_2SO_4$ с фосфоритом на использование последнего, влияние времени внесения цианамида, влияние тех или иных удобрений на качество урожая и тому подобные случаи, когда важно принципиальное констатирование наличности или отсутствия влияния какого-либо фактора; если какое-либо влияние констатировано, то затем оно, конечно, должно получить количественное выражение в опытах, проводимых в разных почвенных зонах в типично полевых условиях. Особенно уместны мелкоделяночные опыты, когда идет дело о качественной оценке какого-нибудь вещества, о котором еще неизвестно даже, окажет ли оно положительное или отрицательное действие на ту или другую культуру на данной почве, и с которым опыты в большом масштабе совершенно неуместны.

Таким образом, мелкоделяночные опыты представляют как бы некоторый шаг в сторону вегетационных опытов по большей тщательности обработки, посева и ухода за растениями, которые остаются, однако, в обычных условиях влажности, температуры и освещения. В случае необходимости большого числа испытаний удобрения в вышеуказанном смысле, мелкоделяночные опыты дают возможность крупного удешевления и ускорения работы при большой экономии в площади; на Долгопрудном опытном поле НИУИФ, которое занимается именно вопросами сравнения удобрений, намечаемых промышленностью к выпуску (и которые в этих случаях еще преждевременно давать на опытные станции Наркомзема и пускать в широкое обращение), значение этого приема характеризуется таким возрастанием общего числа мелких делянок:

1928 г.	800	1930 г.	5 000
1929 »	1 100	1931 »	13 000

Без мелких делянок невозможно было бы проведение столь значительного числа опытов при данной площади опытного поля и данных средствах, но их результаты могут быть использованы с той оговоркой, что направление действия того или иного приема сохраняет тождество с полевым опытом, размер же действия является обычно повышенным благодаря большей абсолютной высоте урожаев в мелкоделяночных опытах.

Сам по себе размер площади делянки, конечно, не может иметь влияния на урожай, здесь сказывается влияние краев (краевые растения развиваются сильнее срединных, так как черпают воду и минеральную пищу из промежуточной борозды, разделяющей делянки, и получают больше света). Если границу между делянкой и защитной полосой проводить, например, натягиванием проволоки (не пропуская ни одного ряда посева), то никакой разницы в абсолютной величине урожая изменение размера делянки вызывать не будет, но на малых делянках возможна бо́льшая тщательность уборки, чем на больших, и потеря зерна при уборке несколько снижает показания больших делянок. Далее, различие от больших делянок может наблюдаться в том случае, если на малых делянках применяется, например, обработка лопатой вместо вспашки. Однако разница от иной обработки сказывается меньше, чем влияние краев, если посевы на делянках не сливаются вплотную с защитной полосой. Так, в опытах НИУ разница от ручной обработки 20-метровых делянок по сравнению с плужной оказалась для картофеля равной 23% (для овса—11%), а прибавка от доба-

вочной площади питания (за счет дорожек между делянками) при переходе к 2-метровым делянкам была равна 27% (для овса все разницы ниже). Таким образом, если бы сполна исключить всякие незанятые промежутки (дорожки, пропущенные ряды), то повышающее влияние ручной обработки сводилось бы для неудобренных делянок к 11% для овса, 23% для картофеля и 19% для свеклы (данные С. В. Щербы).

По этим же опытам, чтобы снизить среднюю ошибку опыта до одной и той же величины (около 7%), на почве Долгопрудного опытного поля нужна следующая повторность в зависимости от величины делянки:

Площадь делянки . . .	150 м²	20 м²	2 м²
Повторность	четырехкратная	шестикратная	восьмикратная

Отсюда видно, что переход к малым делянкам означает весьма крупную экономию на площади под опытами, и при известной цели опыта и ограниченности площади на стационарных опытных полях этим методом можно пользоваться в целях осуществления значительно большего числа опытов, чем было бы возможно провести при больших делянках.

О ЛАБОРАТОРНЫХ МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВ В УДОБРЕНИИ[1]

Ввиду сложности и дороговизны полевых опытов и невозможности в короткое время с достаточной детальностью охватить полевым методом все разнообразие, вызываемое как природными особенностями почвенных разностей, так и предыдущим режимом прихода и расхода питательных веществ в связи с различными системами земледелия, естественным образом возникает потребность в создании методов ускоренного и удешевленного типа, позволяющих переносить данные полевого опыта на большие площади, при условии близости почвенных и хозяйственных условий; такое интерполирование до известной степени могло бы заменить увеличению густоты сети полевых опытов и таким образом ускорить разрешение ряда вопросов, что особенно важно для наших современных условий, так как у нас в прошлом отсутствовал массовый опыт по применению удобрений и не было развитой сети агрохимических опытных станций; теперь же мы быстро переходим к применению минеральных удобрений в массовом масштабе.

Химические методы. Наиболее скорым методом является, конечно, химический анализ, но только нужно хорошо различать, какой же вопрос ставится химическому анализу, что химик должен определить в почве, чтобы, например, ответить, следует ли в этом году на данной почве применять фосфорнокислые удобрения или нет. Если общее содержание P_2O_5 в почве по солянокислой вытяжке составляет, например, 0,1%, то при весе пахотного слоя в 3 000 т это составляет 3 000 кг на гектар, с урожаем же уносится 20—30 кг P_2O_5; значит, мы хотим, чтобы химик нам сказал, найдется ли из 3 000 кг P_2O_5 одна сотая часть, которая сможет быть легко усвоена растением, т. е. идет дело об определении 0,001% P_2O_5 от веса почвы, притом на фоне в 100 раз большего общего ее количества. Тут дело не в чувствительности химических весов и приемов самого анализа вообще, ибо если бы нужно было определить все количество какого-либо эле-

[1] Выражение «определение потребности почв в удобрении» иногда вызывает возражения с точки зрения его точности (оно напоминает известное выражение старой поваренной книги: «варась любит, чтобы его жарили в сметане»), но и те поправки, которые предлагались, часто тоже неудачны; так, например, иногда говорят, что «не почва, а растение требует удобрения», но в конце концов и растение вовсе не самоцель в приемах культуры (например, у табака при насыпковании устраивается плодообновление—разве это в интересах растения), а удобрение применяется ради интересов хозяйствующего человека. Но вообще не стоит заниматься таким буквоедством, так как каждому понятно, о чем идет речь при вопросе о потребности почвы в удобрении, так же как всем понятны выражения: «восходит солнце», или «идет дождь», хотя на деле разумеется движение земли, а не солнца, и дождь не идет, а падает и т. д.

мента (как это делается, например, для золота), содержащегося в малом количестве, то стоило бы только взять большую навеску почвы, извлечь это вещество и определить его с желаемой точностью; здесь трудность в другом, а именно, как различить $^1/_{100}$ всей P_2O_5 почвы, усвояемую для растения (разумея ближайшее время), от остальных 99 ее частей? И что такое усвояемая P_2O_5—разве это определенное химическое соединение и разве это одно и то же для проса и овса и тем более для гороха и люпина? Мало того: эта усвояемая часть, например, при взятии пробы для анализа весной разве имеется в готовом виде? Ведь на деле мы имеем постепенный переход одних соединений в другие, и растворение P_2O_5 почвы зависит как от микробиологических процессов (выделение CO_2, HNO_3), так и от деятельности корней самого растения, которые, несомненно, могут обогащать почвенный раствор ионами водорода, как это ясно доказано для люпина. Итак, о чем же мы спрашиваем химика? Не о том, что имеется в почве в данный момент, а о том, что образуется в ней за все время вегетационного периода, значит, нужен собственно не анализ, а предсказание, притом предсказание результата, зависящего и от энергии микробиологических процессов, и от энергии развития самого растения, а значит, и от условий погоды. Ясно, что желать точного определения химическим анализом того, чего в почве еще нет, нельзя, можно только учитывать приблизительно, имеются ли данные, обеспечивающие нормальное течение процессов в будущем или, скорее, нет ли в составе почвы препятствий к осуществлению этого процесса, в случае если остальные факторы сложатся благоприятно.

Нередко думают, что можно подобрать такую слабую концентрацию кислотной вытяжки, чтобы она отвечала характеру кислых корневых выделений. Но если даже отрешиться от того, что этот характер у разных растений различен, и иметь в виду одно какое-либо растение, например, люпин, то из этого вовсе не следует, что раствор какой-нибудь кислоты (уксусной или лимонной) при той же градации pH, как у корневых выделений люпина, извлечет из почвы то же самое количество P_2O_5, как и корневая система люпина, потому что и во времени и в пространстве мы имеем существенные различия между действием реактивов и действием корней растения. Так, действие корневых волосков является чисто местным, и если люпин создает в этих пунктах (около волосков), например, реакцию, отвечающую pH = 4,5 или 5,0, то он имеет ряд очагов, в которых происходит растворение фосфорной кислоты в почве и поглощение ее корневыми волосками. При взбалтывании же с кислой вытяжкой в лаборатории все частицы почвы приходят в соприкосновение с реактивом, и если мы даже установим реакцию, отвечающую pH = 5,0 в конце опыта, то заведомо извлечение P_2O_5 из всей массы почвы будет итти иначе, чем это делают корни люпина; если же мы возьмем только начальную реакцию pH = 5,0, то после взбалтывания раствора кислоты с почвой реакция может измениться значительно и еще больше будет различие между действием реактива и корней люпина.

Кроме того, действие корней растения вовсе не отвечает однократному (или вообще краткосрочному) взбалтыванию почвы с реактивом, так как растение за время роста ежедневно поглощает часть растворенной P_2O_5 и этим вызывает возможность перехода новых количеств в раствор; действие корней растений скорее можно сравнить с постоянно повторяющейся декантацией кислой вытяжки и заменой ее свежей порцией растворителя, причем и реакция вытяжки и частота ее обновления у разных растений разны.

Кроме воздействия растения, в почве идет еще и ряд микробиологических процессов, от которых зависит ход растворения (а иногда выведения из раствора) тех или иных соединений, важных для жизни растений.

Поэтому даже самый тонкий метод определения какой-либо из подвижных составных частей почвы весной не может точно показать, сколько этого соединения будет в распоряжении растения за вегетационный период, *подобно тому, как измерение количества наличной воды в колодце ничего не говорит о возможности откачивать из него то или иное количество воды*, превышающее наличный по объем, или подобно тому, как нельзя судить о годовой производительности

суперфосфатного завода по тому количеству готовой продукции, какое мы застали в данный момент на складе.

Естественно, что когда хотят подражать медленному процессу, протекающему под влиянием слабых растворителей (гидролитическое расщепление и пр.) при постоянном поглощении растением части растворенного вещества, но для ускорения применяют лишь кратковременную обработку, без применения повторного извлечения или удаления иным способом из сферы реакции той части вещества, которая перешла в раствор, то приходится в этих случаях брать более сильный реактив (1 или 2% лимонная кислота или более разведенные растворы минеральных кислот); в таком случае между растворяющим действием корневой системы и действием применяемого растворителя нет совпадения ни по концентрации ионов водорода, ни по способу и по времени воздействия, а потому *нельзя представить общего растворителя, который для всех растений позволил бы точно предсказать, сколько будет усвоено того или иного питательного вещества* (например, P_2O_5); можно только чисто эмпирически для известного типа почв пытаться подобрать растворитель, приближенно указывающий на различия в содержании таких соединений, которые легче других отдают в раствор часть фосфорной кислоты. *Поэтому нужно удивляться не тому, что нет метода, дающего 100-процентное совпадение с показаниями растений, а скорее тому, что все же находятся методы, способные для известного круга почв и растений давать совпадение до 80%.*

Таким образом, химические методы, будучи вполне строгими, когда идет речь об определении содержания того или иного вещества в почве (P_2O_5, Cl, SO_4), становятся условными, когда хотят получить ответ на вопрос, которому сами ставящие его не умеют дать химической формулировки, ибо *понятие об усвояемых веществах не совпадает с какими-либо определенными химическими соединениями*, постоянно присутствующими в данной почве, но здесь идет речь о процессе перехода одних соединений в другие.

Однако если эмпирически удается подобрать для известного района скорый ориентировочный метод, проверенный сопоставлением с полевыми опытами, *то можно и должно им пользоваться для интерполяции, для заполнения пробелов между показаниями полевых опытов*, недостаточно густо расположенных, но нельзя переносить ни одного такого метода в новую область с иным почвенным типом, для которого еще не было проведено такого сопоставления с полевым опытом.

В качестве растворителя одни пользуются лимонной кислотой (1% раствор в способе Кенига, то же у Леммермана и Фрезениуса), другие—азотной (Зигмонд) или соляной кислотой—0,2-н (Кирсанов), третье—водой с углекислотой (Дирес и Шеффер), четвертые—водой (Антонин Немец и М. Брангель). В способе Брангель имеется интересный подход к применению повторной вытяжки в целях определения «скорости отдачи» фосфорной кислоты в раствор для каждой почвы, следовательно, здесь имеется попытка учесть динамику процесса (чтобы не делать большого числа вытяжек, предложена формула учета суммы P_2O_5, способной перейти в раствор, по изменению показаний первых двух вытяжек). В способе Дирса также есть стремление приблизиться к условиям растворения фосфорной кислоты в почвах, не бедных кальцием, именно для этих почв в качестве растворителя берется вода, содержащая CO_2 и $Ca(HCO_3)_2$; по некоторым указаниям этот метод оказался, например, более подходящим для почв Египта, чем лимоннокислая вытяжка.

Если для таких элементов, как фосфор и калий, можно подбирать соответствующие растворители, в какой-то степени способные извлечь из взятой навески почвы ту часть минеральных соединений этих элементов, которая условно относится к группе усвояемых для растений, то несколько иначе обстоит дело с азотом.

Определение в тот или другой момент содержания в почве минеральных соединений азота (NO_3', NH_4', NO_2') не может дать сколько-нибудь полного представления о том резерве, которым располагает почва для обеспечения азотистого питания растений на протяжении вегетационного периода (так как аммиак, нитриты и нитраты при соответствующих температурных условиях, влажности и аэрации постоянно образуются вновь за счет разложения органических веществ почвы, а с другой стороны, возможно и усвоение их микроорганизмами).

Поэтому с целью приблизительного определения количества усвояемого для растений азота почвы предлагались методы, основанные на выделении из почвы части органических азотистых веществ путем гидролиза 0,5-*н* раствором серной кислоты (метод Тюрина). Предполагается, что при этом гидролизуется и переходит в вытяжку азот наиболее подвижных органических азотистых соединений, легко подвергающихся также и микробиологическому разложению, а следовательно, являющихся ближайшим источником для образования усвояемых растениями азотистых веществ.

Как выше сказано, все эти химические методы условны, и для каждой почвенной зоны требуется свой выбор и свои «пришлифовка» метода и местным особенностям, на основании сопоставления с данными полевых опытов.

При таком использовании по типу интерполяции химические методы, как вспомогательные, могут значительно ускорить выявление районов наиболее выраженной потребности почв в том или ином виде удобрений.

Особое положение занимают лабораторные методы анализа кислотности, степени насыщенности почв и т. п., проводимые, в частности, в целях определения нуждаемости почв в известковании, установления дозы извести и пр. Эти методы надо признать значительно более объективными и точными, чем разнообразные приемы определения усвояемых или подвижных питательных веществ. Эти же методы могут быть использованы и для оценки способности почвы разлагать фосфоритную муку (см. сказанное об этом в предыдущих главах).

Микробиологические методы. Было предложено несколько методов, в которых в качестве показателя богатства почвы тем или иным питательным веществом в усвояемой форме используется развитие бесхлорофилльных организмов (грибов, бактерий). Опыты с этими организмами могут быть краткосрочными и проводиться вне зависимости от солнечного освещения (как это необходимо для опытов с высшими растениями, о которых будет сказано дальше).

Первое предложение использовать для указанной цели плесневый гриб Aspergillus niger было сделано В. С. Буткевичем в 1909 г., и соответственные опыты были проведены в его лаборатории Костелецким: при этом о количестве усвояемой P_2O_5 (или K_2O) судят по навешиванию мицелия, развившегося на питательных растворах, в которые не вносится фосфор (или калий) в виде солей, они даются лишь в виде определенных навесок изучаемых почв. В 1930 г. в Германии на этот способ обратил внимание Никлас; он несколько изменил питательный раствор, в котором развивается Aspergillus, а также последующую технику культуры гриба (которая ведется в течение 6 дней) и высушивания мицелия.

Кроме Aspergillus, для определения потребности почвы в фосфорной кислоте пользуются культурами Azotobacter (Christensen, Niklas). Проведенный по способу Виноградского опыт с Azotobacter позволяет уже через 48 часов сделать заключение о том, имеется ли в данной почве ясно выраженный недостаток фосфора (в варианте, разработанном в НИУ, подсчет колоний производится даже через 24 часа). Кроме реакции на содержание в почве фосфора, азотобактер как организм, весьма чувствительный к кислотности среды, может быть использован и для определения степени нуждаемости почвы в известковании.

Деятельность микроорганизмов, хотя и в другом направлении, чем в отмеченных выше случаях, играет роль в таких методах определения содержания усвояемого азота в почве, когда образец почвы ставится на определенное время в благоприятные для развития микроорганизмов условия; по истечении этого времени определяют накопление в почве усвояемых форм азотистых веществ (например, накопление нитратов). Сюда относятся методы определения так называемой нитрификационной способности почвы (Виксман, Немец и др.). Здесь уже относительно обеспеченности почвы питательным веществом (азотом) судят не по развитию микроорганизмов, а по *накоплению соответствующих продуктов, являющихся результатом их жизнедеятельности.*

Микровегетационный метод Нейбауера. По этому методу извлечение из почвы усвояемых для растения P_2O_5 и K_2O производится проростками ржи, развивающимися в течение $2^1/_2$ недель на смеси почвы с песком. Исходная мысль Нейбауера состояла в том, что если взять минимум почвы и максимум растений, то они смогут за гораздо более короткий срок выбрать из почвы то количество веществ, какое обычно растения извлекают за целый вегетационный период; в этих целях берется 100 растений на 100 г почвы[1] (смешанной с песком) и опыт ведется только в течение того периода, пока не истощатся запасные вещества семени (17 дней), что позволяет проводить опыты в течение зимнего периода. Определяя в растениях, по окончании опыта, фосфор и калий, Нейбауер получает числа, характеризующие богатство данной почвы усвояемыми K_2O и P_2O_5, и сравнивает их с нормами, необходимыми для получения хорошего урожая (например, для ячменя нужно, чтобы в 100 г почвы содержалось 19 мг K_2O и 5 мг P_2O_5 в усвояемой форме, для ржи—46 и 4, для люцерны—25 и 10 и т. д., но показателем всегда служит рожь). Однако допущение, что в этих условиях за 17 дней рожь возьмет столько же питательных веществ, сколько в полевых условиях за вегетационный период, произвольно, и мы в данном случае имеем дело просто с эмпирическим приемом, при котором корневая система ржаных проростков заменяет слабокислотную вытяжку; но кратковременную вытяжку легче провести в постоянных условиях (температура и пр.), чем 17-дневный опыт с растениями.

В качестве примера, иллюстрирующего характер совпадения между показаниями метода Нейбауера и одним из микробиологических методов (по Никласу) для определения усвояемого калия в почве, приведем такие данные:

	№ почвы								
	29	80	1	82	19	78	11	62	30
Вес мицелия Aspergillus	0,82	0,94	1,21	1,52	1,61	1,80	2,34	3,30	5,10
Калий по Нейбауеру (в миллиграммах)	7,8	11,9	16,1	18,0	21,7	26,0	31,7	44,9	78,1

Как видно, между показаниями этих двух методов наблюдается явный параллелизм.

Вероятно, представило бы интерес испытание метода, подобного опыту по Нейбауеру, в целях качественной разведки в таком варианте: опыт ставится с ассимилирующими растениями (при меньшем их числе на 100 г почвы) при внесении удобрений по одной из упрощенных схем (например, 0, N, P, NP, NPK или 0, K, P, KP, NKP, смотря по роду почвы и цели опыта), а затем через 3—4 недели простое взвешивание растений (даже без анализа) дает указание на потребность почвы в удобрении; если бы это могло давать качественные указания, согласные с полевым опытом, то при малом объеме сосудов и кратком сроке опыта испытание значительного числа почв потребовало бы немного площади и не вызывало бы того расхода (на проведение анализа растений), какого требует способ Нейбауера.

Но как бы ни были просты и скоры те или другие методы лабораторного исследования почв, понятно, ни один из них не заменит полевого опыта; они могут только, с одной стороны, помочь распространению данных полевого опыта соответственно границам той или иной почвенной разности, а с другой стороны, они могут способствовать пониманию фактов, устанавливаемых полевым опытом, и служить исходным пунктом при постановке новых опытов.

[1] Опыт проводится в стеклянных сосудах (кристаллизаторах), в которые вносит 100 г почвы + 300 г песка.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД И ЕГО ОСНОВНАЯ РОЛЬ В АГРОХИМИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ

В то время как задачей полевого опыта является учет тех размеров действия удобрения, какие осуществляются в полевой обстановке, задачей вегетационного метода является *вскрытие существа процессов и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего учет роли растения, почвы и удобрения* в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли; когда влияние того или иного фактора, наличность того или иного явления констатированы, тогда можно и полевому опыту поставить вопрос о размерах проявления соответствующих различий в реальной обстановке. Чтобы открывать новые процессы, измерять неучтенные еще различия, легче сначала пользоваться вегетационным методом, чтобы затем переносить испытание новых приемов в поле только в том случае, если в принципе подтверждено их положительное значение.

Поле в свою очередь было, конечно, в ряде случаев первичным источником вопросов, для коренного разрешения которых агрохимики прибегали к вегетационному методу; так, Буссенго в 1836—1840 гг. в поле натолкнулся на факт перевеса азота урожаев над азотом удобрения при плодосменных севооборотах, но только вегетационный опыт разрешил вопрос об участии азота воздуха в создании этих избытков азота в урожаях; точно так же вегетационный опыт дал ответ на вопрос об аммиачном и нитратном питании, о сравнительном значении фосфатов и т. д. Основные вопросы физиологии корневого питания были разрешены также агрохимиками, которые не ограничивались анализом растений, выросших в поле, но перешли к опытам в водных и песчаных культурах.

Но если во Франции Буссенго шел путем одновременного применения двух противоположных концов цепи агрохимического исследования—полевого опыта и культур в прокаленном песке чисто физиологического типа, то в Германии Вагнер развил применение промежуточного звена той же цепи. А именно, он стал проводить вегетационные опыты с почвой, помещенной в сосуде, при искусственном создании полной однородности почвы в разных сосудах путем ее перемешивания и при оптимальных условиях роста в целях наиболее рельефного выявления различий в действии изучаемых удобрений или особенностей самих почв и растений.

Интересно отметить, что исторически переход к вегетационному методу происходил из стремления устранить изменчивость показаний полевого метода путем смешения почвы.

Первые шаги в этом направлении принадлежат Гаазманну, который еще в семидесятых годах употреблял для своих опытов участки земли площадью в 1 м², отделенные друг от друга цементными стенками и без дна, так что почва этих участков (тщательно перемешанная) не теряла связи с подпочвой. Гаазманн был настолько уверен в своем методе, что даже не установил размеров погрешностей. Когда Вагнер (1880) стал повторять эти опыты, то нашел, что одноименные делянки и в этих условиях не дают тождественных показаний. Вагнер[1] так описывает свои опыты по проверке этого метода: снимался слой почвы и подпочвы (по 25 см), то и другое равномерно перемешивалось порознь и помещалось в клетки с цементными стенками (без дна); необходимое удобрение распределялось возможно тщательно, выбирались равные по весу клубни для посадки, точно так же по весу отбирались зерна высеваемого ячменя; все работы по уходу, уборке, взвешиванию урожаев производились с возможной тщательностью, но в результате опытов все-таки оказалась значительная разница между

[1] «Landw. Jahrb.», 1883; «Journ. fur Landwirtschaft», 1880.

одноименными делянками. При изучении причин этого явления, между прочим, оказалось, что влияние на урожай оказывали соседние с опытами участки почвы, так как употребленный цемент оказался водопроницаемым. Вагнер тщательно переменял и соседнюю почву, переменял цемент, окружал участки посевами ячменя, но опять встречались отдельные колебания до 15% при средних отклонениях в 5%.

Причина этих колебаний заключалась, как оказалось впоследствии, в том, что участки эти не имели дна и на уровнях сказывалось влияние подпочвы, неодинаково влажной, так или уровень грунтовых вод был неодинаков в различных концах вытянутой полосы участков. Кроме того, строение почвы в различных местах участков было неодинаково: середина делянки была плотнее, потому что при наполнении участков земля, набрасываемая по краям и разравниваемая послойно граблями, все-таки ложилась плотнее в середине; благодаря этому здесь создавались лучшие условия доставления влаги и нитратов, и растения в середине развивались лучше.

Вагнер дренировал участки, для того чтобы парализовать действие грунтовых вод, но ниже 10% колебания отдельных показаний все же не опускались.

После этих затруднений Вагнер решил перейти к полной изоляции от подпочвы и, наконец, к сосудам размера в 50 см высоты и 25 см в диаметре (а затем частью и меньшего размера). В сосуды сначала вносится гравий, который служит для дренажа и для уравнивания веса; сосуды наполняются почвой не сразу, а послойно при одинаковой степени уплотнения, причем одновременно отбираются пробы для определения влажности. Таким образом, вес почвы является всюду одинаковым и точно определенным, одинаковыми всюду являются ее состав и строение; во время опыта влажность почвы регулируется точно по весу, так что можно экспериментировать при различных и определенных степенях влажности. Распределить удобрения удается весьма совершенно; можно иметь строго одинаковое число растений во всех сосудах. Влияние одностороннего освещения устраняется таким образом, что окружают опытные сосуды сосудами с тем же растением, не идущим в счет при учете результатов опыта (то же достигается чередованием положения сосудов путем передвижения краевых в середину, и наоборот). Дальше, при этом способе легко увеличить число сосудов, гораздо легче, чем число участков в поле.

При постановке опытов таким путем Вагнеру удалось добиться того, что процент погрешности в наиболее совершенных опытах не превышал в среднем 1%. При этом устранялось влияние погоды; насекомые и паразитные грибки если не устранялись совсем, то в значительной мере облегчалась борьба с ними: повреждения легко могут быть замечены, и соответствующие культуры забракованы, что позволяет учесть роль почвы гораздо совершеннее, чем при полевых опытах. Различные почвы возможно испытывать при одних и тех же условиях влажности, света и тепла, и таким образом возможно лучше учесть роль почвы, чем в полевом опыте. При помощи этого метода Вагнер и ряд других исследователей получили ценные данные по многим вопросам удобрения; таковы вопросы о сравнении между собой разных источников азота, фосфорной кислоты и пр.

Против этого метода нередко делаются возражения, вызванные недоразумением и основанные на недостаточном расчленении задач полевого и вегетационного опыта. Главные из ходячих возражений таковы: мы создаем искусственную обстановку, помещенные вне почвы сосуды нагреваются сильнее, чем почва; благодаря повышению температуры в сосудах увеличиваются разложение органических веществ и нитрификация, так что все процессы идут более ускоренно, чем в полевом опыте (прежние возражения Marek). Можно, конечно, бороться с этим обстоятельством и понижать нагрев, устраивая боковое освещение сосуда (рельсы укладываются тогда на дне траншеи), но ведь искусственным условием является уже и поддержание оптимальной влажности, так что тождества с полевыми условиями все равно быть не может; искусственность вводится уже таким разрыхлением почвы при просеивании и перемешивании, какому она в поле никогда не подвергается; стремиться к созданию тех же условий бесполезно, нужно только создавать равенство условий во всех сосудах, устранять вредные влияния и стремиться осуществить оптимальное сочетание факторов роста (тепло, свет, влага и пр.).

На изменение условий указывает и то обстоятельство, что в сосудах урожаи получаются гораздо выше, чем в поле; если пересчитать урожай надземных

частей на гектар, то получается масса в 20—30 т и более; следовательно, и потребность в питательных веществах здесь иная, чем в поле.

Последовательнее будет поэтому раз навсегда признать, что опыт вегетационный есть непременно опыт *в искусственной обстановке*, что перед нами всегда лежит дилемма: *или создать действительно одинаковую во всех случаях среду путем смешения почвы, регулировать влажность и другие факторы роста, жертвуя естественностью обстановки, или если мы хотим работать в условиях, тождественных с условиями полевой культуры, то и должны вернуться из теплицы в поле*, где будем неизбежно иметь дело с неоднородностью почвы и стремиться парализовать ее влияние другими средствами (многократное повторение одноименных делянок).

Сообразно с этим и *задачи, решаемые тем и другим методом, не тождественны*; вегетационный метод позволяет лучше изолировать отдельные факторы и изучать их влияние при большем постоянстве и определенности остальных условий; полевой опыт, наоборот, позволяет лучше учесть суммарный эффект, конечную равнодействующую условий, осуществляющихся на данном поле в данный год при данных условиях хозяйства.

Так, вегетационные опыты дают возможность лучше изучить растение в смысле его требований к различным удобрениям при наилучших условиях, его способность использовать питательные вещества почвы и удобрительных материалов, точнее сравнить различные удобрения между собой; они позволяют учесть влияние различных степеней влажности на растения в связи с действием удобрений (например, влияние удобрений на транспирационный коэфициент, притом не в среднем только, а по отдельным периодам развития); затем можно, сравнивая песчаные культуры с почвенными, учесть роль почвы. Но для решения вопросов о размерах действия удобрений и об оплате удобрений в хозяйстве, конечно, необходимо прибегать к полевым опытам, так как для производства важно знать размеры действия удобрений при реальных условиях: при таком строении почвы, ее водном и воздушном режиме и т. д., которые характерны для того или другого уровня агротехники, климатических и других условий.

Характерный пример приложения вегетационного метода к разрешению агрохимических проблем мы имеем в истории фосфоритного вопроса у нас: после того как А. И. Энгельгардт в восьмидесятых годах доказал полевыми опытами, что фосфоритная мука может служить удобрением для озимой ржи, было проведено немало подобных опытов в разных местностях, но с разными результатами, и в объяснении причин мнения расходились; одни думали, что в черноземной полосе действие фосфорита ослабевает из-за недостатка *влаги* (Н. А. Слебут), другие ставили вопрос о влиянии *почвы*, а так как опыты ставились *с разными растениями*, то и этот фактор мог иметь влияние, и разобраться в этом материале было невозможно[1].

В это время (1896 г.) нам пришлось начать организацию вегетационных опытов; это был первый случай в нашей стране, когда теплица попала в руки агронома, и, конечно, тогда, при отсутствии химической промышленности, именно фосфорит и был первым и главным объектом, нас интересовавшим. Вегетационный опыт позволил сразу учесть влияние почвы путем ее исключения—в песчаных культурах фосфорит оказался для злаков недоступным. Затем вегетационный опыт позволил поставить разные почвы в условия одного и того же климата; тогда оказалось, что при одинаковой влажности подзолы разлагали фосфорит, в чернозем не разлагал, следовательно, успех Энгельгардта зависел от почвенных особенностей. При изучении разных растений удалось выделить такие, которые отличаются способностью разлагать фосфорит без содействия почвы (гречиха, а особенно люпин), удалось установить растворяю-

[1] К выставке 1895 г. Московским обществом сельского хозяйства заказана была губернская сводка всех опытов с фосфоритами. Сводка эта в сумме образовала весьма солидный том, но когда было предложено составить общее заключение об условиях действия фосфоритной муки, то авторы оказались в большом затруднении и к определенным выводам не пришли—данные полевых опытов были настолько пестры, что не поддавались расшифровке.

щее влияние физиологически кислых солей на фосфорит, причем основные черты разрешения этого вопроса наметились уже в первые 2—3 года опытов[1].

Иногда к вегетационному методу предъявляются вопросы, для ответа на которые он не предназначается; так, когда желают узнать потребность той или иной почвы в удобрении, то нет оснований ожидать, чтобы вегетационный метод всегда мог заменить полевой опыт, так как наряду с общим повышением потребности в питательных веществах при опытах в сосудах (вследствие более обильного развития растений) нельзя допустить, чтобы накопление питательных веществ в усвояемой форме оказалось также повышенным в одинаковой мере для каждого из них в отдельности; легко может случиться, например, что произойдет перемещение минимума, когда в полевом опыте проявляется потребность прежде всего в одном веществе, а в вегетационном опыте—в первую очередь в другом.

Так, например, черноземные почвы, обнаруживающие в поле в первую очередь недостаток фосфора, в сосудах начинают обнаруживать недостаток азота, часто более острый, чем фосфора.

Точно так же вегетационный метод в своей типичной форме, как он был разработан Вагнером, не может служить точным средством для определения плодородия различных типов почв, так как просеивание и смешение почвы, конечно, неодинаково изменят свойства разных почв (очевидно, тяжелая глинистая почва больше выиграет от этих операций, чем песчаная). Если же исключить операцию смешения (вырезать целые цилиндры), то это значит—выбросить основную черту вагнеровского метода, гарантирующую однородность почвы в разных сосудах, тогда придется искать, чем заменить эту гарантию; очевидно, придется обратиться к тому же средству, как в полевом опыте, т. е. к значительному умножению числа делянок (сосудов) и к определению средних размеров погрешности, т. е. утратить все преимущества и вегетационного и в то же время и полевого метода, ибо, отрывая пахотный горизонт от нижележащего, мы уничтожаем различия между почвами по глубине, поэтому черноземные почвы всегда проигрывают при помещении их в сосуды той же высоты, какая совсем не рассчитана на мощность чернозема, но отвечает мощности подзолистых почв.

Итак, прежний спор о том, что предпочтительнее, вегетационный метод или полевой, потерял теперь всякий смысл, так как задачи этих методов различны[2]; и точно так же как недопустимо, например, выпускать «в поле» новые удобре-

---

[1] При этом нужно отметить, что в то время (1896—1898 гг.) не было ни опытной станции при кафедре, ни особых средств на дело исследования, даже не было еще и аспирантов (исполнителями работ были студенты под руководством профессора и двух ассистентов), и тем не менее 2—3 года вегетационных опытов внесли бо́льшую ясность в этот вопрос, чем почти 20 лет одних только полевых опытов.

[2] Митчерлихом была сделана попытка использовать вегетационный метод для определения запаса усвояемых веществ в почве, чтобы на основании этого определения делать указания о дозах удобрений, необходимых для получения урожая до того или иного уровня. Метод Митчерлиха основан на применении определенной математической зависимости между дозами удобрений и высотой урожая. Имея данные двух урожаев—с удобрением и без удобрения (или, вернее, с полным удобрением и с исключением одного вида удобрения, например, NK и NPK для выявления действия фосфора, NP и NPK для выявления действия калия и т. д.), по формуле рассчитывают «запас» данного питательного вещества в почве в усвояемой форме. Далее та же математическая зависимость используется для прогноза действия доз удобрений в полевых условиях.

Кроме определенного принципа математической обработки результатов проведенного по указанной схеме вегетационного опыта, Митчерлих разработал упрощенную технику проведения вегетационного опыта (без стеклянного вегетационного домика, без навешивания сосудов при поливе), имея в виду применение этих опытов в массовом масштабе для дачи советов об удобрении хозяйствам.

Одно время этот метод испытывался у нас многими опытными учреждениями, но признания и распространения не получил. В нашей лаборатории, в частности, было дано наиболее обстоятельное *экспериментальное доказательство* неправильности некоторых основных положений, касающихся математической стороны метода (работы В. М. Клечковского об изменчивости коэфициентов действия удобрений). Многочисленные сравнительные опыты (полевые и вегетационные), проведенные НИУ в географическом разрезе, показали, что рекомендуемая Митчерлихом поправка («переводный коэфициент») на содержание питательных

йки (о которых даже неизвестно, полезны они или вредны, как это было с цианамидом), не испытав их в вегетационном опыте, так недопустимо ограничиваться вегетационным опытом и не испытывать в полевом опыте те удобрения, которые были уже профильтрованы через вегетационный метод и оказались имеющими положительное значение.

Остановимся вкратце на самой технике постановки вегетационных опытов[1].

Сосуды для опытов берутся чаще всего цинковые и стеклянные; стеклянные ценны своей прозрачностью, значительной стойкостью (в смысле сопротивления разъедающему действию растворов солей); кроме того, они дешевы, если дело идет о сосудах небольших размеров. Но стоимость стеклянных сосудов быстро растет при увеличении диаметра, так что при диаметре в 20—25 см цинковые сосуды оказываются уже выгоднее; зато их непрозрачность мешает следить непосредственно за развитием корней и состоянием влажности в сосуде; кроме того, возможны нарушения питания (при физиологически кислых солях) от недостаточной стойкости самого цинка; во избежание разъедания и образования вредных для растений солей цинка приходится покрывать стенки внутри сосудов особым лаком (или смолой)[2].

Размер сосудов зависит от рода культур; так, для злаков при песчаных культурах пригодны уже *сосуды 15×25 см* или *15×30 см, вмещающие 4—6 кг песку*; но для почвенных культур, где разницы не столь резки и где желателен учет более точный, желателен больший диаметр сосудов, чем 15 см, чтобы иметь возможность поместить большее число растений на сосуд. Понятно, что для картофеля, свеклы и подобных растений нужны сосуды большего диаметра и большей высоты; тут могут быть пригодны глиняные сосуды, покрытые кислотоупорной глазурью, особенно если требуется значительная высота; в такого рода сосудах, около 70 см высоты, производил свои опыты со свеклой Гельригель.

Рис. 74.

Для защиты сосудов от нагревания или красят их снаружи белой краской (цинковые сосуды) или же надевают на них подвижные картонные чехлы (стеклянные сосуды).

На дно сосудов обычно создается известного рода дренаж, куда бы мог стекать избыток воды при поливе сверху или где мог бы сосредоточиться известный запас воды до поступления ее в почву (при поливе снизу). Этого достигают, насыпая в одной стороне сосуда (горной) гранит, в который погружается конец трубки для поливки (рис. 74), или вводя цинковый желоб, обращенный вниз (Вагнер), или же, как это практикуется у нас (с 1897 г. по предложению Н. В. Ивнера, бывшего тогда ассистентом при кафедре), создавая пальцеобразное пространство путем введения полуконуса[3].

Средой для культур является или почва, или песок, или растворы необходимых солей в дистиллированной воде. Для водных культур обычно применяются стеклянные банки,

---

веществ в подпахотных горизонтах почвы сильно изменится в зависимости от почвенной разности, достигая, например, на кубанском черноземе в 3,5 раза большей величины, чем принимаемая Митчерлихом на основании его наблюдений в Восточной Пруссии (7 против 2). Мы не касаемся здесь общеметодологических возражений, которые были сделаны против концепций Митчерлиха о зависимости между дозами удобрений и величиной урожаев. Но, кроме теоретической стороны метода Митчерлиха, остается предложенная им упрощенная методика проведения вегетационного опыта. В этом смысле вегетационные опыты «по Митчерлиху» проводятся и теперь в ряде опытных учреждений при изучении различных вопросов, в особенности таких, которые требуют большого числа вариантов и допускают некоторое снижение требований к тщательности проведения опыта.

[1] Подробности смотри во II томе отчетов СПБ с.-х. лаборатории («Описание метода», статья Коссовича). Принятая у нас техника была описана Недокучаевым—«Вегетационный метод в агрономии» в «Известиях с.-х. института», 1902 г. См. также статью «Вегетационные опыты» в Энциклопедии Девриена, написанную Франкфуртом, статьи Dafert, Mitscherlich в «Landw. Jahrb.», 1903, Lemmermann—в «Journ. für Landw.», Bd. 51 и 53, Гедройца («К методике вегетационных опытов» в 6 вып. трудов СПБ с.-х. лаборатории), «Краткое руководство к постановке вегетационных опытов» (Москва, 1912) и книгу Pfeifer, Der Vegetationsversuch. См. также недавно изданное руководство по вегетационному методу Соколова, Ахромейко и Павфилова (Вегетационный метод, СХГ, 1938).

[2] Есть еще дешевый материал для изготовления сосудов, которым, кажется, можно бы чаще пользоваться, чем до сих пор делается,—это листовое железо; в частности, автору пришлось провести в 1891 г. первые вегетационные опыты в деревенской обстановке (хозяйство Гарденинных, в Воронежской губернии), выращивая растения (хлеба и свеклу) в *обыкновенных железных ведрах* (их лучше покрывать изнутри олифой, лаком или парафином, если желаете избежать влияния ржавчины, например, на растворимые фосфаты).

[3] Эти полуконусы сначала делались медные (луженые), что обходилось дорого; затем мы пробовали делать стеклянные, но они были не дешевы и ломки; позднее мы стали применять фарфоровые, которые удобны, чисты и обходятся в 3 раза дешевле медных.

емкостью 3,5—5 л, покрываемые деревянным кругом с отверстиями, в которых и укрепляются растения (чаще всего на вате).

Почва перед наполнением сосудов просеивается и тщательно перемешивается, чтобы иметь количество сухой почвы в сосудах, определяют влажность почвы (отбирая постепенно среднюю пробу одновременно с постепенным наполнением сосудов). Практиковавшееся прежде подсушивание почвы перед набивкой сосудов (доведение ее до воздушно-сухого состояния) нельзя признать правильным, так как высушивание почвы сильно отражается на ее свойствах, что может резко изменить в дальнейшем ее отношение к отдельным удобрениям. Почва должна быть до известной степени уплотнена при набивке в сосуды (иначе она осядет при поливке), но не слишком, во всяком случае равномерно во всех сосудах.

Песок может приготовляться промыванием кислотами и (для некоторых целей) прокаливанием. У нас принято промывание значительных масс крепкой соляной кислотой, затем простой водой до исчезновения кислой реакции и дистиллированной—до исчезновения реакции на хлор.

Несмотря на *первоначальную кажущуюся* чистоту песка (получающегося из кварцита путем размельчения), промывание существенно сказывается на удалении P_2O_5 и K_2O; без промывания предельные растения[1] обнаруживают заметно больший рост, чем после промывания (если это растения типа гречихи и люпина, т. е. обладающие большой усвояющей способностью).

Прокаливание много затруднительнее, чем промывание, оно необходимо лишь в специальных опытах по азотистому питанию при небольших количествах употребляемого песка; для опытов с фосфатами и калийными минералами оно не нужно.

Помимо химического состава, имеет значение крупность частиц песка; при излишней крупности песок не проводит влаги на достаточную высоту, при излишней мелкости он сплывается и не обеспечивает доступа воздуха к корням.

Соли удобно иметь растворенными порознь, в более крепких растворах (1%), а лишь при смешении с песком (перед наполнением сосудов) вносить отмеренные объемы растворов солей; так, Гельригель пользовался при своих опытах следующими нормами[2]: на 1 кг песку берется 1 эквив. KH_2PO_4 (0,136 г), 6 эквив. $Ca(NO_3)_2$ (0,492 г), 1 эквив. $MgSO_4$ (0,660 г), 1 эквив. KCl (0,075 г) и 0,925 г $FeCl_3$ или $FePO_4$; этот расчет относится к безводным солям (на деле же приходится учитывать еще кристаллизационную воду).

Эти нормы удобны при сосудах в 4—5 кг; но если вес песка растет при том же числе растений (при увеличении высоты сосуда), то для злаковых количество солей можно понизить.

Наоборот, для требовательных растений (например, капусты) этого количества солей недостаточно; приходится или добавлять соли во время роста или брать более крупные сосуды. В конце концов наиболее верным масштабом должна служить высота урожая и его состав.

Для посева берут чистосортные семена возможно одинаковой крупности, намачивают их и даже обычно доводят до начала прорастания, чтобы не внести из одного всякого семени и иметь возможность лучше отобрать одинаковые семена. Но если высевают раза в два более семян, чем требуется растений (чтобы потом проредить до необходимого числа), то проращивание не всегда практикуется.

Что касается густоты посева, то часто считают нормой 4 растения (хлебные злаки) на 1 кг песку; злаки могут кущением возмещать редкость стояния при благоприятных условиях питания. Распределение семян при посеве должно быть равномерным, для чего пользуются шаблонами с отверстиями (шаблоны могут быть из картона, дерева, металла).

Сосуды с растениями помещаются обычно на вагонетках, которые при дурной погоде и на ночь задвигаются под стеклянные навесы; за этими навесами, если они снабжены стенами, упрочилось нехарактерное название «теплиц», оранжерей; нехарактерны эти названия потому, что в этих неотапливаемых сооружениях (вегетационных домиках) приходится заботиться не о тепле, а о свете; с излишним же теплом от солнечного нагрева приходится бороться путем вентилирования; поэтому название «светлица», предложенное Лянчицом, лучше выражало бы сущность задач, преследуемых устройством этого вида оранжерей, чем слово «теплица».

Если рельсы теплицы направлены с востока на запад, то вагонеткам, согласно предложению проф. Коссовича, удобно придавать вид как бы двух ступеней лестницы, обращенной на юг, чтобы растения в сосудах, обращенных к югу, не затеняли растений северной (возвышенной) половины вагонетки.

Поливка в сосудах с удобством регулируется по весу, причем ежедневно доводят влажность до 50—60% от наибольшей влагоемкости почвы или песка (по С. М. Богданову расчет влажности ведется несколько иначе: исключается «мертвый запас» влаги; от остальной влаги, содержащейся при наибольшей влагоемкости, берется 50%).

Кроме поливки по весу, возможна поливка с доведением до постоянного уровня, если применяется вышеописанный полуконус. С первого взгляда кажется, что поливка по весу представляет способ давать растениям определенное количество воды, между тем как на самом деле она только дает возможность, во-первых, избежать избытка воды при поливке, во-вторых, учесть количество потребляемой воды; что же касается размеров потребления, то оно

[1] Т. е. выращенные на смеси без того или другого необходимого элемента (например, K или P).

[2] Подробнее о составе питательных смесей см. выше, стр. 96.

зависит от энергии развития растений, ибо чем больше растение поднимает влажность почвы против нормы, тем больше мы должны ему воды при следующей поливке, доливая по весу до нормы; следовательно, и этот способ, как и поливка по уровню, в сущности приближается к снабжению растений водой по мере потребности (в отличие от условий полевой культуры, где растения получают разные количества воды на разных делянках).

Обычно поливка ведется снизу, но рекомендуют по временам поливать и сверху, чтобы избежать скопления солей у поверхности.

Кроме поливки, уход состоит в прореживании, поддержке растений (проволочные каркасы, стеклянные палочки).

При уборке растения срезываются обычно у поверхности почвы, просушиваются с предосторожностями против потерь (в пакетах из бумаги), затем взвешиванием определяется общий урожай; зерна взвешивают по обмолоте, вес соломы и мякины определяется по разности; если нужно, то корневая система также отмывается под струей воды, высушивается и взвешивается.

Примерные формы бланков для записей урожаев приведены в вышеупомянутой статье Коссовича и руководстве Недокучаева. Относительно обработки данных и выведения средних здесь сохраняет силу большая часть сказанного раньше по поводу данных полевого опыта.

* * *

При изучении различных вопросов в настоящее время пользуются несколькими модификациями вегетационного метода, основными из которых являются почвенные, песчаные и водные культуры. Кроме того, различают еще методику сменных или текучих растворов, методы изолированного и фракционированного питания и стерильные культуры вегетационного метода.

Смена и текучие растворы. В ряде случаев смена питательного раствора в течение вегетационного периода является совершенно необходимой и определяется самим существом изучаемого вопроса. Если, например, тема работы относится к исследованию влияния концентрации какого-либо вещества на развитие растения, то очень важно на протяжении всего вегетационного периода поддерживать в растворе определенную концентрацию этого вещества, что, понятно, невозможно в постоянных (несменных) культурах. Тогда применяют методику, позволяющую осуществить периодическую или даже непрерывную смену питательного раствора, причем в последнем случае говорят о проведении опыта в текучих культурах.

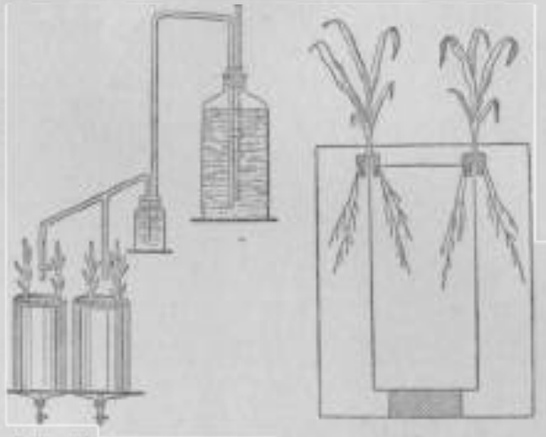


Рис. 75. Метод текучих растворов.

Рис. 76. Метод изолированного питания.

В текучих культурах питательный раствор определенного и заданного состава из запасной бутыли (обычно около 20 л емкостью) по системе регулируемых сифонов с определенной скоростью (4—5 л в сутки на сосуд) все время возобновляется, а прежний питательный раствор постепенно вытесняется и удаляется (через нижнее отверстие сосуда или через сифонную трубку). Эта модификация вегетационного метода (см. рис. 75) применяется как для водных, так и для песчаных культур, причем в последнем случае влажность песка будет, таким образом, все время отвечать 100%, от полной влагоемкости песка.

Помимо вопросов, относящихся к изучению влияния концентрации тех или иных солей на развитие растений, методика сменных и текучих культур часто применяется и тогда, когда строгое постоянство pH среды является важным условием при проведении опыта.

Несколько иной принцип сменности применяется при так называемом *фракционированном питании* (в водных культурах). При этом для каждого варианта опыта (не считая параллельных) берутся *два сосуда*; в эти два сосуда вносится питательная смесь неодинакового состава (например, с исключением или добавлением того или другого компонента). Растения переносят через определенный срок, например, каждые сутки, с одного сосуда на другой (предварительно промыв корни). Такого рода методика применяется, в частности, в тех случаях, когда желают избежать образования осадков при взаимодействии составных частей смеси. Так, при изучении действия Al на растения поступают следующим образом: в один из сосудов вносится полная смесь без Al, а во втором исключаются фосфор и вводится по схеме соль Al (если бы дать вместе Al и фосфор, то образовался бы осадок $AlPO_4$ и действие Al не было бы выявлено).

Метод *изолированного питания* отличается от предыдущего тем, что питательный субстрат различного состава предоставляется растениям одновременно (в двух отделениях

сосуда), причем корни растения разделяются на две части и помещаются изолированно одна от другой. В том виде, как сейчас наиболее часто применяется эта методика, она разработана в нашей лаборатории И. С. Шуловым. По этому методу изоляция отдельных составных частей питательного раствора достигается использованием двух сосудов разного размера, из которых меньший вставляется внутрь большего. Один из этих сосудов содержит питательную смесь, полную или лишенную некоторых элементов (фон в опыте), тогда как во втором изолируются изучаемые составные части смеси. Растение высаживается на пробках и его корни направляются в оба сосуда (см. рис. 76)[1].

Рис. 77. Стерильные культуры. Усвоение кукурузой фосфорной кислоты фосфорита при различных источниках азотистого питания [слева—$Ca(NO_3)_2$, справа NH_4NO_3] (по Шулову).

Изолированные культуры в зависимости от характера темы бывают песчаные, водные, водно-песчаные, водно-почвенные и песчано-почвенные (в зависимости от того, чем наполняют тот и другой сосуд).

В отношении техники проведения опытов по методике изолированного питания сделаем лишь несколько замечаний.

Посадка растений в сосуды в данном случае делается лишь после того, когда корни достаточно разовьются и их можно будет разделить на отдельные пряди, направляемые в оба отделения сложного сосуда.

У некоторых растений, например, бобовых, кукурузы и т. д., первое время стержневой корень не ветвится, и приходится прибегать к его надрезке, чтобы вызвать усиленное боковое ветвление. Чем короче делается эта надрезка, тем лучше, тем легче и удобнее будет потом посадка, но уход за проростками (до посадки), естественно, будет более хлопотливым.

Количество растений на сосуд должно быть по возможности большим (избыток впоследствии может быть и удален). Во всяком случае посадка одного растения на пробку недостаточна (имеем в виду здесь такие культуры, как злаки, лен и др.). Конечно, при работе с такими культурами, как свекла, подсолнечник, картофель и другие, более одного растения на сосуд помещать нельзя (если задача опыта предполагает полное развитие растений), но тогда число параллельных сосудов должно быть значительно увеличено (5—6 вместо 2—3).

Поливка сосудов при постановке опытов по методу изолированного питания является более сложной, нежели поливка обычных сосудов. Так как вода испаряется из обеих половин сосуда, то при поливке нужно решить, сколько ее убыло как в одной, так и другой половине сосуда. В тех случаях, когда изолированная культура является песчаной или почвенной, эта задача решается путем распределения недостающей (до установленного веса сосуда) воды пропорционально количеству песка или почвы в каждой половине сосуда. Конечно, этот вопрос оказывается более простым для культур водных или водно-песчаных и водно-почвенных. В этом случае поливка ведется по отмеченному заранее уровню (в отделении сосуда с водой), а недостающее после этого количество воды добавляется в песку или почве.

Стерильные культуры имеют целью вырастить растение в отсутствие микроорганизмов, причем существующая для этой цели аппаратура делится на две группы:

а) стерильные культуры, позволяющие изолировать от окружающей среды как корневую, так и надземную части растения, т. е. в этих случаях все растение выращивается в замкнутом пространстве, предварительно стерилизованном, и

б) ко второй группе относятся случаи, когда стерильными оказываются лишь корни и питательный субстрат, тогда как надземная часть растений развивается в обычных условиях (рис. 77).

Методика стерильных культур является наиболее сложной и трудоемкой среди всех модификаций вегетационного метода, но при изучении ряда вопросов она имеет весьма важное значение. Особенно необходима эта методика при изучении таких вопросов, как корневые выделения растений, усвояемость отдельных питательных веществ из органических соединений и т. п.

[1] Иногда применяют разделение корней на три части (или даже больше), но чаще всего применяется деление на две части.

ХРАНЕНИЕ И СМЕШИВАНИЕ УДОБРЕНИЙ

В практике применения удобрений приходится иметь дело с их хранением до времени внесения в почву. Правила хранения удобрений в помещениях, высота куч при хранении россыпью или высота штабелей при хранении в таре зависит от свойств удобрений. Хранение удобрений в ненадлежащих условиях может повести или к частичной потере питательных веществ, или к потере питательного достоинства, или, что чаще всего имеет место при плохом хранении, сильно ухудшается способность удобрений к равномерному рассеву.

Стахановское движение в сельском хозяйстве поставило на очередь использование в широком масштабе разнообразных способов внесения удобрений. Кроме общераспространенного способа—сплошного внесения удобрений по пашне, огромное значение приобретает местное внесение удобрений или перед посевом на дно борозды, или в рядки при посеве растений, или во время вегетации растений (подкормка). Во всех указанных случаях особенно важно достичь равномерности высева, что не может быть осуществлено ни одной машиной, если удобрения не имеют удовлетворительных и притом однородных физических свойств.

Неумелое хранение и смешивание ведут нередко к резкому ухудшению физических и физико-механических свойств удобрений. Следующие свойства удобрений имеют практическое значение при их хранении: 1) объемный вес и объем единицы веса, 2) гигроскопичность и влажность, 3) слеживаемость, 4) сыпучесть и рассеваемость, 5) кислотность и 6) специфические свойства отдельных удобрений, требующие особых мер предосторожности как при их хранении, так и при рассеве.

1. *Объемный вес и объем единицы веса.* Эти свойства имеют значение при хранении и смешивании удобрений. Располагая данными об объеме единицы веса, можно точнее определить размер площади для хранения удобрений на складах, в сараях и быстрее произвести расчеты перед изготовлением смесей.

В таблице 1 приведены данные по объемному весу и объему единицы веса наиболее распространенных удобрений. В этой же таблице приведено среднее содержание N, P_2O_5 и K_2O в том или ином туке.

На различие в объемном весе одноименных удобрений влияет неодинаковый размер частиц этих удобрений. Удобрения с большим объемным весом обладают при прочих равных условиях большей сыпучестью, а также и рассеваемостью. Опытами лаборатории минеральных удобрений ВИУАА было установлено, что при очень малом объемном весе горловского сульфата аммония (0,3—0,4) он при одинаковых условиях высевался примерно в 2—3 раза меньше установленной регулятором туковой сеялки нормы высева, тогда как сульфат аммония Чернореченского завода, имеющий объемный вес 0,85, высевался в соответствии с установленной регулятором нормой.

2. *Гигроскопичность и влажность.* На условия хранения удобрений сильно влияет содержание в них влаги. Удобрения с повышенным содержанием влаги подвергаются слипанию, расплыванию и комкованию; поэтому они сильнее слеживаются, чем относительно более сухие удобрения. Возрастание тонкости измельчения удобрений, обладающих способностью поглощать влагу, усиливает их слипание, комкование и слеживаемость.

Таблица 1

Объемный вес и объем тонны удобрений[1] (по Н. Е. Пестову)

Удобрения	Вес 1 м³ (в тоннах)	Объем 1 т удобрений (в куб. метрах)	Средние содержания (в процентах)		
			P_2O_5	K_2O	N
Фосфоритная мука из вятского и егорьевского фосфоритов	1,62—1,68	0,62—0,59	около 20	—	—
Суперфосфат из фосфорита	0,98	1,02	14—16	—	—
Суперфосфат из апатитового концентрата	1,02—1,08	0,98—0,93	18	—	—
Суперфосфат двойной	0,87	1,15	35—45	—	—
Преципитат	0,86—0,87	1,16—1,15	30—35	—	—
Томасшлак	2,01—2,05	0,5 —0,49	16	—	—
Костяная мука сырая	0,86	1,12	16—23	—	2—6
Сульфат аммония	0,89	1,12	—	—	20,5
Аммиачная селитра	0,81	1,23	—	—	33—35
Чилийская или натронная селитра	1,06—1,38	{ 0,72 0,94	— —	— —	16 16
Норвежская селитра	0,91—1,13	1,1 —0,88	—	—	13
Хлористый аммоний	0,58	1,72	—	—	24—26
Цианамид кальция	0,60—0,61	1,67—1,64	—	—	20—22
Лейна-селитра и монтан-селитра	0,87—1,0	{ 1,15 1,0	—	— —	27 27
Сильвинит солигамский	1,07—1,1	0,94—0,91	—	14	—
Карналлит солигамский	0,9	1,11	—	9—12	—
Калийные соли	0,94—1,18	1,06—0,85	—	30—50	—
Технический хлористый калий	0,94	1,13	—	55—60	—
Сульфат калия	1,3	0,77	—	48—52	—
Аммонизированные простые суперфосфаты	0,965	1,035	16—18	—	3—6
Азотнокислый калий	0,97	1,03	—	46	12
Поташ от	0,75—0,8	около 1,0	—	24	12
Кровяная мука	0,49	2,04	1,0—1,5	—	12
Рыбная мука	0,5	2,0	14—15	—	7—9
Мука из хлопковых семян	0,6	1,67	1—1,5	—	6
Гипс	0,75	1,0	—	—	—
Известковая мука	1,04	0,98	—	—	—

В результате поглощения влаги удобрениями могут иметь место следующие процессы:

а) «Схватывание», что ведет к затвердеванию массы удобрения; это, например, наблюдается в тех случаях, когда образуется гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

[1] Объем 1 т удобрения (или объемный вес удобрений) одинакового химического состава может иногда резко различаться. Например, сульфат аммония Горловского завода имеет объемный вес 1 м³ всего 0,3—0,4 т, а сульфат аммония Черноречевского и Березниковского заводов имеет объемный вес 1 м³ 0,85—0,9 т. Однако для большинства удобрений различия в объемном весе незначительны.

Так, при изготовлении широко распространенной смеси суперфосфата с сульфатом аммония протекают следующие реакции:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + (NH_4)_2SO_4 = CaSO_4 + 2NH_4H_2PO_4. \quad (1)$$

$$CaSO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O. \quad (2)$$

$$CaSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + H_2O = CaSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot H_2O. \quad (3)$$

Реакции (1), (2) и (3) объясняют явления затвердевания, «схватывания» смеси[1].

б) Образование тонкого жидкого слоя на поверхности каждой растворимой частицы, что ведет к созданию клейкого или пластического состояния вещества вследствие поверхностного натяжения и других явлений.

в) Выделение (между частицами) кристаллов, что ведет к сцеплению частиц удобрений в тех случаях, когда относительная влажность воздуха сначала поднимается выше, а затем падает ниже той точки, при которой удобрение способно поглощать влагу из окружающего воздуха.

Учитывая причины, вызывающие порчу физических свойств удобрения, можно применить тот или иной способ для улучшения рассеваемости, например, подсушивание, устранение кислотности, добавление торфяного порошка и т. д.

Степень и скорость поглощения теми или иными удобрениями влаги зависит от толщины слоя удобрений, от их способности поглощать влагу и от естественной влажности окружающего воздуха. Способность поглощения влаги удобрениями зависит от упругости паров воды над насыщенным раствором данного удобрения. Это—главная причина, влияющая на скорость поглощения удобрениями влаги из воздуха и определяющая их гигроскопичность.

Различие удобрений в способности поглощать влагу из окружающего воздуха (при одинаковых условиях) позволяет относить их к сильно гигроскопичным, гигроскопичным, слабо гигроскопичным и негигроскопичным.

Гигроскопичность удобрения тем выше, чем меньше упругость паров воды над насыщенным раствором удобрения по сравнению с упругостью водяных паров над чистой водой при той или иной температуре; другими словами, чем больше разница между P—упругостью паров чистой воды при данной температуре и P_1—упругостью водяного пара при той же температуре над насыщенным раствором соли, тем гигроскопичнее вещество.

В таблице 2 приведены данные, характеризующие в этом отношении свойства солей, входящих в состав удобрений.

Таблица 2

Относительная гигроскопичность удобрений

Удобрения	Давление паров насыщенного раствора (в миллиметрах) при температуре:					Относительная влажность воздуха в равновесии с насыщенным раствором (в процентах) при температуре:				
	10°	15°	20°	25°	30°	10°	15°	20°	25°	30°
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	—	7,16	9,73	13,04	14,88	—	55,9	55,4	56,5	46,7
NH_4NO_3	6,88	8,95	11,74	14,94	18,93	75,3	69,8	66,9	62,7	59,4
NaCl	7,00	9,87	13,63	18,01	23,96	76,6	77,0	77,6	75,5	75,2
$NaNO_3$	7,13	9,85	13,53	17,73	23,07	78,0	76,8	77,1	74,4	72,4
NH_4Cl	7,27	10,15	13,92	18,12	24,61	79,5	79,2	79,3	76,0	77,2
$(NH_4)_2SO_4$	7,29	10,16	14,22	19,50	25,22	79,8	79,3	81,0	81,8	79,2
$CO(NH_2)_2$	7,48	10,24	14,05	18,06	23,09	81,8	79,9	80,0	75,8	72,5
KCl	8,07	11,05	15,04	19,89	26,75	88,3	86,2	85,7	83,4	84,0
KNO_3	8,87	12,26	16,21	21,94	28,84	97,0	95,6	92,3	92,0	90,5
$NH_4H_2PO_4$	8,94	12,44	16,10	21,91	29,18	97,8	97,0	91,7	91,9	91,6
$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	8,95	12,67	16,52	22,89	29,85	97,9	98,8	94,1	96,0	93,7
KH_2PO_4	8,96	12,62	16,89	22,76	29,60	98,0	98,4	96,2	95,4	92,7
K_2SO_4	9,06	12,78	17,30	23,50	30,68	99,1	99,7	98,5	98,8	95,7

[1] На туносмесительных заводах смеси из сульфата аммония и суперфосфата дают «вызреть» на складе 5—6 дней, после чего эту «схватывающуюся» туносмесь измельчают, обеспечивая высокую ее рассыпчатость.

Поглощение влаги насыщенным раствором соли происходит в том случае, если относительная влажность воздуха при данной температуре выше указанной в таблице 2 величины. Так, например, давление паров воды, находящееся в равновесии с насыщенным раствором NH_4NO_3 при 15°Ц, равно 8,95 мм, что отвечает относительной влажности воздуха 69,8% (см. табл. 2). Соответственно этому в одном из опытов с аммиачной селитрой при температуре 15°Ц и относительной влажности воздуха в 70% поглощения влаги из воздуха не наблюдалось, а при той же температуре и при 60% относительной влажности это удобрение теряло свою гигроскопическую влагу. При относительной же влажности воздуха, равной 80%, аммиачная селитра, сложенная тонким слоем, поглотила из окружающего воздуха в течение 7 дней количество влаги, составляющее больше 50% от веса удобрения.

Разница в давлении паров воды в воздухе и паров воды над насыщенными растворами удобрений особенно велика у норвежской и аммиачной селитры и ничтожна у калийной селитры и сульфата калия. Первые два удобрения сильно гигроскопичны, а последние два удобрения негигроскопичны. При 15° и при относительной влажности окружающего воздуха, равной 80%, только норвежская и аммиачная селитра, хлористый натрий и натронная селитра будут поглощать влагу.

Гигроскопичность большинства удобрений резко меняется с изменением температуры, повышаясь с увеличением температуры и снижаясь с ее уменьшением. С повышением температуры чрезвычайно резко возрастает гигроскопичность аммиачной и лейна-селитры, а также норвежской, что связано с изменением давления паров воды и упругости паров над насыщенными растворами указанных солей. Это можно видеть из приводимых ниже данных в таблице 3.

Таблица 3

Упругость насыщенного пара воды и упругость пара над насыщенным раствором аммиачной селитры в зависимости от температуры

Температура	−20°	−15°	−5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°
Упругость насыщенного водяного пара (P)	0,772	1,238	3,008	4,579	6,543	9,209	12,788	31,827
Упругость пара над насыщенным раствором NH_4NO_3 (P_1)	0,772	1,098	2,508	3,709	5,133	6,880	8,950	18,916
$P - P_1$	0	0,140	0,500	0,870	1,410	2,429	3,838	12,911

В связи с этим в зимнее время удобрения не поглощают влаги из атмосферы, зато в теплые и особенно жаркие пасмурные и дождливые дни гигроскопичность аммиачной селитры, сульфат-нитрата аммония, $Ca(NO_3)_2$ и других удобрений резко повышается, что должно быть учтено при их хранении. В отличие от калийных и растворимых азотистых удобрений, суперфосфаты — простой и двойной, представляя собой сложную смесь разнообразных соединений, при повышении температуры с 15 до 35° несколько снижают гигроскопичность.

Так как поглощение влаги удобрениями зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха, то, регулируя при хранении удобрений влажность и температуру воздуха в помещении, можно избегнуть избыточного поглощения последними воды[1]. При относительной влажности воздуха,

[1] В заграничной практике ценные азотистые удобрения нередко сохраняют в отапливаемых помещениях, где можно регулировать и температуру и относительную влажность воздуха, и вследствие этого избегать поглощения влаги из воздуха такими удобрениями, как азотнокислый аммоний, лейна-селитра, мочевина и норвежская селитра. В обычных неотапливаемых складах для удобрений или в приспособленных для их хранения помещениях, принимая несложные меры предосторожности (проветривание в сухую теплую погоду, наблюдение за тем, чтобы плотно закрывались двери и окна в сырую погоду), можно избежать избыточного поглощения влаги гигроскопичными удобрениями и даже подсушить их.

равной 66—70%, лейна-селитра совсем не поглощает воды, а суперфосфат, по исследованиям Вольфковича, при 84% относительной влажности воздуха и при температуре 18—20° терял содержащуюся в нем влагу.

Результаты исследований ВИУАА (П. А. Баранов) над гигроскопичностью наиболее распространенных удобрений (см. табл. 4) представляют практический интерес в связи с данными (по отдельным пунктам СССР) о средней месячной и поденадной абсолютной влажности воздуха, средней и поденадной температуре по месяцам года и средней месячной и поденадной относительной влажности воздуха[1].

Таблица 4

Гигроскопичность удобрений при разной влажности воздуха (по Баранову)

Удобрения	При 15° Ц и 70% относительной влажности число дней:				При 15° Ц и 80% относительной влажности число дней:				При 15° Ц и 85% относительной влажности число дней:			
	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
	Содержание влаги в процентах											
Аммиачная селитра	0,35	—	0,35	0,5	8,0	15,5	25,2	57,5	8,2	15,7	29,5	57,5
Сернокислый аммоний	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,0	0,5	0,4	0,1	0,0
Мочевина	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,5	0,8	0,25	0,2	0,55	0,75
Суперфосфат простой	12,0	13,5	14,3	14,6	17,6	20,2	21,1	21,8	17,1	23,2	25,2	26,1
Суперфосфат двойной	5,0	5,25	5,2	5,2	7,2	8,0	8,6	8,6	7,5	9,7	11,4	11,9
Хлористый калий	0,4	0,4	0,6	0,65	4,2	6,8	10,1	15,1	7,7	10,2	16,3	26,0
Сильвинит	0,0	0,1	0,0	0,1	1,1	1,6	—	2,5	1,8	2,8	3,7	6,9
Лейна-селитра	1,7	2,5	3,0	3,2	7,4	11,0	16,2	20,7	9,1	13,9	19,9	25,6
Цианамид кальция	0,65	1,25	2,35	4,0	1,3	2,2	3,8	6,1	1,6	2,9	4,7	7,3

Взятый для опыта простой суперфосфат (см. указанную выше таблицу) имел исходную влажность всего 4,75%*, и только он один при 15° и 70% отно-

[1] Бери для примера такие пункты, как Ленинград, Москва и Ташкент, и пользуясь метеорологическими данными, можно видеть, что в июне в Москве аммиачная селитра частично будет находить условия для поглощения влаги из окружающего воздуха, так как при 15° равновесие с насыщенным раствором этой соли наступает при 69,9% относительной влажности воздуха (см. табл. 2), а по многолетним данным относительная влажность воздуха в Москве в июне при средней температуре 15,6° колеблется за сутки в пределах 72—51—89%; зато в Ленинграде и тем более в Ташкенте условия в июне для поглощения аммиачной селитрой влаги из атмосферного воздуха отсутствуют. На самом деле при 25° равновесие наступает при 62,7%, а средняя температура в июне в Ташкенте составляет 24,6° при суточном колебании относительной влажности воздуха 39—54—61%.

* Простой суперфосфат был подсушен.

сительной влажности воздуха заметно поглощал влагу. В заграничной литературе суперфосфат относят к негигроскопичным или малогигроскопичным удобрениям. Эта характеристика иногда фигурирует и в наших руководствах и справочниках по удобрениям. Однако в отношении простого суперфосфата данные таблицы определенно говорят о его значительной гигроскопичности. Это противоречие находит себе объяснение в том, что разные суперфосфаты содержат неодинаковое количество свободной H_3PO_4. Суперфосфаты, содержащие много H_3PO_4, относительно бедны негигроскопичным $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (см. табл. 2) и относительно богаты сильно гигроскопичной фосфорной кислотой. Двойные суперфосфаты абсолютно и тем более относительно богаче содержанием $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, нежели H_3PO_4, по сравнению с простыми суперфосфатами, поэтому они заметно менее гигроскопичны, чем простые.

Мочевина, по данным таблицы 4, малогигроскопична (в смысле поглощения влаги из воздуха), но надо иметь в виду ее способность расплываться при очень малом содержании влаги. Если, например, суперфосфат при содержании влаги в 14—15% сохраняет удовлетворительные физические свойства, то мочевина при 2—3% влаги уже способна расплываться. Поэтому практически мочевину приходится относить к удобрениям, весьма чувствительным к повышению влажности. В частности, это обстоятельство надо иметь в виду при смешивании мочевины с другими удобрениями (например, при смешивании мочевины с суперфосфатом может быстро образоваться тестообразная масса за счет влаги, уже содержащейся в суперфосфате).

Гигроскопичность смесей из двух (или трех) удобрений иногда может быть равна средней арифметической величине из гигроскопичности компонентов смеси или она может быть меньшей или, наоборот, большей. В опытах ВИУАА было установлено, что KCl и особенно мочевина нередко увеличивали гигроскопичность смеси по сравнению со средней арифметической гигроскопичностью ее компонентов.

Следует отметить, что грануляция сильно гигроскопичных удобрений (аммиачная селитра, лейна-селитра и др.) не уменьшает их гигроскопичности, так как при грануляции не меняются химические свойства удобрений. Зато грануляция увеличивает влагоемкость туков, что предотвращает его от слипания, уменьшает слеживаемость и увеличивает рассеваемость. По опытам лаборатории минеральных удобрений ВИУАА, увеличение влажности обычной мелкокристаллической аммиачной селитры с 0,56% до 1,48% вело к тому, что рассев становился неравномерным и прерывистым (дисковый туковсевающий аппарат); кроме того, рассев часто прекращался вследствие забивания выпускного отверстия сеялки, а при доведении влаги до 1,8% выпускное отверстие забивалось через каждые 1—2 минуты. Гранулированная аммиачная селитра равномерно и бесперебойно рассевалась при содержании влаги в 2,78%; даже при влажности 4,34% высев был лишь немного неравномерным; он шел бесперебойно, иногда немного замедлялись вследствие частичного уплотнения селитры у выпускного отверстия, но в дальнейшем высев самопроизвольно становился нормальным.

Мелкокристаллические удобрения: мочевина, аммиачная селитра, лейна-селитра и сульфат аммония в силу своей невысокой влагоемкости уже при 3—5% содержания влаги приобретают мокрый вид и слипаются.

Гранулирование мелкокристаллических и притом сильно гигроскопичных удобрений является средством, с помощью которого можно регулировать такие свойства удобрений, как размер частиц, их форму, объемный вес и влагоемкость, и тем самым влиять на рассеваемость, упрощая задачи механизации.

3. *Слеживаемость удобрений.* Слеживаемость удобрений связана с их способностью слипаться, комковаться и образовывать твердые массы. На способность образовывать большие комья или сплошные слитые массы сильно влияют содержание влаги в удобрении и давление. Например, суперфосфат с нормальным содержанием влаги в кучах в 2 м и выше не слеживается или слабо слеживается, а суперфосфат с содержанием влаги выше 20% будет слеживаться в кучах высотой в 1,5—2 м, если к тому же имеются условия для дополнительного поглощения влаги снизу (сырой пол, земля).

Негигроскопичные удобрения (например, преципитат, томасов шлак, костная мука белая и др.) при нормальных условиях хранения не слеживаются.

О способности удобрений слеживаться судят по степени сопротивления тому или иному давлению на единицу площади при определенной высоте приготовленного из удобрения столбика: чем меньше способность удобрений к слеживанию, тем меньшее сопротивление оказывает столбик удобрения накладываемому на него сверху грузу. В сводной таблице 6 дана указания об относительной слеживаемости отдельных удобрений по четырехстепенной оценке: не слеживается, мало слеживается, слеживается и сильно слеживается.

Способность некоторых смесей удобрений образовывать сплошные твердые массы при хранении связана главным образом с химическими реакциями, происходящими при соприкосновении удобрений (например, смесь суперфосфата с сульфатом аммония). Несколько подробнее об этом будет сказано в разделе о смешивании удобрений.

4. *Сыпучесть и рассеваемость удобрений.* Сыпучесть и рассеваемость — понятия не идентичные, хотя между ними и имеется значительная связь: сыпучие удобрения, не смоченные водой, хорошо рассеваются (фосфоритная мука, преципитат, томасшлак, термофосфат, цианамид кальция, костная мука и др.).

Сыпучесть удобрений — легко измеряемое свойство. Сыпучесть несмоченных порошкообразных удобрений может измеряться временем, в течение которого определенная навеска удобрения самопроизвольно, силой тяжести частиц, вытекает из воронки определенной формы и размера. Для сухих порошкообразных удобрений сыпучесть связана с удельным весом и размером частиц: томасов шлак, имеющий особенно большой удельный вес, более сыпуч, чем преципитат или костная мука «белая»; цианамид кальция порошкообразный менее сыпуч (сцепление мелких частиц, трение), нежели гранулированный.

Удобрение может иметь слабую сыпучесть, но в то же время удовлетворительно рассеваться. Например, смоченная фосфоритная мука может быть не сыпуча, но с помощью сеялки со специальным механизмом принудительного высева она может удовлетворительно рассеваться. Особенного внимания заслуживает рассеваемость несыпучих или малосыпучих удобрений, к каковым принадлежат мелкокристаллические и гигроскопичные удобрения, а также простые суперфосфаты, содержащие повышенный процент свободной фосфорной кислоты: выше 7—8% H_3PO_4 от веса тука.

Говоря о рассеваемости удобрений, имеют в виду главным образом рассев их сеялками. Рассеваемость сеялками зависит от многих условий, а именно: от угла покоя, или естественного угла откоса, от размера частиц (зерен), от влажности, удельного веса, влажности самих удобрений, а для некоторых удобрений—сильно гигроскопичных—и от влажности и температуры окружающего воздуха.

Углом покоя, или естественным углом откоса, является угол, образующийся при пересечении линии откоса насыпанной кучки испытуемого удобрения с горизонтальной поверхностью, на которой находится удобрение. Для сеялок многих конструкций скорость потока размельченных твердых частиц находится в обратной зависимости от угла покоя. Когда угол покоя меньше 40°, тогда сцепление частиц ничтожно; поэтому поток однородного удобрения с таким углом покоя равномерен, если сила, возбуждающая этот поток, постоянна. С возрастанием угла покоя за 45° поток становится все более неравномерным. При угле откоса 55—60° удобрения или смесь их обычными туковыми сеялками не рассеваются[1].

Определение угла покоя удобрения (или смеси удобрений) производится следующим образом. Берут 2—3 кг испытуемого удобрения и $^2/_3$ этого количества быстро и в то же время осторожно ссыпают, например, на стол, защищенный от сквозняков и вообще от воздушных течений. Затем медленно и очень осторожно ссыпают остальное количество. Под конец ссыпание производят или из колбы Эрленмейера (рис. 1) или из цилиндрической трубки, поворачивая при этом последнюю. Надо, чтобы струйка удобрения падала с высоты не более 5 мм и прямо на вершину конуса. Угол может быть определен с помощью угломера (рис. 2).

[1] Комбинированные сеялки типа свеклоничных лучше, чем обычные туковые, высевают малосыпучие удобрения.

Для определения угла покоя, или кинетического угла откоса удобрения, Мерингом был предложен очень простой прибор. Он представляет собой ящик строго правильной формы (с высотой стенок 20—25 см). Две смежные стенки откидываются, а оставшиеся две и дно ящика ограничивают пространство с трех сторон. Углы смежных стенок сверху разделены линиями на градусы. Насыпая внутрь этого прибора какое-нибудь удобрение (при этом струя удобрения должна быть направлена как можно ближе к вертикальному ребру пересечения смежных стенок), можно сразу измерить угол откоса, не прибегая к угломеру. Пользуясь этим прибором, надо брать ту же навеску и соблюдать те же правила, что указаны выше.

П. А. Баранов удачно видоизменил прибор Меринга. При использовании последнего прибора удобрение высыпают через воронку с углом покоя 60° и трубкой с диаметром 15 мм.

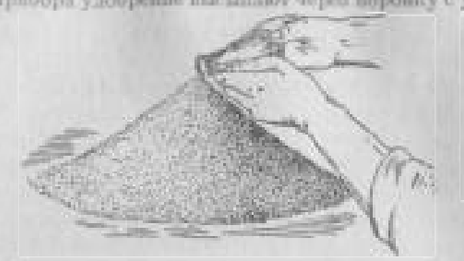


Рис. 1. Правильное положение (по отношению к вершине конуса) сосуда, через который производится ссыпание испытуемого удобрения.

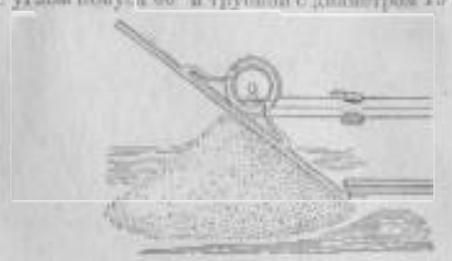


Рис. 2. Способ измерения угла покоя при помощи угломера.

Трубка воронки входит в вырез 75 мм радиусом. По мере высыпания удобрения трубка поднимается кверху, находясь (концом) на расстоянии 5 см от кучки удобрения.

Угол откоса удобрений дает удовлетворительный ответ о рассеваемости большинства удобрений и их смесей. Однако, как показали опыты ВИУАА, для суперфосфата этот метод мало пригоден. Он позволяет отмечать лишь крайние значения, например, при угле откоса, равном 59°, суперфосфат, взятый для опытов, совершенно не рассевался; через 7 минут от начала работы сеялка забилась; другой образец суперфосфата, имевший угол откоса 48—50°, рассевался очень хорошо, также очень хорошо рассевался суперфосфат, имевший угол откоса

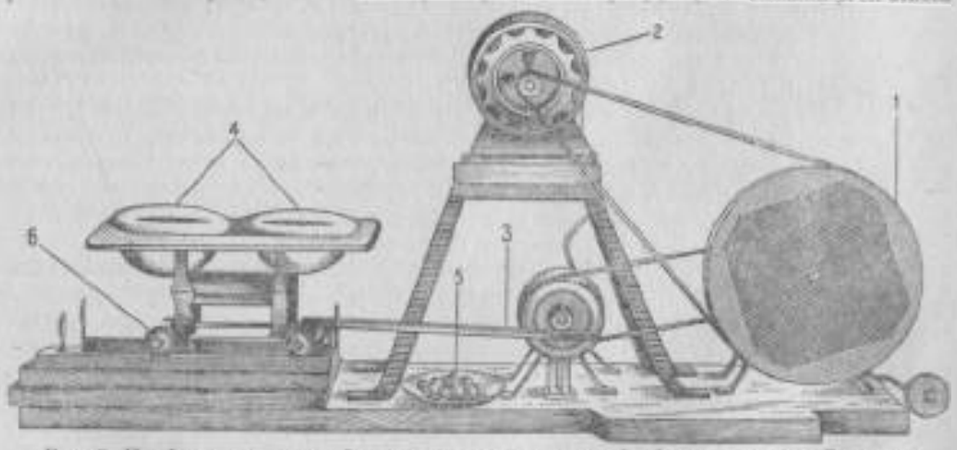


Рис. 3. Прибор для оценки физических свойств суперфосфата по методу Вихерна.

45—47°, но один образец с углом откоса 45—46° рассевался лишь удовлетворительно, хотя и равномерно. Нечеткость связи между рассеваемостью суперфосфатов, имеющих углы откоса в пределах 45—50°, заставляет обратиться к более надежному методу. Таким методом, по исследованиям бригады товароведения лаборатории минеральных удобрений ВИУАА, является метод Вихерна. Для определения рассеваемости по этому методу сконструирован специальный прибор[1] (см. рис. 3).

В этом приборе шкив *1*, получающий движение от мотора *2*, передает его кривошипу *3*. Кривошип двигает тележку *6*, к которой прикреплена доска с двумя отверстиями для фарфоровых чашек *4*.

Для испытания рассеваемости суперфосфата берутся две навески по 25 г каждая. Предварительно испытуемый суперфосфат просеивается через сито в 2 мм. Помещая суперфосфат

[1] Здесь описан прибор с теми изменениями, которые были сделаны в ВИУАА.

по 25 г в каждую чашку, в них кладут по 10 шаров, лучше всего алюминиевых, весом по 10 г каждый.

После этого прибор приводит в движение (тележка совершает возвратно-поступательное движение), отмечая время, когда суперфосфат настолько плотно и прочно укатывается в чашках, что не высыпается при их опрокидывании. Для суждения о рассеваемости суперфосфатов наших заводов можно считать удовлетворительными в указанном отношении те из них, которые укатываются не менее чем в 3 минуты; суперфосфат негоден к рассеву, если он укатывается в 2 минуты и тем более в срок меньший 2 минут.

Зернистая или мелкокомковатая структура удобрения, повышенный удельный вес и сухость продукта являются факторами, благоприятными для рассеваемости удобрений.

Влажность удобрений является весьма существенным фактором, влияющим на их рассеваемость. Для гигроскопичных удобрений, способных быстро поглощать повышенное количество влаги, значительное влияние на рассеваемость оказывают относительная влажность и температура окружающего воздуха во время работы. Например, суперфосфат с пониженным содержанием влаги (8—10%) в сухую погоду начинает при рассеве пылить. По отдельным наблюдениям, суперфосфаты с содержанием гигроскопической влаги 15—18% хорошо рассеваются при относительной влажности воздуха до 80%. Азотнокислый аммоний и смесь его с сернокислым аммонием хорошо рассеваются при влажности меньше 70%; норвежская селитра при влажности воздуха в 60% хорошо рассевалась при температуре 10° и плохо при 20°. Вообще пониженная температура (конечно, при отсутствии дождя) способствует лучшей рассеваемости гигроскопичных удобрений. Для негигроскопичных удобрений (фосфоритная мука, томасов шлак, преципитат, рыбная мука и т. п.) относительная влажность воздуха (при отсутствии дождя) и температура при рассеве не имеют существенного значения.

Размер частиц удобрения оказывает влияние на их рассеваемость. Это особенно относится к мелкокристаллическим гигроскопичным удобрениям, так как мелкие частицы, обладающие большей удельной поверхностью, быстрее поглощают влагу из окружающего воздуха, чем крупные; так как они к тому же еще и маловлагоемки, то начинают быстрее, чем гранулированные частицы, слипаться и затруднять рассев. При относительно небольшом удельном весе и при очень мелких частицах некоторые удобрения (некристаллические) сильно пылят, что также затрудняет их рассев. Для улучшения рассеваемости влажных и гигроскопичных удобрений рекомендуют их смешивать с торфяным порошком или с пылящими удобрениями, которые обычно совсем негигроскопичны; например, калийные соли смешивают с белой костной мукой, или цианамидом кальция, или преципитатом. Смеси, обладающие лучшими физическими свойствами и рассеваемостью, чем отдельные компоненты, будут рассмотрены в разделе «Смешивание удобрений».

Не только величина, но и форма зерен и частиц удобрения оказывают влияние на их рассеваемость: кристаллические частицы рассеваются значительно медленнее, чем сферические или имеющие вид цилиндриков; поэтому грануляция, гигроскопичных мелкокристаллических удобрений способствует лучшей их рассеваемости. Например, в одном опыте было установлено, что кристаллическая мочевина в 3 раза медленнее рассевалась, чем мочевина, гранулированная в сферические частицы.

Всегда надо иметь в виду (особенно при постановке опытов с удобрениями на относительно больших площадях), что при недостаточно тщательном перемешивании удобрений, благодаря их различному удельному весу и различной просеваемости, заданное в начале соотношение между N, P_2O_5 и K_2O может значительно измениться к концу опорожнивания ящика туковой сеялки. Так, в одном опыте при заданном в начале соотношении между $NH_4 : P_2O_5 : K_2O = 8 : 12 : 20$ первые фракции давали соотношение $= 7 : 8 : 21$, а последние $= 10 : 11 : 13$. Избежать этого нежелательного явления можно лишь в том случае, когда удобрения не только хорошо смешаны, но и непрерывно перемешиваются в ящике туковой сеялки особыми приспособлениями; кроме того, надле-

жит по возможности поддерживать более или менее одинаковую загрузку смеси удобрений в ящике.

Для эффективности различных минеральных удобрений тонина размола и размер частиц имеют неодинаковое значение. Для удобрений с ничтожной или слабой растворимостью (фосфоритная мука, томасов шлак, термофосфаты, преципитат, костяная мука, известковая мука) важен тонкий размол, что и предусматривается общесоюзными стандартами. Для удобрений, сильно пылящих и притом вредно влияющих на здоровье, как, например, цианамид кальция, тонкий размол служит препятствием к работе по рассеву. Последними опытами Каппена доказана одинаковая эффективность цианамида кальция как тонко распыленного (стандартного размола), так и гранулированного в частицы размером 1,5—2 мм в диаметре. Равенство в действии тонко размолотого и гранулированного цианамида кальция объясняется относительно неплохой его растворимостью и быстрым переходом азота цианамида в почве в аммиачную форму.

Для более растворимых удобрений, а именно калийных и минеральных азотистых удобрений, нет необходимости в особо тонком измельчении тем более, если последнее неблагоприятно отражается на работе по рассеву и на хранении. С другой стороны, слишком крупный размер частиц хорошо растворимых удобрений может явиться источником опасности частичного повреждения растений. Рекомендуемый размер гранулированных частиц цилиндрической формы: 2—2,5 мм в диаметре и 3—3,5 мм высоты.

Опытами установлено, что и для суперфосфата желательно иметь в преобладающем количестве частицы в 2—2,5 мм в диаметре. На тукосмесительных заводах для приготовления смесей со слеживающейся аммиачной селитрой последняя дробится до размера частиц менее 0,5 мм.

Размер частиц удобрения определяется с помощью набора сит. Для этого берется навеска удобрения (обычно берут 2—3 навески) в 200 г и помещается в систему расположенных друг на друга сит, имеющих разный размер петель. Остаток на верхнем сите характеризует количество частиц с диаметром большим, чем диаметр просвета петли сита; частицы, прошедшие через то или иное сито, будут более мелкими, чем размер (диаметр) петель этого сита.

В помещенной ниже таблице 5 приведены две системы сит: одна немецкая (DIN[1]), другая—англо-американская (Тейлора); для некоторых номеров приведена для сопоставления с системой Тейлора старая русская система сит, пока еще кое-где применяющаяся.

Таблица 5

Размеры элементов различных сит

Номера сит по системе (число петлей на погонную меру)		Просвет петли (диаметр в миллиметрах)		Диаметр проволоки по системе DIN (в миллиметрах)	Примечание
DIN	Тейлора	По DIN	По Тейлору		
4	4	1,5	4,699	1,0	
6	6	1,02	3,227	0,65	
8	—	0,75	—	0,5	
10	10	0,6	1,651	0,4	
—	16	—	0,991	—	№ 16 по старой русской системе совпадает с № 16 по системе Тейлора
20	20	0,3	0,833	0,2	
24	24	0,25	0,701	0,17	
30	35	0,20	0,417	0,13	Русская № 50 вместо № 35 по Тейлору
40	42	0,150	0,351	0,1	
—	48	—	0,295	—	
—	60	—	0,246	—	
70	65	0,088	0,208	0,055	
—	80	—	0,175	—	Русская № 100 вместо № 80 по Тейлору
100	100	0,060	0,147	—	
—	150	—	0,104	—	
—	200	—	0,074	—	
—	400	—	0,04	—	

[1] Deutschen Industrie Normenausschuss.

На равномерность рассева влияет норма высева. Мелкокристаллические, маловлагоемкие удобрения при небольшом повышении влажности трудно рассеять равномерно в пониженных нормах.

5. *Кислотность удобрений.* Кислотность удобрений — свойство, которое учитывается исключительно в применении к суперфосфатам (простым и двойным) и частично к сульфату аммония. Здесь имеется в виду свободная кислотность в удобрениях; в частности, в суперфосфатах эта кислотность обусловлена свободной фосфорной кислотой и очень редко серной, а в сульфате аммония—свободной серной кислотой. Свободные фосфорная и серная кислоты из суперфосфатов извлекаются ацетоном и определяются титрованием щелочью с индикаторами метилрот и фенолфталеин.

Свободная серная кислота в сульфате аммония легко определяется растворением определенной навески этого удобрения в воде при последующем титровании щелочью с индикатором метилоранж.

Свободная кислотность суперфосфатов является причиной их гигроскопичности, а в случае сернокислого аммония повышает его гигроскопичность, благодаря общеизвестному свойству свободных фосфорной и серной кислот жадно поглощать влагу из воздуха. Повышенное содержание влаги, как уже отмечалось ранее, понижает способность к рассеву как суперфосфатов, так и сульфата аммония, повышая в то же время способность их к слеживанию. Например, в одном из опытов ВИУАА сульфат аммония Чернореченского завода рассевался при малой норме высева неравномерно и прерывисто, причем 3 раза в течение часа забивал выпускное отверстие сеялки, хотя влажность его составляла всего 1,44%. Суперфосфат как наиболее влагоемкое удобрение может удовлетворительно рассеваться даже при влажности 18—20%, если он не содержит повышенного количества свободной кислотности.

Повышенная свободная кислотность является неблагоприятным свойством при перевозке и хранении удобрений; она ведет к разрушению транспортной аппаратуры и тары, разъеданию полов помещений для хранения, порче сеялок и затрудняет работу при смешивании и рассеве.

Свободную кислотность суперфосфатов стремятся устранить с помощью разных наполнителей (см. ниже).

6. *Специфические свойства удобрений.* Из специфических свойств удобрений, кроме содержания в них свободной кислотности и способности пылить (преципитат, белая костяная мука, цианамид кальция, излишне сухой суперфосфат), следует отметить способность некоторых удобрений к взрыву и к сильному разогреванию при смачивании, в результате чего может возникнуть пожар. Последние два свойства довольно редки и будут отмечены в примечании к отдельным удобрениям в сводной таблице о свойствах удобрений (см. табл. 6).

В таблице 6 приведены важнейшие свойства удобрений (кроме удельного веса и веса объема удобрений, данные о которых приведены в таблице 1), а именно:

1) цвет и внешний вид,
2) гигроскопичность,
3) рассеваемость,
4) слеживаемость,
5) средняя влажность,
6) особые свойства.

Кроме того, в таблице 6 указаны наиболее упрощенные приемы по распознаванию того или иного удобрения[1].

[1] Для распознавания удобрений используются, например, следующие простейшие реакции: 1) выделение аммиака при действии щелочи (или воды), 2) проба на хлор с азотнокислым серебром (образование осадка с AgCl), 3) проба на SO_4 с хлористым барием (образование осадка $BaSO_4$), 4) растворимая фосфорная кислота с $AgNO_3$ дает характерный желтого цвета осадок Ag_3PO_4. Подробнее о качественном определении удобрений см. М. Д. Бахулин—«Определение удобрений качественными реакциями» в Справочнике по удобрениям, изд. НИУ, 1933, стр. 798.

Таблица 6

Важнейшие свойства удобрений[1]

Удобрение	Цвет и внешний вид	Упрощенные приемы распознавания	Гигроскопичность	Рассеваемость	Слеживаемость	Средняя влажность (нормальная)	Особые свойства
1	2	3	4	5	6	7	8
Фосфоритная мука	Сухой, слегка пылящий, тонкий порошок, цвет серый, желтоватый, буроватый (иногда другой)	В отличие от томасова шлака, имеющего иногда серый цвет, не оставляет черного цвета на пальцах; pH в воде — 6,0—6,8	Не гигроскопична	Хорошая	Не слеживается	До 2%	При влажности выше 2% при хранении зимой может смерзнуться, давая плотные куски, не рассыпающиеся, пока они не размерзнут
Суперфосфат простой	Матовый, крупнозернистый, цвет от белого до светлосерого, слегка пылит, легко образует комья	Обычно имеет характерный запах кислоты; pH в воде кислое из метилоранжа; более точно pH равен от 2,5 до 3,0	Слабо гигроскопичен или не гигроскопичен при малом содержании свободной кислотности (3—6%) и гигроскопичен при повышенной (более 8%)	Хорошая при нормальной влажности	Слегка слеживается при нормальной влажности и значительно больше при повышенной	До 15 %	При повышенном содержании полуторных окислов водорастворимая и усвояемая P_2O_5 ретроградирует
Суперфосфат двойной и тройной	То же, что и простой	То же, что и простой; pH—от 2,5 до 3,5	То же	То же	То же	От 5 до 10%	—
Преципитат	Легкий пылящий тонкий порошок белого цвета или иногда слегка загрязненного	Быстрее оседает в воде, чем костяная мука; pH в воде—6,5—6,8	Не гигроскопичен	Хорошая	Не слеживается	6—15%, в зависимости от сушки	Значительно пылит при рассеве, и пыль разъедает слизистые оболочки; следует смешивать с другими удобрениями или землей

[1] Главная часть данных этой таблицы позаимствована из работы Н. Е. Пестова «Свойства удобрений», «Агрохимический справочник», изд. НИУ.

Костяная мука белая	То же	В отличие от преципитата, на тлеющем угле дает запах кости	Не гигроскопична	То же	То же	Не выше 10%	То же
Томасов шлак	Тяжелый порошок обычно темносерого цвета	В отличие от фосфоритной муки, при растирании между пальцами оставляет черный цвет; pH в воде—выше 8,0	То же	То же	То же	До 0,5%	То же
Сульфат аммония	Кристаллический порошок белого или сероватого цвета	При прибавлении к раствору щелочи (например, золы) дает запах аммиака при подогревании, кроме того, с $BaCl_2$ дает осадок $BaSO_4$	Слабо гигроскопичен	При нормальной влажности хорошая	Мало слеживается при нормальной влажности	До 2%	Имеет свободную серную кислоту в пределах 0,3—0,8%
Натронная селитра и чилийская селитра	Тяжелый, часто влажный, кристаллический, прозрачный, крупнозернистый продукт; цвет белый или буровато-желтоватый	Дает вспышку на угле; на вкус—едкая	Гигроскопична	При нормальной влажности рассевается хорошо, но во влажном состоянии способна расплываться	Слабо слеживается при тонком размоле и почти не слеживается при грубом	От 2 до 5%	В зависимости от условий хранения влажность может значительно повыситься
Кальциевая или норвежская селитра	Белый продукт, аморфного вида, состоит из отдельных комочков	На угле плавится, кипит, сгорает, давая белый налет	Сильно гигроскопична	Хорошо рассевается только в сухом состоянии и при сухой погоде	Сильно слеживается	До 5%, с кристаллизационной водой до 25%	Во влажной атмосфере растекается

Продолжение

Удобрение	Цвет и внешний вид	Упрощенные приемы распознавания	Гигроскопичность	Рассеваемость	Слеживаемость	Средняя влажность (нормальная)	Особые свойства
1	2	3	4	5	6	7	8
Азотнокислый аммоний	Белый кристаллический продукт, иногда с розоватым оттенком	Дает запах аммиака при прибавлении воды к раствору при нагревании; дает вспышки на угле	То же	То же	Слеживается	До 5%	Во влажной атмосфере мелкокристаллический, негранулированный быстро растекается; гранулированный в этих условиях еще не теряет рассеваемости; способен к взрыву при детонации
Хлористый аммоний	Мелкокристаллический белый или желтоватый порошок	На угле дает белый дым и запах аммиака и соляной кислоты; с раствором азотнокислого серебра дает белый творожистый осадок AgCl	Слабо гигроскопичен	Хорошо рассевается; во влажном состоянии плохо	Мало слеживается	До 3%	—
Лейна-селитра или монтан-селитра	Сероватый мелкокристаллический продукт	То же, что и для сульфата аммония и азотнокислого аммония	Гигроскопична	Хорошо рассевается только в сухом состоянии и при сухой погоде	Слеживается	До 7%	При сильной детонации способна к взрыву
Цианамид кальция	Темносерый, тонкий, легкий порошок	При смачивании дает запах ацетилена	Поглощает влагу, переводя ее в химически связанное состояние	Рассевается хорошо	Почти не слеживается; во влажном помещении образует куски	Отсутствие влаги	Не гранулированный и не покрытый маслами сильно пылит при рассеве, разъедая слизистые оболочки; необходимо работать в перчатках или рукавицах и защитных очках

Известково-аммиачная селитра	Зернистый продукт сероватого цвета	Проба та же, что и для азотнокислого аммония; в отличие от последнего растворима не полностью, имеет слабо щелочную реакцию	Сильно гигроскопична, но обладает повышенной влагоемкостью	Рассевается удовлетворительно	В гранулированном состоянии мало слеживается	До 5% и выше во влажном помещении	Способна к взрыву
Мочевина	Белый мелкокристаллический, иногда зернистый порошок	На угле легко плавится, дымит, пахнет аммиаком, сгорает	Гигроскопична при повышенной относительной влажности воздуха (выше 90%). Расплывается уже при малом содержании влаги	Рассевается только в сухом состоянии	Мало слеживается	До 2%	Обладает свойством растекаться при поглощении воды; нельзя смешивать с удобрениями, содержащими гигроскопическую и кристаллизационную воду, как, например, суперфосфат, гипс
Калийная селитра	Белый кристаллический порошок	—	Не гигроскопична	Хорошая	Не слеживается	До 1%	—
Хлористый калий	Белый мелкокристаллический порошок	Проба на хлор с азотнокислым серебром	Мало гигроскопичен	Хорошая в сухом состоянии, хуже — во влажном	Слеживается	До 3%	—
Сернокислый калий	Порошкообразный мелкокристаллический продукт сероватого цвета	Проба с хлористым барием	Не гигроскопичен	Хорошая	Почти не слеживается	До 3%	—

Продолжение

Удобрение	Цвет и внешний вид	Упрощенные приемы распознавания	Гигроскопичность	Рассеваемость	Слеживаемость	Средняя влажность (нормальная)	Особые свойства
1	2	3	4	5	6	7	8
30—40-процентные калийные соли	Сероватого цвета, порошкообразный мелкокристаллический продукт	То же, что и хлористый калий	Мало гигроскопичен	Хорошая	Мало слеживается	До 5%	—
Сильвинит	Кристаллический зернистый продукт розовато-бурого цвета с отдельными красными кристаллами	То же	Мало гигроскопичен	Хорошая	Слеживается при тонком размоле и не слеживается при крупном	До 3%	—
Карналлит	Расплывающийся на воздухе кристаллический продукт красного цвета	То же	Сильно гигроскопичен	Рассевается только в сухом состоянии	Сильно слеживается	До 3% с кристаллизационной водой	Во влажном воздухе расплывается
Аммофос	Порошок сероватого или белого цвета. В чистом виде кристаллический	В отличие от диаммофоса слабокислый	Не гигроскопичен	Хорошая	Не слеживается	До 2%	—
Диаммофос	То же	В отличие от аммофоса — нейтральный	Слегка гигроскопичен	Хорошая в сухом состоянии	Мало слеживается	До 2%	—
Аммонизированный суперфосфат	То же	Проба на аммиак	Не гигроскопичен	Хорошая	Не слеживается	До 10%	—

Поташ	Белый или сероватый кристаллический порошок	Проба на хлористый аммоний	Слабо гигроскопичен	Хорошая, но во влажном состоянии плохая	Несколько слеживается	До 3%	—
Нитрофоска	Мелкий кристаллический порошок (или гранулированный продукт)	Проба на аммиачный азот, фосфорную кислоту и хлор	Мало гигроскопичны в гранулированном состоянии	Удовлетворительна, но плохая при влажном состоянии	Несколько слеживается	До 5%	—
Известковая мука	Аморфный тонкий порошок от белого до сероватого цвета	Характерное шипение при прибавлении кислоты (выделение CO_2)	Не гигроскопична	Хорошая	В сухом состоянии не слеживается, во влажном (выше 2—3%) слегка слеживается	1—5%	—
Жженая известь в кусках	Цвет белый	Шипение (кипение) при добавлении воды	Поглощает влагу	Хорошая	Хранится в кусках	0	При поглощении влаги сильно разогревается; нельзя прикрывать соломой, мешками и т. п. во избежание воспламенения

СКЛАДЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

В системе снабжения сельского хозяйства минеральными удобрениями предусматривается строительство складов трех типов:

1) перевалочные склады, вместимостью на 3—5—10 тыс. тонн;
2) пристанционные склады, вместимостью на 500—1 000 т;
3) внутрихозяйственные склады, вместимостью меньше 500 т.

Практика строительства складов для хранения удобрений за границей выдвигает следующие важнейшие требования этого строительства.

Прежде всего рекомендуется использование в качестве строительного материала кирпича или бута с бетонной облицовкой; при этом очень важно покрывать стены помещения ежегодно сменяемой асфальтовой окраской, не поддающейся действию солей и кислот, или же обшивать стены досками. Многие удобрения, сохраняемые насыпью, соприкасаясь с кирпичной или каменной стеной или с таким же полом, могут их разъедать, а затронутая разъеданием кирпичная или каменная стена или бетонный пол будут быстро подвергаться дальнейшему разрушению из-за проникновения солей в глубь стены или пола.

Далее, рекомендуют строить помещение таким образом, чтобы в его длину мог свободно проехать грузовой автомобиль или большая телега. Для внутрихозяйственных складов емкостью меньше 300 т последнее условие необязательно, для складов же емкостью больше 300 т проезд грузовика создает удобства при загрузке и разгрузке помещения; этот проезд (в середине и с одной из продольных сторон склада) также может быть использован для смешивания удобрений или для размельчения слежавшихся.

Для хранения удобрений по одной или по обеим сторонам помещения устраивают лари, которые разделяются друг от друга каменной или деревянной перегородкой, в целях предупреждения смешивания удобрений. От прохода лари отделяются деревянными вынимающимися досками.

Помещение должно быть равномерно и хорошо освещено; более пригодным является верхнее освещение (а не боковое от окон в стенах), так как при верхнем освещении создается более равномерная температура во всем помещении.

Все окна и двери должны плотно закрываться, чтобы во влажную погоду устранить циркуляцию воздуха.

В разнообразных условиях СССР строительным материалом для складов для хранения удобрений нередко будет служить дерево. Деревянные стены складов должны быть хорошо проконопачены, а деревянные полы должны иметь хорошую пазовую притеску, чтобы устранить возможность просыпания удобрений через щели и тем самым устранить как соприкосновение их с землей, так и потерю удобрений. При соприкосновении удобрений с неутрамбованной землей может установиться капиллярное поднятие влаги из почвы, и тогда нижние слои многих удобрений будут слеживаться. Необходимо деревянный пол класть на достаточно толстые бревна, чтобы расстояние между настилом и землей было не менее 20—30 см; в этом случае устраняется возможность сообщения тука с землей.

В настоящее время многие колхозы и совхозы не имеют специально построенных помещений для хранения удобрений. Удобрения хранятся в случайных помещениях, увлажняясь и сверху и с боков и чаще всего снизу, так как складываются на земляной плохо утрамбованный пол или если и на деревянный, то со щелями. Естественно, что при таких условиях калийные удобрения превращаются в плотную монолитную массу; суперфосфат теряет свою рассеваемость; сульфат аммония также начинает слипаться; что касается аммиачной селитры и лейна-селитры, привозимых в таре, то они в таких случайных помещениях окончательно слипаются в сплошную массу. Необходимо привести в порядок помещение, где будут храниться удобрения, а именно: починить крышу, законопатить стены, припазовать доски пола, а если помещение с земляным полом, то его следует хорошо утрамбовать жирной глиной и положить под кучу удобрения соломенные маты. Небольшие затраты на все это полностью

компенсируются уменьшением затрат труда на подготовку и рассеву слежавшихся удобрений и уменьшением их потерь, неизбежных при небрежном хранении.

При хранении удобрений на складах или в специально оборудованных помещениях необходимо соблюдать следующие, общие для всех удобрений, правила.

1. В сухую, теплую погоду следует открывать днем все двери и окна, чтобы хорошо проветрить помещение.

2. В сырую, дождливую погоду помещение должно быть плотно закрыто, и только в случае крайней необходимости следует открывать двери с одной стороны.

3. В зимнее время или вообще при значительных колебаниях температуры следует также избегать одновременного открывания дверей с обеих сторон, так как в том случае, когда туковая масса имеет более низкую температуру, чем температура окружающего воздуха, на поверхности удобрений может происходить конденсация паров воды, поглощаемых гигроскопичными удобрениями.

Ряд удобрений не теряет своего удобрительного качества от пламени и высокой температуры; к таким удобрениям относятся: томасов шлак, термофосфат, цианамид кальция, фосфоритная мука и известковая мука (последняя даже выигрывает). Преципитат и суперфосфаты под влиянием высокой температуры теряют влагу, и фосфорнокислые соединения переходят в более нерастворимые соли кальция; иногда могут образоваться и пирофосфаты. Калийные удобрения мало страдают от огня, они лишь несколько спрессовываются, что вызывает добавочную работу по их раздроблению. От огня и высокой температуры страдают удобрения, содержащие аммиак, и удобрения, содержащие нитратный азот (натронная, калийная, норвежская и аммиачная селитры); на сильном жару может произойти взрыв, а на слабом—нитраты плавятся и превращаются в нитриты. Нитриты легко поглощают воду, спекаются и плохо распределяются по полю, а кроме того, удобрительная ценность нитритов несколько ниже, чем нитратов.

Если в нагретые нитратные удобрения попадут тлеющие угли, то разложение селитр сопровождается сильными взрывами в результате образования газообразных продуктов. Аммиачная селитра разлагается сильнее, чем другие селитры. Органические удобрения—роговая мука, кровяная мука, гуано и пр.—могут загораться от сильного огня. От огня страдает азотистое вещество органических удобрений. Костяная мука как источник P_2O_5 мало страдает от огня.

От воды больше всего страдают растворимые в ней удобрения. При порче удобрений от воды в подавляющем большинстве случаев приходится прибегать к их сушке с последующим размельчением слежавшихся удобрений.

ОТДЕЛЬНЫЕ СЛУЧАИ ХРАНЕНИЯ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ УДОБРЕНИЙ

Суперфосфат простой не должен поступать на склад для хранения при влажности выше 21%. В зависимости от содержания влаги высота куч при хранении суперфосфата равна от 1,5 до 2 м; большая высота куч допускается для суперфосфатов с нормальным содержанием влаги (не выше 15%) и в сухом помещении. Суперфосфат, сложенный в кучи при нормальном содержании влаги, в средне сухом помещении может лежать без перелопачивания 4—5 месяцев. Учитывая кислые свойства суперфосфатов, при работе с ними необходимо принимать меры предосторожности, направленные к тому, чтобы защитить от разъедания открытые части тела, особенно глаза, а также обувь и одежду.

Суперфосфат с содержанием влаги в 8—12% начинает пылить; едкие свойства пылящего суперфосфата делают обязательной защиту открытых частей тела.

Суперфосфаты нельзя хранить насыпью на цементных полах без настила из досок, так как цемент разъедается.

Смешанный с древесной золой или с тонко размолотым доломитом и другими наполнителями (см. ниже, стр. 638), простой суперфосфат может долго храниться, не подвергаясь слеживанию, в кучах до 3 м. Он по своим свойствам будет приближаться к аммонизированному суперфосфату (см. табл. 6).

Суперфосфаты двойной и тройной сохраняются несколько лучше простого суперфосфата. При нормальном содержании влаги (12—15%) их можно насыпать слоем в 2 м и выше. Если двойные или тройные суперфосфаты получены в мешковой таре, то их следует высыпать из мешков и мешки хорошо промыть.

Суперфосфаты аммонизированные хранятся значительно лучше, чем неаммонизированные; они могут быть насыпаны в кучи высотой от 2 до 3 м и храниться без перелопачивания в течение 4—5 месяцев.

Преципитат, полученный в мешковой таре, хранится в ней. Мешки можно складывать в высокие штабели, не опасаясь слеживания, лишь бы тара выдержала давление. При хранении насыпью можно доводить толщину слоя до 3 м. При работе с преципитатом вследствие его пылящих свойств необходимо защищать глаза, надевая специальные защитные очки.

Костяная мука белая может храниться даже на хорошо утрамбованной глиняной площадке. В остальном указания для костяной муки те же, что для преципитата.

Томасов шлак, термофосфат и фосфоритная мука могут храниться в кучах высотой до 3 м и выше. Для фосфоритной муки пол не имеет особенного значения; при хранении же томасова шлака и термофосфата на сыром полу могут образоваться плотные сплошные куски в нижней части кучи.

Фосфоритную муку можно хранить под навесом, защищая ее и от подтекания воды.

Сульфат аммония и хлористый аммоний, полученные в бумажных мешках в хорошем состоянии (не слишком влажные и не содержащие свободной кислотности), могут храниться в них до рассева. При хранении насыпью необходим деревянный пол или деревянный настил, так как цементный пол разъедается. Высота куч при хранении—от 2 до 3 м. Образующиеся в нижних слоях при высоких кучах комья легко разбиваются.

Натронная (натриевая) селитра обычно хранится насыпью. При высоких кучах, выше 2 м, она способна перекристаллизовываться в крупные кристаллы и давать комья. Хранить следует на деревянном настиле.

Цианамид кальция, полученный в таре, может в ней и сохраняться, необходимо лишь плотнее складывать мешки с удобрением, чтобы помешать свободной циркуляции воздуха, так как иначе во влажном воздухе в удобрении может образовываться $CaCO_3$; это ведет к разрыву тары, к увеличению веса удобрения, а следовательно, к понижению процентного содержания N и иногда к частичной потере азота.

При хранении россыпью цианамид кальция можно насыпать на деревянный и бетонный пол; высота куч может быть доведена до 3 м; заграничная практика рекомендует избегать длительного хранения цианамида кальция на внутрихозяйственных складах.

Лейна-селитра и *монтан-селитра* благодаря сильной гигроскопичности требуют при хранении особо сухого помещения. Могут складываться, в зависимости от преобладающей относительной влажности воздуха данной местности, в кучи высотой от 1,5 до 2 м. При хранении насыпью в помещении должен быть деревянный пол или настил из досок на бетонном или земляном полу. Полученные в бумажных мешках эти удобрения могут в них и храниться до момента использования.

Азотнокислый аммоний, норвежская селитра и *мочевина* хранятся только в той таре, в какой они получены. Первые два удобрения сильно гигроскопичны и во влажной атмосфере способны растекаться. В подавляющем большинстве случаев азотнокислый аммоний до поступления на склад слеживается в плотные массы, имеющие форму тары. Перед внесением его приходится измельчать.

Калийные соли хранятся россыпью; если они получены в мешковой таре, то освобождаются от последней и мешки моются, если же получены в специальных бумажных мешках (водо- и воздухонепроницаемых), то могут в них и храниться до рассева. В среднесухом и тем более сухом помещении сохраняются долго, не изменяя существенно своих свойств. Складывать удобрения следует на деревянных полах, а при бетонном поле—на настиле из досок, в кучах высотой от 2 до 3 м. Перемена температуры вызывает «потение» калийных солей в верхней части кучи, а следовательно, увеличивается содержание в них влаги.

Сильвинит хранится только россыпью, так как он перевозится без тары. При тонком размоле более чувствителен к влажности и к перемене температуры окружающего воздуха, чем 40% калийная соль; поэтому при хранении сильвинита следует избегать куч высотой более чем 2 м, чтобы избавиться от слеживания[1]. Так же, как и калийные соли, хранят на деревянном полу.

Известковую муку нормальной тонины размола при отсутствии в ней избыточной влаги (меньше 2%) можно хранить в непокрытых кучах, высотой до 2—2,5 м, даже на открытом месте, например, на краю подлежащего известкованию поля. Прикрытие нужно лишь для защиты от ветров. Дождь и снег смачивают кучу лишь с поверхности на 2—3 см, причем эта влага легко теряется в сухую погоду.

Если известковая мука, складываемая в кучи, содержит излишнее количество влаги (выше 2—3%), то она подвергается слеживанию, образуя довольно плотные комья, особенно при высоких кучах (выше 2—2,5 м).

Жженая (кусковая) известь редко хранится в закрытых помещениях. Обычно кусковую жженую известь гасят на открытом воздухе, лучше всего на краю поля, которое предстоит известковать. Гашение кусковой извести производят и без добавления воды, складывая ее в кучи.

Кучи могут быть произвольной длины, с шириной основания в 2—2,5 м и при высоте до 1,5—1,75 м. Кучи необходимо прикрывать со всех сторон землей слоем в 25—35 см и следить за тем, чтобы образующиеся сверху и с боков, во время хранения, трещины в слое земли засыпались, иначе будет происходить переход CaO в углекислый кальций.

СМЕШИВАНИЕ УДОБРЕНИЙ

В целях экономии времени по рассеву и заделке удобрений в тех случаях, когда в поле вносится два или три тука, необходимо производить их смешивание.

К смешиванию удобрений нередко приходится прибегать и по другим причинам. Так, например, в целях устранения неудобства внесения сильно пылящих удобрений (цианамид кальция, преципитат и костяная мука белая) их смешивают с удобрениями, содержащими влагу (преципитат и костяную муку смешивают с сильвинитом и калийными солями), или с удобрениями, совершенно не пылящими и притом с повышенным удельным весом (цианамид с томасовым шлаком и сильвинитом или калийными солями).

Иногда для возможности рассева сильно отсыревшего и мажущегося удобрения приходится прибегать к смешиванию его с сухими удобрениями, поглощающими влагу, чтобы сделать смесь более рассыпчатой; например, добавляют размолотый жмых к смеси суперфосфата с сульфатом аммония.

Иногда для более равномерного распределения по поверхности почвы приходится прибегать к смешиванию высокопроцентных удобрений (например, хлористый калий или мочевина) с другими удобрениями или с балластными веществами.

Однако надо иметь в виду, что при смешении удобрений могут иметь место и нежелательные явления. Так, в результате химического взаимодействия между удобрениями:

[1] При грубом размоле сильвинит не слеживается в кучах высотой даже более 3 м.

1) может произойти потеря питательного вещества;

2) могут ухудшаться удобрительные достоинства смеси по сравнению с удобрительным достоинством взятых удобрений;

3) в результате химического взаимодействия могут образоваться соединения, обладающие неблагоприятными физическими свойствами, например, повышенной гигроскопичностью или повышенной способностью к цементированию.

Сильная гигроскопичность (при определенных условиях) отдельных удобрений заранее исключает возможность применять их в качестве компонента смеси с некоторыми удобрениями.

Вообще химические и физические свойства удобрений зачастую ограничивают возможность производить их смешивание друг с другом. Ниже остановимся на ряде моментов, которые надо учитывать при оценке возможности приготовления смесей из отдельных удобрений.

Возможность *потери питательных веществ* возникает при смешивании удобрений, содержащих аммиак (сульфат аммония, аммиачная селитра), с щелочными удобрениями (томасшлак, зола, жженая известь, $CaCO_3$). При смешивании таких удобрений частично образуется свободный аммиак или углекислый аммоний, легко распадающийся на газообразные аммиак и CO_2, что ведет к потере азота.

Однако надо иметь в виду, что потери эти не во всех случаях велики и иногда с частичной потерей аммиака мирятся, например, при производстве кальциево-аммиачной селитры.

При смешивании хлористого аммония с известью образующийся хлористый кальций связывает и удерживает аммиак (но вместе с тем благодаря образованию $CaCl_2$ несколько повышается гигроскопичность смеси, и поэтому она не должна лежать больше $1^1/_2$ суток).

Целесообразность смешивания аммиачных удобрений с известью, несмотря на возможность небольших потерь азота, мотивируется стремлением или улучшить физические свойства удобрения, или же (одновременно) предотвратить возможное подкисление почвы при применении физиологически кислых удобрений. Поэтому в последнее время рекомендуют смешивать сульфат аммония или аммиачную селитру с углекислым кальцием, или, как говорят, производят *известкование туки*. Чтобы устранить подкисление почв от сульфата аммония, необходимо на 1 ц этого удобрения прибавлять 1,2 ц $CaCO_3$. Надо заметить, что смешивание *сухого* сульфата аммония с *сухим* размолотым $CaCO_3$ не ведет к потере азота.

В целях уменьшения слеживаемости сильно гигроскопичной аммиачной селитры и улучшения ее рассеваемости готовят наводским путем кальциево-аммиачную селитру, мирясь с некоторой (небольшой) потерей азота; зато при этом достигается повышенная влагоемкость туки, сохраняющего свою сыпучесть тогда, когда аммиачная селитра слеживается (например, при 5% влаги); кроме того, примесь $CaCO_3$ нейтрализует образующуюся в почве HNO_3.

Далее, потери азота могут иметь место и при смешивании излишне кислого суперфосфата с натронной или норвежской селитрой, а также и с аммиачной селитрой, так как в этом случае выделяются газообразные окислы азота. Но это не значит, что смешивание суперфосфата с нитратными удобрениями вообще исключается. Если суперфосфат не имеет повышенной кислотности или если эта кислотность нейтрализована путем введения соответствующих добавок (фосфоритной муки, извести и др.), то оказывается вполне возможным производить смешивание суперфосфата с нитратными удобрениями.

В качестве примера ухудшения удобрительного достоинства при смешивании удобрений можно указать на смеси суперфосфата со значительными количествами удобрений, содержащих кальций и магний в виде окисей или карбонатов, например, с известковой мукой или с цианамидом кальция, так как в

этом случае водорастворимая фосфорная кислота будет переходить в трудно растворимые соли[1].

Это обстоятельство, конечно, надо иметь в виду, но в то же время и здесь нельзя давать одного общего правила и совершенно исключать возможность смешивания таких удобрений. Наоборот, практика показывает, что в ряде случаев смешивание суперфосфата с тем или другим количеством удобрений, нейтрализующих кислотность суперфосфата, может иметь весьма положительное значение. Главным образом при этом имеется в виду улучшение физических свойств суперфосфата. Кроме того, нейтрализация кислотности суперфосфата позволяет сильно расширить возможность его заблаговременного смешивания с другими удобрениями (сульфатом аммония, нитратом аммония).

Ввиду того значения, которое приобретает прием нейтрализации суперфосфатов путем смешения с некоторыми добавками, остановимся здесь несколько подробнее на этом вопросе.

В основе всех приемов улучшения физических свойств суперфосфатов лежит устранение свободной кислотности при условии перевода части водорастворимой P_2O_5 до цитратно- или лимоннорастворимой P_2O_5.

Устранение свободной кислотности суперфосфата достигается добавлением к нему:

1) тонко размолотого известняка, доломита или магнезии,
2) костяной и фосфоритной муки,
3) легко разлагаемых кислотами силикатов магния,
4) золы,
5) доменных шлаков, если они бедны R_2O_3.

Все эти приемы вполне осуществимы при наличии небольших туносмесительных установок. При отсутствии в настоящее время таковых все эти приемы в случае плохих физических свойств суперфосфатов можно использовать в самих совхозах или колхозах, применяя обычное перелопачивание, как это делается при смешении удобрений друг с другом.

На английском рынке в течение столетия имеется так называемый «основной суперфосфат», представляющий собой смесь суперфосфата с тонко размолотым известняком до нейтральной или даже до слабощелочной реакции. Этот суперфосфат приближается по своим свойствам к томасову шлаку и применяется охотнее, чем обычный суперфосфат, на бедных кальцием глинистых почвах, а также на песчаных и заболоченных почвах. Вследствие хороших физических свойств «основного суперфосфата» он значительно лучше рассеивается, чем суперфосфат нормальный в условиях влажного английского климата. За последние годы в ряде других стран готовят смеси суперфосфатов с известью. В США для экспорта в Новую Зеландию и Австралию добавляют к суперфосфатам немного извести.

Добавление к суперфосфату доломита делает в короткий срок смесь сухой и тонко измельченной, так как при образовании $MgHPO_4$ последний кристаллизуется с 7 частями воды, а в случае добавления известняка образующийся $CaHPO_4$ кристаллизуется только с $2H_2O$, следовательно, при добавлении доломита вся или значительная часть гигроскопической воды переходит в кристаллизационную. Кроме того, ди- и тримагний фосфат более растворимы в воде, чем соответствующие фосфорнокислые соли кальция.

Добавление к суперфосфатам фосфоритной муки впервые нашло практическое применение в США. Костная мука добавлялась к готовому суперфосфату на Воскресенском химкомбинате в 1933 г. В опытах Баранова и Строгановой добавление (в размере 10% от веса суперфосфата) фосфоритной и костной муки вело к заметному снижению гигроскопической влажности смеси; при этом в том и другом случае увеличивалось количество усвояемой P_2O_5 и вместе с тем резко улучшались физические свойства смеси, а следовательно, резко улучшалась и рассеваемость. Кроме тонко размолотого доломита или сильно доломитизированного известняка, удовлетворительным материалом для улучшения физических свойств плохо рассеваемого, влажного, скомковавшегося суперфосфата является древесная зола, но только не торфяная и не угольная. Зола смешанных березовых и сосновых дров содержит в среднем около 10% K_2O, 34% CaO, 7,5% MgO и 4,5% P_2O_5. Если принять, что фосфорная кислота в золе связана по преимуществу с Ca в форме $Ca_3(PO_4)_2$, тогда во взятой для примера золе смешанных дров содержится в сумме (на 100 кг) 1,6 кг-экв. активных оснований в форме углекислых Ca, K и Mg и 0,48 кг-экв. Ca, связанного в $Ca_3(PO_4)_2$. При содержании в суперфосфатах до 8—10% H_3PO_4 для переведения ее в формы, связанные с основаниями,

[1] Вместо $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ образуются $Ca_3(PO_4)_2$, а вместо $Fe(H_2PO_4)_3$ образуется $FePO_4$ и т. д.

среди которых будут водорастворимые KH_2PO_4 (не гигроскопичен) и K_2HPO_4 (гигроскопичен), на каждый центнер надо добавить 10—11 кг золы, освобожденной от крупных частичек угля. При таком количестве золы содержащийся в ней $Ca_3(PO_4)_2$ может перейти в $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$. Зола смешанных дров и особенно зола ржаной соломы содержит много SiO_2 (10—18%); присутствие SiO_2 будет способствовать потере гигроскопической воды и будет повышать эффективность P_2O_5 суперфосфата.

Повышение эффективности улучшенного (по физическим свойствам) простого суперфосфата вышеописанными приемами объясняется, во-первых, улучшением его рассеваемости, в результате чего достигается более равномерное распределение удобрения по пашне, и, во-вторых, на почвах, имеющих кислую реакцию или вообще не насыщенных основаниями, может несколько ослабляться связывание фосфорной кислоты железом и алюминием в малоусвояемые для растений формы.

При применении описанных выше приемов улучшения физических свойств суперфосфата повышенная эффективность содержащейся в нем P_2O_5 будет иметь место при использовании его как в качестве основного удобрения, так и при внесении в рядки при посеве и при подкормках. Это в первую очередь относится к таким почвам, как подзолистые, затем заболоченные и кислые торфяные почвы; повышенная эффективность также может иметь место на деградированных и сильно выщелоченных черноземах и других почвах.

В последнее время проведено значительное число опытов с внесением суперфосфата в смеси с различным количеством фосфоритной муки. В ряде случаев при удобрении почв, обладающих повышенной кислотностью, получены хорошие результаты при добавлении к суперфосфату большого количества фосфоритной муки (до 30% от веса суперфосфата или даже выше[1]). Однако в целях улучшения физических свойств суперфосфата достаточно добавлять к нему меньшее количество фосфоритной муки, причем в районах почв, не обладающих повышенной кислотностью, важно установить, какого минимального количества фосфоритной муки достаточно для улучшения физических свойств удобрения (например, 10% или меньше), так как смешивание с повышенными дозами фосфоритной муки (или других нейтрализующих добавок) может вести к снижению усвояемости P_2O_5 суперфосфата.

Примером удобрений, смешивание которых затруднено *из-за образования сильногигроскопичных соединений*, является смесь кальциевой селитры с удобрениями, богатыми хлором; образующийся хлористый кальций еще более гигроскопичен, чем нитрат кальция. Кроме того, ограничивается возможность смешивания удобрений с основной известковой частью (например, томасов шлак, цианамид кальция) с удобрениями, содержащими хлористый калий или магний (например, сильвинит, карналлит, каинит), так как образующаяся частично основная хлорокись кальция или магния дает твердые, как цемент, образования, которые не поддаются дроблению и размельчению при смешивании. Правда, следует отметить, что указанное ухудшение качества смеси наступает обычно спустя 36 часов после смешивания, так что если смесь использовать в течение 24—36 часов после ее приготовления, то вредное влияние химических реакций будет ослаблено.

Затвердевание смеси удобрений наблюдается также при смешивании суперфосфата с сульфатом аммония (см. выше, стр. 618); поэтому обычно рекомендуют смешивать эти удобрения незадолго до рассева (а не заблаговременно). Если же кислотность суперфосфата нейтрализована, то затвердения смеси его с сульфатом аммония может и не произойти даже при заблаговременном смешении.

Сильная гигроскопичность азотнокислого аммония и способность мочевины поглощать гигроскопическую и кристаллизационную воду других удобрений делают невозможным или сильно ограничивают возможность смешивания этих

[1] Например, при удобрении льна на сильнокислых почвах.

удобрений с целым рядом других удобрений; приготовленная смесь способна быстро растекаться, например, смесь мочевины или азотнокислого аммония с суперфосфатом через несколько часов настолько сыреет, что получается мажущаяся масса. Но устранив повышенную кислотность и влажность суперфосфата, можно с успехом смешивать его с аммиачной селитрой, как это доказала практика работы тукосмесительных заводов.

Зная свойства удобрений, рассмотренные в общем курсе и частично затронутые в этой главе, можно вскрыть и устранить причины невозможности или ограниченной возможности приготовления той или иной смеси из отдельных удобрений.

В настоящее время в районах интенсивного потребления минеральных удобрений (Средняя Азия, Закавказье) построены специальные тукосмесительные заводы с высокой мощностью (300—350 т смеси в одну смену). Размольно-смесительные отделения действующих тукосмесительных заводов имеют аппаратуру для измельчения слежавшейся аммиачной селитры и хлопкового жмыха, а также мощные смесители и пр.

К настоящему времени заводы освоили изготовление следующих видов тукосмесей:

I. Сульфат аммония+суперфосфат простой+15% жмыха; соотношения между N и P_2O_5 равны: 1 : 1; 1 : 2; 2 : 1; 1 : 1,5.

II. Суперфосфат простой+сульфат аммония+10% костной муки.

III. Аммиачная селитра+преципитат, при соотношении $N : P_2O_5 = 1 : 1$.

IV. Аммиачная селитра+простой суперфосфат+преципитат при соотношениях между N и P_2O_5 равных 1 : 1; 1 : 2 и 2 : 1. Все заводские тукосмеси имеют значительно лучшие физические свойства и рассеваемость, чем отдельные составляющие их удобрения (аммиачная селитра, суперфосфат).

Повышенная свободная кислотность простых суперфосфатов служила препятствием для изготовления на тукосмесительных заводах смеси их с сульфатом аммония, не говоря уже о гигроскопичном нитрате аммония. Устранение свободной кислотности суперфосфата позволяет готовить смесь их с сульфатом аммония без схватывания и затвердевания смеси, а с нитратом аммония—без потерь азота; при этом достигается хорошая рассыпчатость. Длительное хранение в таре и в кучах тукосмесей из аммиачной селитры, суперфосфата с добавкой костной муки или преципитата, а также известковой муки и фосфоритной муки не сопровождалось увлажнением и ухудшением физических свойств смесей.

Непосредственно в совхозах и колхозах должна найти применение небольшая тукодробительная и смесительная установка, включающая дробилку, сита, весы и смеситель[1].

---

[1] В качестве дополнительной литературы по вопросам хранения и смешивания удобрений укажем на следующие работы: 1) С. И. Вольфкович и Р. Е. Ремен, «Труды НИУ», вып. 46, 1927. 2) С. И. Вольфкович и Л. В. Владимиров, «Труды НИУ», вып. 55, 1929 («Влажность и гигроскопичность суперфосфата» и «К вопросу о свободной кислотности суперфосфатов»). 3) O. Nolte, Хранение и смешивание искусственных удобрений. 4) A. Nostitz u. I. Weigert. Die kunstlichen Düngemittel. Stuttgart, 1928. 5) Крез, Уайт и Брехэм, Как предупредить слеживание удобрений. «Производство удобрений за границей», сборник второй, 1932 г., Научно-техническое издательство, Москва. 6) Н. Е. Пестов, Справочник по удобрениям, 1933, стр. 408—416. 7) Золотов, Справочник по удобрениям, 1933, стр. 439. 8) Производство удобрений за границей. Сборники статей № 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, изд. НИУ и Госхимиздата, 1933 и 1934. 9) H. Karren, «Landw. Jahrb.», B. 80, H. 2, S. 177. 10) Минеральные удобрения, III, Физико-химия удобрений, «Труды ВИУАА», вып. 10, 1935. 11) Д. В. Друинина. О приемах улучшения физических свойств суперфосфата. «Свекловичное полеводство», № 10, 1936 г. 12) Минеральные удобрения, III, Физико-химия удобрений, сборник 2, «Труды ВИУАА», 1936 г. 13) Н. Д. Смирнов. «Журнал химической промышленности», 1940 г., № 1, стр. 19. 14) Материалы комиссии секции механизации по внесению удобрений при ВАСХНИЛ, III, 1937 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие к третьему изданию 3
Предисловие ко второму изданию 5
Предисловие к первому изданию 6
Введение. Задачи агрохимии и роль минеральных удобрений в деле поднятия урожаев на Западе и в СССР 9

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ (ОБЩАЯ)

Питание растений 30

Развитие взглядов на питание растений 30
Взгляды Либиха на питание растений 37
Исследования Вигмана и Польсторфа, Кнопа, Сакса и других. Метод искусственных культур 42
Об источниках азота растений. Работы Буссенго и Гельригеля 47
Роль отдельных элементов 56
Азот 57
Сера 61
Фосфор 62
Калий 64
Кальций 68
Магний 71
Железо 72
Микроэлементы 73
Роль кремния, хлора и натрия 76
Поступление вещества в растение из окружающей среды 78
Реакция среды и ее влияние на растения 83
О физиологической реакции солей 88
О питании растений аммиачным и нитратным азотом 91
Питательные смеси для выращивания растений в искусственной среде 98
О неодинаковой способности разных растений усваивать питательные вещества из трудно растворимых соединений 103

Свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений 109

Поглотительная способность почв 112
Обменное поглощение катионов 117
О происхождении и природе поглощающего комплекса 128
Химическое поглощение. Поглощение анионов 136
Роль молекулярной адсорбции (физического поглощения по Гедройцу) при взаимодействии почвы с растворами солей 139
Значение поглотительной способности почвы для питания растений и ее влияние на действие удобрений 142
Зависимость реакции и других свойств почвы от состава поглощающего комплекса 145
Обменная кислотность почвы 145
Гидролитическая кислотность 151
Степень насыщенности почв основаниями 155
Буферная способность почв 157
Состав поглощенных катионов у разных почв и его значение 160
Органическое вещество почвы 163
Минерализация азотистых соединений в почве 176

Вынос питательных веществ из почвы с урожаем и возмещение его при помощи удобрений 182

О балансе азота, фосфора и калия в земледелии СССР 190

ЧАСТЬ ВТОРАЯ (СПЕЦИАЛЬНАЯ)

Азотистые удобрения 197

Синтетический аммиак 201
Получение азотной кислоты окислением аммиака 205
Нитратные удобрения 207
Нитрат натрия (натровая селитра $NaNO_3$) 207
Нитрат кальция (кальциевая—прежде «норвежская» селитра — $Ca(NO_3)_2$) 215
Нитрат калия (калийная селитра KNO_3) 218
Аммиачные удобрения 218
Сульфат аммония (сернокислый аммоний $(NH_4)_2SO_4$) 219
Хлористый аммоний (NH_4Cl) 228
Аммиачно-нитратные удобрения 229
Нитрат аммония (аммиачная селитра NH_4NO_3) 230
Сульфат-нитрат аммония [смесь NH_4NO_3 и $(NH_4)_2SO_4$ — «лейна-селитра» или «монтан-селитра»] 232
Синтетическая мочевина [$CO(NH_2)_2$] 233
Цианамид (кальциевое производное — $CaCN_2$) 234
Мировая азотная промышленность и пути возможного развития азотной промышленности в СССР 240
Богатые азотом отбросы органического происхождения 243
Применение азотистых удобрений и их действие на разные растения 249
Непосредственное использование азота воздуха на удобряемом поле 265
Зеленое удобрение 265
Бактериальные удобрения 274

Фосфорнокислые удобрения 281

Фосфориты 287
Хибинские апатиты 294
Производство суперфосфата 297
Двойной суперфосфат и преципитат 302
Томасов шлак 307
Термическая переработка фосфатов 312
Костяная мука 313
О сравнительном значении различных фосфатов, доставляемых промышленностью, и об условиях применения фосфоритной муки 317
Применение фосфатов и их действие на растения 336
О дозах, сроках и способах внесения фосфатов 340

Калийные удобрения 344

Калийные соли 351
Калийные соли СССР 352
Переработка калийных солей 356
Применение калийных солей и их действие на разные растения 357
Нефелин и другие калийные силикаты как калийное удобрение 367
Зола как калийно-фосфатно-известковое удобрение 369

Смешанные удобрения 373

Известь 385

Изменения, вызываемые в почве известкованием 389
Признаки почв, бедных известью и богатых ею. Определение потребности в известковании 395
О дозах извести 402
Виды известковых удобрений 411
О внесении и заделке известковых удобрений 417

О применении в качестве удобрений гипса, серы и хлористого натрия 419

Гипс 419
Внесение серы в качестве удобрения 425
Хлористый натрий 427

Удобрения, содержащие бор, марганец и медь 429

Полные удобрения органического происхождения 434

Навоз 434
Состав навоза 436
Размеры накопления навоза 440
Изменения в составе навоза 444

Различные способы хранения навоза 449
Вывозка навоза и заделка 459
Об оценке удобрительного действия навоза 462
Применение навоза и его действие на разных почвах 480
Навозная жижа 496
Приготовление искусственного навоза из соломы 492
Применение неперепревшей соломы в качестве удобрения 498
Торф 499
Об использовании торфа для приготовления навоза 499
Торфяной компост (искусственный навоз из торфа): разные типы компостирования 506
Непосредственное применение торфа на удобрение 508
Смешанный компост как способ использования различных отбросов хозяйства . . 510
Фекальные удобрения 511

О применении удобрений в специализированных севооборотах (доц. *В. М. Клечковский*) 518
Значение навоза (и других органических удобрений) как основного элемента системы удобрения 520
Система удобрения и севооборот 523
Почвенные условия и система применения удобрений 526
О дозах, сроках и способах внесения удобрений в связи с агротехникой . . . 529
О дозах удобрений 529
О сроках и способах внесения удобрений 533
Применение удобрений под некоторые (главнейшие) технические культуры и примеры размещения удобрений в севооборотах различного направления 540
Зерново-свекловичные севообороты (основных районов свеклосеяния) . . . 541
Хлопково-люцерновые севообороты (в районах поливного хлопководства) . . 557
Севообороты со льном (в подзолистой зоне) 574

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Полевые опыты с удобрениями 585
О лабораторных методах определения потребности почв в удобрении . . 604
Вегетационный метод и его основная роль в агрохимическом исследовании . . . 609

ПРИЛОЖЕНИЕ

Хранение и смешивание удобрений (проф. *Л. В. Дружинин*) 617
Склады для хранения удобрений 634
Отдельные случаи хранения наиболее распространенных удобрений 635
Смешивание удобрений 637

При пользовании книгой необходимо внести следующие поправки:

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	Примечание
33	4-я строка 3-я графа (Селитра) в таблице	I	II	Опечатка имеется только в части тиража
44	3-я сверху	проход	подход	

Примечание к стр. 288

О химической теории генезиса фосфоритных месторождений (осаждение из морской воды при наличии определенного комплекса океанографических условий) см.—А. В. Казаков, Труды НИУИФ, вып. 145.

Акад. Д. Н. Прянишников. Агрохимия. Сельхозгиз. 1940 г. Изд. 23 ГУ. СХГ 7078.
Редактор *И. Сворчов*. Техред *Т. Соколова*. Корректоры *А. Шесина* и *Ю. Бегичев*.
Выпускающий *П. Хомутов*.

Сдано в набор 28/IX 1940 г. Подписано к печати 24/XII 1940 г. Формат бумаги 70×108¹/₁₆. Объем 40¹/₄ печ. л. 75,93 уч.-изд. л. Тираж 20 000 экз. А 32461. Цена книги 18 р. 75 к. Переплет 2 р.

16-я типография треста «Полиграфкнига». Москва, Трехпрудный, 9. Заказ 1743.