63.59
П.859а
30143

...ебники и учебные пособия
для сельскохозяйственных вузов

Акад. Д. Н. Прянишников

АГРОХИМИЯ

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВУЗОВ

1955
Уч
631.8
П 85

АКАД. Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ

АГРОХИМИЯ

ОБЩИЙ КУРС

УЧЕБНИК
ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКИХ ВУЗОВ

К.
50.116.
БИБЛИОТЕКА
63:54
Шифр П859 7.
Инв. №501431
АКАДЕМИИ

СЕЛЬХОЗГИЗ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА ★ 1934 ★ ЛЕНИНГРАД

1939. 2

Проверено 1957 г.

Книга акад. Д. Н. Прянишникова содержит следующие разделы: 1. Роль минеральных удобрений в деле поднятия урожаев. 2. Корневое питание растений. 3. Почва как посредник между растением и удобрением. 4. Азотистые удобрения. 5. Фосфорнокислые удобрения. 6. Калийные удобрения. 7. Полные удобрения. 8. Побочно-действующие удобрения. 9. Постановка опытов с удобрениями.

Приложение. Хранение удобрений (составлено Д. В. Дружининым).

Книга написана по программе с.-х. вузов.

Проверено 1959 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

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 я 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 1,5 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 Хибиногорске, который в состоянии перерабатывать 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 рабо-

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

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

тают азотно-туковые комбинаты в Березниках, Бобриках и Горловке и имеются все данные для дальнейшего развития азотной промышленности вновь с крупными коксовальными установками (Магнитострой, 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.

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 внести 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 оказать 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

[1] См. цифры ниже (стр. 9 и 10).

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 по 1913 и 1923—1925 гг.) автору удавалось проводить в учебных планах секцию агрохимии [1], 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 сельскохозяйственной школы.

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 [2].

В вузах же только с 1928 г. под влиянием ряда шагов со стороны Комитета по химизации, наконец были созданы самостоятельные кафедры, 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 удовлетворять интересам широких агрономических кругов к во-

[1] 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.

[2] Автору пришлось заведывать этим отделом в период с 1919 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.

просам 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.

Петровско-Разумовское, январь 1934.

ВВЕДЕНИЕ

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

Задачей агрохимии является *изучение круговорота веществ в земледелии и выявление 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. Рациональное же применение удобрений возможно только при очень глубокой увязке этого рода мероприятий с химией почвы и физиологией растений. Поэтому изучение взаимоотношений между растением, почвой и удобрениями всегда являлось главной задачей агрохимиков как в период заложения основ современной агрохимии Либихом и Буссенго, так и впоследствии, причем именно агрохимиками были установлены основные законы минерального питания растений, так как физиология растений выделилась в самостоятельную отрасль знания позднее, чем агрохимия, и еще позднее появились отдельные кафедры почвоведения. Но выделение этих отраслей знания не заменяет работы агрохимика, ибо только он в интересах производства занимается синтезом данных по трем названным взаимодействующим факторам (см. прилагаемую схему — рис. 1). Когда по любой из трех координат таких данных для синтеза нехватает, 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.

Приложение агрохимических знаний играло наибольшую роль в деле поднятия урожаев в Западной Европе за последнее полстолетие.

По определению немецких специалистов *50% этого поднятия должно быть отнесено за счет применения минеральных удобрений, 30% — за счет улучшения посевного материала и 20% — за счет улучшения обработки.*

Первые шаги в процессе поднятия урожаев на Западе сделаны были на грани XVIII и XIX вв. благодаря переходу от трехполья к плодосмену. Именно введение клевера позволило повысить количество азота в почве (прямо и через навоз), а введение пропашных культур улучшило обработку и облегчило борьбу с сором; но в то

время как до применения минеральных удобрений нужно было больше 100 лет, чтобы поднять урожай на 7 ц (с 7 до 14 ц). — после введения минеральных удобрений в Германии за 25 лет был достигнут больший подъем, чем за целое столетие до этого: 1770 г. — 7 ц; 1840 г. — 10 ц; 1885—1890 гг. — 14 ц; 1910—1915 гг. — 22 ц.

В Голландии средние урожаи поднялись с 18 ц в 80-х годах до 28 ц в послевоенные годы; подобное же ускорение в поднятии урожаев наблюдалось за означенный период и в других передовых странах Европы, перешедших к массовому применению удобрений (Бельгия, Дания).

Если возьмем изменение урожайных данных не во времени, а сопоставим пространственное их распределение с размерами применения минеральных удобрений, то получим более ясную картину зависимости урожайности от степени химизации земледелия (см. табл. на стр. 9).

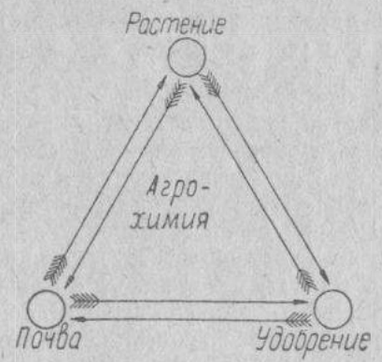


Рис. 1.

Появление дешевых и неограниченных источников удобрений позволило Западу не только существенно поднять урожай, но и расширить посевную площадь. Это произошло прежде всего за счет паровых полей [1], которые стали ненужными как слишком экстенсивный 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 чрезвычайно высоких доз минеральных удобрений .

В итоге валовой сбор зерна в Германии за 25 лет, предшествовавших войне, возрос на 40%; валовой сбор картофеля — на 55%; население же возросло лишь на 30%.

Кроме земледелия положено уже начало применению минеральных 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 растет: в настоящее время общее их потребление на земном шаре достигает 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

[1] В конце XVIII столетия 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).

Страны	Урожай (в центнерах на 1 га)	Азот, фосфор и калий (кг на 1 га)	Минерал.н. удобрения (в центнерах на 1 га)	Го же в сумме для всей страны (в млн. т)
Голландия	28,1	108	6,5	1,3
Бельгия	25,9	55	3,3	0,6
Германия	21,4	49	3,0	8,2
Япония	17,1	28	1,7	1,2
Франция	14,5	18	1,1	3,4
Соединенные штаты	9,3	5	0,3	5,8
Довоенная Россия	7,0	1	0,06	0,6

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 солей, 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 стран не могло бы стать тем, что оно есть*. Отнимите минеральные удобрения, — и урожаи упадут, как они упали в Германии с первого же года войны, когда химическая промышленность стала готовить вместо удобрений снаряды, а на четвертом году войны они вернулись к уровню, который был 75 лет назад. Однако не следует забывать и обратной зависимости: *без увязки с нуждами земледелия химическая промышленность также не могла бы достигнуть современных размеров*. Так, германская калийная промышленность, достигшая колоссального производства калийных солей — в 12 млн. т в год, 93 % этого количества сбывает в виде удобрений, и только 6—7 % продукции берет химическая промышленность. 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

[1] Кроме навоза.

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 в 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. Поэтому задачи пятилетнего плана в области химизации являются грандиозными. Валовое количество применяемых удобрений должно в конце второй пятилетки сравняться с тем, какое применяется теперь в Германии, стоящей впереди всех стран по абсолютной цифре.

В числе главных дефектов земледелия, унаследованных нами от прошлого и подлежащих возможно быстрому устранению, на первом месте стоит *низкий уровень урожаев*, которые в 4 раза ниже урожаев Голландии и Дании, в 3 раза ниже против Германии, в $2^1/_2$ раза ниже против Японии и в 2 раза — против Франции, сильно отстающей от своих соседей с севера (см. вышеприведенную таблицу).

Если низкий уровень наших урожаев является 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 (1903—1913 гг.)

Экспортеры		Импортеры	
Канада	19 ц	Дания	7 ц
Соединенные штаты	10,3 »	Швеция	5 »
Аргентина	10 »	Германия	4,5 »

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 отличаются от наших, и в США, где они также невысоки (только в $1^1/_2$ раза выше наших и вдвое слишком ниже, чем в Германии), 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: *низкая посевная площадь на душу сельского населения*, а именно 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 лежит конечно не в недостатке площади вообще, — земли у нас много, а в чрезвычайно малой распаханности нашей площади. 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 даже в европейской части Союза засевается только 25 % всей площади, причем в северных районах эта доля опускается до 12—15 %, а 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 после хорошей заправки минеральными удобрениями.

Вследствие того, что обширная лесная полоса у нас оставалась до сих пор чрезвычайно мало закультивированной, общий процент посевной площади составляет всего лишь 6 % от всей площади страны [1]. Поэтому следующей задачей (после поднятия урожайности) перед нами будет стоять *расширение посевной площади*, чему начало кладется [illegible] — превратить потребляющую полосу в производящую. Последняя задача (поднятие урожаев

сельского населения, то нам оставаться на довоенной норме 0,9 га на душу конечно нельзя, а возможности расширения посевной площади в лесной полосе (с помощью минеральных удобрений) у нас громадны. Если в будущем кроме поднятия урожаев посевная площадь в Союзе поднимется например с 6% до 12%, то можно себе представить, какую массу продовольственных и кормовых ресурсов может дать наше земледелие и какие экспортные возможности будут открываться перед нами по мере того, как за поднятием урожаев наступит возможность и крупного расширения посевных площадей.

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

Повышение процента запашки в нечерноземной полосе (без сокращения ее на юго-востоке) может придать гораздо большую устойчивость нашему урожаю. При должном удобрении средние (за 10 лет) урожаи Московской обл. могут превосходить средние урожаи юго-востока, и даже бывший Шенкурский уезд с его песчаными землями благодаря обильному удобрению имел более высокое десятилетнее среднее, чем Поволжье с его благодатным черноземом, но далеко неблагодатными колебаниями климата. Но культура нечерноземной полосы до сих пор задерживалась отсутствием удобрений. Поэтому бывш. Московская губ. имела до последнего времени всего лишь 20—25% посевной площади, в то время как лежащая на одной широте с ней Дания имеет 75—80% площади под культурой и вчетверо большие против нас урожаи, хотя лежит тоже в зоне подзолистых почв. Еще менее чем бывш. Московская губ. распаханы бывш. губернии Ярославская, Костромская (15% под культурой) и еще того менее — остальной север.

Увеличивая с помощью минеральных удобрений процент пашни в областях достаточного увлажнения, мы тем самым повышаем в нашем валовом урожае долю, не зависящую от колебаний климата на юго-востоке, и тем страхуем себя от повторения бедствий 1891 и 1921 гг.

Долгое время среди ряда агрономов держалось убеждение, что у нас еще не настало время для применения минеральных удобрений, что наши почвы обладают плохой структурой, и удобрения действуют 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, но один не в состоянии разрешить азотный вопрос) все-таки утверждение, что наши почвы иначе относятся к удобрениям, чем западноевропейские, было основано на недоразумении. Почвам нашей нечерноземной полосы хронически нехватало азота (тем более, что клеверосеяние у нас являлось делом недавним и охватило слишком малую площадь), а в опытах довоенного времени (и даже позднейших, до 1927 г. включительно) допускались систематические погрешности по отношению

к азотистому удобрению [1]: при нормальных дозах фосфора и калия испытывались лишь незначительные дозы селитры. Поэтому калий и фосфор на почве 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 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 8 ц зерна. То же имело место в опытах б. Шатиловской станции, но в нечерноземной полосе неизменно приходили к выводу, что вне травополья (т. е. без клеверного фона) удобрения не действуют.

Так дело шло до 1927 г., когда Научный институт по удобрениям (НИУ ВСНХ), 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 во многих случаях должны относиться только к чистым парам.

Насколько результаты, полученные НИУ, отличаются от прежних опытов, видно из следующей таблицы (в процентах):

Источники	Овес	Ячмень	Озим. рожь	Картофель	Свекла	Конопля (солома)	Лен (солома)
Приросты по прежним данным	5,5	4,0	4,0	40,0	51,0	12,0	5,2
По данным НИУ[2]	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 быстрого поднятия урожаев путем химизации нашего земледелия.

[1] 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 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 иногда в 6, иногда в 12 раз больше азота, чем в селитре, приписывали целиком лучшее действие навоза его органическому веществу, а не большим дозам находящихся в нем азота, фосфора и калия.

[2] При повышенных дозах удобрений.

Что касается возможности расширения культуры в нечерноземной полосе с помощью минеральных удобрений, то в этом отношении 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.

Таким образом путь к возможно быстрому *излечению основных дефектов нашего земледелия*, унаследованных от дореволюционного периода (низкие урожаи, малая посевная площадь, низкая продукция зерна на каждого жителя и неустойчивость урожаев), *неминуемо лежит через применение минеральных удобрений*.

Отсюда грандиозный размах в заданиях для нашей химической промышленности на предстоящие годы.

Помимо возможности гораздо более быстрого проведения мер химизации земледелия при изменившихся формах землепользования в пределах определившейся до сих пор потребности почв в удобрении необходимо подчеркнуть еще те моменты, которые теперь будут *повышать эту потребность*. Сюда относится, во-первых, индустриализация *укрупненных 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. только одна шестая веса соломы), расстояние от льняного поля до места использования волокна могло быть значительным. Лен мог более правильно чередоваться с клевером и хлебами, можно было иметь достаточно навоза в хозяйстве. Но если нужно при централизации мочки перевозить не одну шестую часть урожая, а всю солому, то приходится приблизить лен к заводу. Это влечет за собой необходимость достаточного насыщения севооборота льном, а значит оставляет меньше простора для культуры навозообразующих растений, чем сильно повышается потребность хозяйства в минеральных удобрениях. В других случаях несмотря на транспортабельность продукта все-таки приходится насыщать севооборот техническими растениями *по причинам ограничения района данной культуры условиями климатическими*. 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 итти не теми темпами в применении удобрения, которыми шли Западная Европа и Америка. В том же направлении влияет задание *сократить площадь под незанятыми парами*: раз занимающее пар растение потребит нитраты, образующиеся за лето, озимь потребует большого количества азотистых удобрений, следовательно и потребность в минеральных удобрениях увеличивается

(поскольку идет речь о районах, где без удобрения нельзя уже получать хороших урожаев).

Таковы условия, побуждающие нас *не только изжить ту отсталость от Западной Европы, которая характеризовала наше земледелие, но учесть и те новые требования, какие вытекают из задачи индустриализации земледелия и специализации хозяйства отдельных районов*.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ (ОБЩАЯ)

А. КОРНЕВОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

1. МИНЕРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ. ГЛАВНЫЕ ЭТАПЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Целью возделывания растений является производство органического вещества, причем это вещество создается растением за счет чисто минеральных соединений, главным образом из углекислоты и воды, за счет энергии солнечного луча. Основным процессом, приводящим к образованию безазотистых веществ (крахмала и других углеводов), является восстановление углекислоты, идущее с выделением кислорода:

$$H_2CO_3 = CH_2O + O_2 \text{ или } 6H_2CO_3 = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

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 [1], как клетчатка, или продукты окисления, как органические кислоты, или 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 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

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

$$nC_6H_{12}O_6 - nH_2O = nC_6H_{10}O_5.$$

мир высушенным и растертым в общую массу, то ее состав был бы приблизительно следующим:

	C	H	O	N	Золы
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 углеводы, представляют для нас наибольший интерес*, потому что, 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, в то время как преобладающие по массе элементы (углерод, кислород и водород) берутся растением не из удобрения и не из почвы, а приходят из атмосферы в виде углекислоты и воды. 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 состав почвы в широкой мере приложимо и в полевой культуре.

Пока не было установлено, какие элементы растение берет из воздуха и какие — из почвы, нельзя было построить правильной теории удобрений, и господствовал грубый эмпиризм. Так, из того факта, что плодородная почва богата перегноем (гумусом), и что в ней преобладает органическое вещество, при разложении переходящее в почвенный перегной, заключали, что растения получают углерод через корни. Так создалась гумусовая теория питания растений и удобрения, корни которой можно проследить до глубокой древности, но наибольшего расцвета достигла эта теория в конце XVIII и начале XIX века, причем наиболее ярким ее представителем явился видный деятель по реформе сельского хозяйства в Германии — Тэер. Германия тогда 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 плодосмена и улучшенных приемов культуры как своими сочинениями, так и собственной деятельностью (между прочим он основал первую на земном шаре высшую школу по сельскому хозяйству в своем имении в Меглине, в 1806 г.). Вследствие успеха, который имел Тэер как реорганизатор хозяйства на новых началах, его взгляды на питание растений также получили общее распространение, хотя он сам никакими экспериментами в области физиологии растений не занимался; но, раз приняв гумусовую теорию, он по-

следовательно проводил ее и на ней строил баланс почвенного плодородия.

Тэер писал 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 этом строилось учение об истощении и возмещении плодородия почвы и о севооборотах. Предполагалось, что чем больше питательных веществ содержит растение, тем больше оно поглощает и гумуса: например пшеница требует больше гумуса, чем рожь. Но гумус, дающий начало жизни, одновременно является и результатом ее. Так, если растение сгнивает на том же месте, где выросло, то количество гумуса увеличивается, так как во время жизни растение 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). Корнеплоды же, уносящие много органического вещества и оставляющие мало корневых остатков, являются растениями, истощающими почву.

Верно подмечая многие факты действительности и делая из них правильные (для своего времени) организационные выводы, Тэер давал им неправильное объяснение. Так, игнорировалось содержание азота в органическом веществе почвы и навоза, как недооценивалось и значение азотистых веществ в урожаях (тогда думали, что содержание азота характеризует животный организм, а не растительный); точно так же не придавалось должного значения и зольным веществам как в растении, так и в почве и удобрениях. (Своеобразно, что и в начале XX века часто повторялась та же ошибка по отношению к азоту и зольным веществам навоза, хотя и в другом отношении, именно, нередко говорилось, что навоз вносится в почву не ради питательных веществ, а главным образом ради органического вещества, которое действует благоприятно на физические свойства почвы, но при этом забывали вычесть из общего эффекта навоза ту главную часть этого эффекта, которая приходится на долю азота, фосфора и калия, из-за чего и роль органического вещества, которую так подчеркивали, на деле лишалась цифрового выражения.) Может возникнуть вопрос, как Тэер мог культивировать теорию, основанную на усвоении углерода через корни, когда еще в 70-х годах XVIII века было установлено, что растения разлагают углекислоту воздуха и берут из нее углерод (Пристлей, Ингенгуз, потом Сенебье), но дело в том, что тогда не было доказано, что углекислоты воздуха *достаточно* для обеспечения растения углеродом. Поэтому Тэер считал этот источник побочным, а гумусу приписывал решающее значение.

Гумусовая теория господствовала в течение первой трети XIX века не только среди агрономов, но также среди химиков [1] и ботаников того времени, но в конце 30-х годов, и особенно в 40-х годах, она подверглась критике со стороны двух авторов, которых нужно считать основателями современной агрохимии, — это Буссенго во Франции и Либих в Германии. Буссенго впервые провел учет круговорота веществ в земледелии [1] с помощью точного химического анализа всех удобрений и всех урожаев за целый севооборот (1835—1840 гг.) и обратил внимание на значение азота в жизни растений, а потому придал наибольшее значение содержанию азота в удобрениях (навоз, гуано). Отнесясь критически к гумусовой теории, Буссенго противопоставил ей *азотную теорию удобрений*, высказавши положение, что «наибольшее действие оказывают те удобрения, которые содержат больше азота» (1837—1838 гг.).

[1] Так, Дэви и Берцелиус, оставившие крупный след в истории развития химии, по отношению к круговороту веществ в сельском хозяйстве стояли на точке зрения Тэера.

В 1840 г. появилась известная книга Либиха «Химия в применении к земледелию и физиологии растений»; она была написана в популярной форме, выделялась по блеску изложения, резкости критики и смелости выводов. Поэтому в отличие от работ Буссенго, напечатанных в специальных журналах, книга Либиха сделалась известной не только в ученом мире, но и в широких кругах сельских хозяев. В своей критике гумусовой теории Либих брал 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 количество выпадающей воды 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. 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*.

Естественным продолжением взглядов Либиха на питание растений явились его теория удобрения и истощения почвы при однообразной культуре и его объяснения значения севооборота.

В то время как Тэер и его последователи делили растения на *обогащающие и истощающие* почву, смотря по количеству корневых остатков, оставляемых ими в почве, и полезность плодосмена объясняли уравновешением прихода и расхода гумуса, 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. Правда, истощение это производится разными растениями в разных направлениях: одни берут преимущественно известь (горох), другие берут много калия

[1] Буссенго является основателем первой агрохимической опытной станции на земном шаре (см. лекцию Тимирязева «Полвека опытных станций», 1885 г.).

(корнеплоды), третьи — преимущественно кремнекислоту (хлеба) [1]. Значит чередованием культур мы можем замедлить ход истощения почвы, более равномерно используя существующий в ней запас питательных 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 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. Той же судьбой грозил он и современному хозяйству, если оно во-время не прекратит расхищения питательных веществ почвы, причем Либих совершенно правильно отметил особенно неблагоприятное положение для фосфора в круговороте веществ в хозяйстве, а именно: большая часть фосфора содержится в зерне, которое отчуждается из хозяйства, а калий и известь содержатся главным образом в соломе, которая идет в навоз, а потому для калия и извести баланс складывается более благоприятно, чем для фосфора, который должен в зерновом хозяйстве неизбежно попадать в *положение минимального фактора*, а так как фосфор нельзя заменить калием или чем-либо другим, то и *урожаи зерна должны падать, если мы не будем дополнять навозное удобрение фосфором, вносимым со стороны*. Поэтому Либих предложил использовать кости, богатые фосфатом извести, и готовить из них суперфосфат. Это указание Либиха было впоследствии подтверждено мировым опытом, как мы видели выше; именно фосфорнокислые удобрения потребовались прежде всего и стали применяться в большем количестве, а рекомендованное Либихом разложение трудно растворимых фосфатов серной кислотой дало толчок развитию крупной отрасли основной химической промышленности.

Закон минимума Либиха, по которому урожай определяется тем фактором, которого наиболее недостает для образования нормального урожая, вытекает из факта незаменимости элементов друг другом. Некоторыми авторами, по чистому недоразумению, этот вывод Либиха ставится в связь с давно опровергнутым действительностью учением Мальтуса об ограниченности средств продовольствия и с несуществующим «законом убывающего плодородия», так как на деле плодородие почвы убывает только при хищническом хозяйстве, с которым боролся Либих, и как раз указания Либиха послужили основой не только для поддержания плодородия на прежнем уровне (о чем заботился Либих), но впоследствии 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 (см. сказанное на стр. 8).

[1] Большое содержание кремнекислоты в соломе злаковых дало повод Либиху первоначально считать и это вещество существенным для развития растений, что потом не подтвердилось.

Экономический вопрос об оптимуме затрат на единицу площади и о снижении оплаты при отступлении от оптимума в обе стороны также не имеет никакого отношения к Либиху.

Выдвинувши совершенно правильно роль фосфора и других зольных элементов, Либих однако недооценил роль азотистых удобрений. Конечно участие азота в образовании белковых веществ было ему хорошо известно, но он полагал, что содержание аммиака в воздухе (в виде углекислой и азотистокислой соли) достаточно обеспечивает все растения азотом, а потому считал покупку селитры и аммиачных солей напрасной тратой денег. Таким образом можно сказать, что в то время как Буссенго противопоставил гумусовой теории Тэера *азотную теорию*, Либих все учение о питании растений и удобрении 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 всемирную известность. Вот данные одного из этих опытов, поставленных для проверки утверждения Либиха.

Урожай зерна (в центнерах с 1 га)

Без удобрений	16,5
Навоз	21,0
Зола от навоза	16,0
Серноаммиачная соль и калийно-фосф. удобрения	24,0

Этим и другими опытами было доказано, что одна зола не заменяет навоза, и 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 противополагать одно другому.*

Либих сам с живыми растениями не экспериментировал, он шел преимущественно дедуктивным путем, основываясь на данных анализов золы [1], но его горячо написанные произведения, вызвавшие обильную полемику, имели, кроме вовлечения широких кругов в обсуждение этих вопросов, еще то важное значение, что дали толчок ко многим опытным исследованиям, которые постепенно привели к созданию методики выращивания растений в искусственной среде, что позволило с полной определенностью решать вопрос о значении того или другого элемента для растения. После ряда попыток отдельных исследователей создать твердую беззольную среду для выращивания растений, в целях опыта, в отсутствии любого элемента (песок, промытый кислотами, уголь, полученный из сахара, и даже обрезки платиновой проволоки), перешли к водным культурам, так как дестиллированную воду легко получить в больших количествах, чего нельзя сказать о твердых субстратах. Главную роль в

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

создании этого рода методов и в разрешении вопроса о роли зольных веществ сыграли агрохимические опытные станции, появившиеся в Германии в 50-х годах. Но если часто говорится, что агрохимические опытные станции обязаны своим возникновением Либиху, то это верно только в косвенном смысле, а не в прямом. Либих своими произведениями будил потребность в научном объяснении с.-х. явлений, и это вызвало к жизни опытные станции несмотря на то, что сам Либих, оставаясь на почве дедукции, был более химиком, чем агрохимиком, в противоположность своему французскому современнику Буссенго, который прежде всего желал знать «мнение растения» и потому ставил опыты в поле и в сосудах с живыми растениями.

Задача выращивания растений в искусственной среде 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 она 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. Так постепенно нашли, что концентрация раствора должна быть слабой (2—3 г на 1 л), что реакция не должна быть щелочной (несмотря на щелочность золы) [1], она должна быть скорее слабо кислой или, по крайней мере, нейтральной, что более окисленные формы должны быть предпочитаемы менее окисленным (например нужно давать серу в виде солей серной, а не сернистой кислоты: азот в виде азотной, а не азотистой, фосфор — в виде ортофосфорной кислоты). Впервые растения доведены были до созревания в водных культурах в 1859 г. Кнопом и Саксом, работавшими независимо один от другого.

Раз метод был найден, явилась возможность исключать по произволу любой элемент из полной смеси и наблюдать, как реагирует на это растение; в одних случаях оно останавливается в росте вскоре после того, как использует запас питательных веществ в семени, в других же оно продолжает развиваться и доходит до плодоношения несмотря на исключение изучаемого элемента. Так можно было различить необходимые элементы от случайных, которые могут скопляться в растении, поступая в него вместе с водой, поглощаемой из почвы, и внесен был ряд поправок к выводам Либиха, сделанным на основании анализов золы. Так, кремнекислота оказалась вовсе не играющей той роли, какую ей приписывал Либих; точно так же натрий не имеет того значения и не может замещать собой калия. Азот, в согласии со взглядами Буссенго (а не Либиха), оказалось нужным давать корням растений, притом в большем количестве, чем какой бы то ни было другой элемент корневого питания. В итоге безусловно необходимыми элементами, какие нельзя исключать из состава питательной смеси, оказались прежде всего следующие: *азот*, *фосфор*, *сера*, *калий*, *кальций*, *магний*, *железо*, причем они должны быть

[1] Щелочность золы зависит от того, что при сгорании образуются углекислые щелочи, главным образом K_2CO_3, но в растении содержатся соли калия и других оснований с органическими кислотами, а не с углекислотой, которая получается при окислении последних.

даны в определенных соединениях. Первые 6 элементов удобно давать в случае водных и песчаных культур в виде трех солей $Ca(NO_3)_2$, KH_2PO_4, $MgSO_4$, к которым добавляется ничтожное количество железа в виде Fe_2Cl_6 или $FePO_4$.

Такого рода смеси являются стандартными не только в тех случаях, когда мы хотим наблюдать влияние отсутствия того или другого элемента, но и тогда, когда мы хотим сравнить доступность какого-либо природного источника калия или фосфора (например: калий нефелина, фосфор того или другого фосфорита), причем в этих случаях чаще пользуются песчаными культурами, чтобы количество растворителя (воды) не слишком отличалось от того, какое может находиться в почве (а после того как мы узнаем отношение к данному источнику пищи растения, как такового, можно путем постановки опыта с той или иной почвой таким образом учесть роль последней, чего мы не могли бы с такой четкостью сделать, если бы не провели опыта с исключением почвы).

Итак, только после разработки метода искусственных культур (т. е. через 20 лет после появления книги Либиха) можно было установить, какие элементы важны для жизни растения и потому могут играть роль в вопросах удобрения. Основной тезис Либиха, что растениям нужны только неорганические соединения, был вполне подтвержден результатами водных (и песчаных) культур, но относительно отдельных элементов внесены были существенные поправки.

2. РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Если еще в 60-х годах определенно выяснилась необходимость доставления растению через корни вышеназванных семи элементов в виде определенных соединений, то вопрос о роли каждого из этих элементов в жизни растения оказался гораздо более трудным, особенно в части, касающейся металлов.

Для металлоидов (азота, серы, фосфора) дело обстоит проще, так как известно, в состав каких соединений они входят. Так, а з о т входит в состав всех аминокислот, из которых построена сложная молекула белков. В итоге на азот приходится от 16 до 18 % от веса белка. Поэтому на вопрос, зачем нужен растениям азот, имеется вполне определенный ответ: без азота нет белков, без белков нет протоплазмы, без протоплазмы нет жизни.

С е р а, хотя и не в том количестве, как азот, также входит в состав белка, но так как она входит не во все, а только в немногие аминокислоты, то содержание серы в белке всегда гораздо ниже, чем азота (от 0,4 до 2,8% от веса белка). Кроме белков сера встречается и в некоторых других органических соединениях (например в горчичном масле).

Ф о с ф о р хотя и не входит в состав обычных белков, но он входит в состав нуклеопротеидов, которые играют важную роль в построении клеточного ядра (это как бы соли белка с нуклеиновой кислотой, которая есть сложное производное фосфорной кислоты). Уже этого одного достаточно, чтобы важность фосфора в жизни растений стала очевидной. Но кроме того фосфор входит в состав других соединений, играющих заметную роль в жизни растительных (и животных) организмов, как фитин и лецитин, которые также являются

сложными производными фосфорной кислоты (хотя и более простыми, чем нуклеиновая кислота). Хорошо известное на практике благоприятное влияние фосфора на созревание (например образование зерна у хлебов, отложение сахара у свеклы и винограда, крахмала в картофельных клубнях) пока точного физиологического объяснения не получило.

Вопрос о физиологической роли металлов, необходимых для жизни растения, оказался, как выше отмечено, гораздо более трудным, и до сих пор в нем имеется много недостаточно выясненных сторон.

Так, относительно к а л и я приходится сказать, что насколько твердо установлена его безусловная необходимость для жизни растений и незаменимость никакими другими элементами, настолько же неопределенны сведения о ближайших его функциях, и до сих пор не выделено каких-либо характерных соединений, которые указали бы, в каких именно процессах он принимает участие.

Обычно считают, что калий имеет отношение к образованию углеводов в растении; в общей форме это мнение высказал еще Либих. Позднее Гельригель наблюдал, что например у ячменя то скудное количество зерен, которое образуется при недостатке калия, чрезвычайно бедно крахмалом (между тем как при азотном голодании, как бы мало ни образовалось зерен, содержание крахмала в них бывает 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. То же явление наблюдалось для сахарной свеклы, причем развитие листьев страдало меньше, чем развитие корня, который был, помимо малого веса, еще очень водянистым. Однако в этих опытах не было прослежено, какая функция подавлялась недостатком калия: первичный ли синтез простейших углеводов в листе, или их передвижение к местам отложения, или переход от простых глюкоз к более сложным углеводам, как тростниковый сахар и крахмал. Так как в органической химии известны случаи, когда синтез происходит в присутствии калия, но не идет (или идет в другом направлении) в присутствии натрия, то вполне возможно, что и в растении калий является катализатором (ускорителем) какой-либо реакции в синтезе органических веществ без того, чтобы он входил в конечные продукты этой реакции, как это и вообще наблюдается при катализе. Попытки объяснить особую роль калия в растении тем, что он является среди составных частей золы единственным металлом, обладающим некоторой радиоактивностью, встречают возражение в том обстоятельстве, что другие радиоактивные элементы не могут заменить калия.

Относительно к а л ь ц и я обыкновенно говорится, что он служит для нейтрализации избыточных кислот, но хотя в растениях действительно встречаются кристаллические отложения щавелевокислого кальция, однако не доказано, что в этом случае кальций служил для удаления избыточной кислоты, а не наоборот — щавелевая кислота служила для удаления избыточного кальция (тем более, что органические кислоты вовсе не представляют для растения какого-то иначе неустранимого зла, ибо они могут использоваться до углекислоты и воды).

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 неодинаковое отношение различных растений к количеству кальция в почве: например эспарцет является даже показателем почв, богатых известью, между тем «кислые злаки», как Aira caespitosa (щучка) и особенно некоторые мхи (с ф а г н у м), не мирятся с известью. Однако так как в природе кальций чаще всего встречается в виде $CaCO_3$, в этих явлениях налагаются друг на друга влияния двух факторов, которые прежде не различались, а именно: *реакция почвы*, зависящая от содержания $CaCO_3$, и наличность *иона кальция*, как такового (хотя бы в виде $CaSO_4$ или $CaCl_2$ и пр.). Если реакция среды имеет большое значение (причем отдельные виды растений предъявляют в этом отношении разные требования), то содержание иона кальция, хотя бы уже связанного с сильными кислотами, тоже имеет свое значение: именно оно необходимо для так называемой «физиологической уравновешенности» раствора, которая необходима как для растительных, так и для животных организмов (о ней будет говориться ниже).

Отсутствие кальция в питательном растворе, содержащем соли других катионов, отзывается болезненно на развитии корневой системы: происходит разрушение клеток в зоне роста; клеточные стенки ослизняются, и раствор мутнеет, так как коллоидальные вещества, входящие в состав клеточной стенки, дают с кальцием мало растворимые и мало набухающие в воде соединения, с калием же они дают соединения обратных свойств. Поэтому без кальция эти коллоиды начинают переходить в окружающий раствор и делают его мутным; правильное функционирование корневой системы, ее отношение к поглощению воды и солей нарушаются.

Для м а г н и я, с одной стороны, дело обстоит относительно благополучно в том отношении, что известно по крайней мере одно определенное соединение, притом очень важное в жизни растения, в состав которого входит магний, — это х л о р о ф и л л, формула которого хорошо установлена и положение магния в ней известно, причем именно магнию приписывается определенное участие в реакциях, связанных с восстановлением углекислоты и выделением кислорода.

Однако в хлорофилл входит только меньшая часть магния, содержащегося в растении. Далее, бесхлорофилльные организмы также нуждаются в магнии, — значит у магния имеются еще какие-то функции, пока неизвестные, не связанные непосредственно с хлорофиллом.

Роль ж е л е з а в растении ближе неизвестна, но в его отсутствии не образуется хлорофилл, получается бледножелтая окраска листьев, это обозначается как заболевание растения «хлорозом». Если по такому светложелтому листу провести кисточкой, смоченной слабым раствором какой-либо соли железа, то через некоторое время произойдет позеленение соответственной части листовой поверхности.

Так как железо в состав молекулы хлорофилла не входит, то предполагают, что железо является катализатором (ускорителем) некоторых реакций, предшествующих образованию хлорофилла. Заболевание хлорозом может вызываться не только полным отсутствием железа, но и переходом железа в неусвояемое состояние, напри-

мер при щелочной реакции почвы (так, при избыточном известковании люпин легко заболевает хлорозом).

Но и здесь, как и в случае магния, приходится отметить, что низшие организмы, лишенные хлорофилла, все-таки нуждаются в железе. Очевидно и здесь мы имеем дело не с одной какой-либо функцией, а с несколькими.

Кроме перечисленных выше важных для корневого питания семи элементов, безусловная необходимость которых для растения выяснилась в первых же опытах, проведенных сколько-нибудь совершенно в водных и песчаных культурах, не раз внимание исследователя останавливалось на других элементах, и ставился вопрос, не могут ли они, не будучи прямо необходимыми, все-таки быть полезными для растения в том или другом отношении.

Так, в течение довольно долгого времени был спорным вопрос о значении хлора для растений, и некоторые авторы утверждали, что например у гречихи, выращенной без хлора, нарушается передвижение углеводов из листьев к зернам. 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 уменьшить количество какого-либо катиона из числа необходимых для растения настолько, чтобы этим было подавлено развитие 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 с введением и удалением хлора без изменения количеств основных питательных веществ в растворе и устранением побочных влияний реакции, то оказалось, что к присутствию или отсутствию хлора растения относились совершенно безразлично [1].

Точно так же не мало опытов ставилось относительно учета влияния кремнекислоты. Еще в 1862 г. было показано, что кукуруза нормально развивается, если ей не давать кремнекислоты, но все-таки такое растение содержало в золе 0,7% SiO_2 (вместо 20%), так как крупные семена кукурузы содержат заметные количества SiO_2 (не говоря о возможности заимствования из стенок стеклянного сосуда, если не покрыть их парафином). 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. 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 хлопка), хотя в остальном развитие растения нисколько не нарушается. Позднее появились 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 фосферного голодания и так невелико по абсолютным размерам, что никакого практического значения не имеет.

Кроме того не мало работ посвящено вопросу о значении для растений марганца, бора и других элементов, встречающихся в золе растений в ничтожных количествах. Эти элементы, если их дать в тех количествах, в каких дают калий или магний, являются заведомо ядовитыми для всех растений, и речь идет о полезном действии таких *следов* этих элементов, как введение одной части на 2,5 (и более) млн. частей воды; при этом бобовые и пасленовые (картофель, томаты) лучше реагируют на это, чем злаки. Но чтобы наблюдать действие этих элементов, нужно работать с особенно чистыми реактивами, и уже такой прием, как намачивание семян в водопроводной воде вместо дистиллированной, может мешать задаче опыта, т. е. четкому выявлению отзывчивости растения на эти элементы. Ввиду этого, а также ввиду содержания названных (и им подобных) элементов в ряде удобрительных материалов (например в фосфоритах, а значит и в суперфосфате), мы не будем здесь входить в более подробное рассмотрение вопроса о значении элементов этого порядка в жизни растений и в удобрениях.

[1] Но возможно побочное влияние хлора: например калий поступает скорее в растение из раствора KCl, чем K_2SO_4. О возможности неблагоприятного влияния больших избытков хлористых солей, вносимых с некоторыми из удобрений, предлагаемых современной промышленностью, будет сказано при рассмотрении этих удобрений.

3. ПОСТУПЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ В КОРЕНЬ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕГО РАСТВОРА

В какой бы форме ни находились необходимые для растений элементы в окружающей среде, в клетки корня (корневых волосков) поступают в конце концов только растворимые соединения, способные *диффундировать* из окружающей среды по общим правилам проникновения молекул через перепонки от большей концентрации данного вещества извне (например нитратов) к меньшей (внутри клетки), причем этот процесс, вместо того, чтобы оканчиваться после выравнивания концентрации снаружи и внутри перепонки, здесь может итти непрерывно, если к процессу диффундирования вещества извне присоединяются еще и другие явления внутри клетки, постоянно снижающие концентрацию поступающего вещества. Достаточно указать на то, что состав зольных веществ растения не отвечает составу раствора, окружающего корни. Растение воспринимает минеральные вещества в ином соотношении. Мало того, разные растения при выращивании в том же растворе или на той же почве обнаруживают разный состав золы, хотя и подверженный некоторым колебаниям для каждого типа растения, но для каждого типа растения сохраняющий известные типичные черты, как это видно из следующих примеров.

В 100 частях золы содержится [1]:

	K_2O	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	SiO_2	% золы в сух. вещ.
Пшеница (зерно)	0,5	2,8	12,0	18,0	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
Лист и табака	29,1	36,0	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	4,1	72,8	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 табличке 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 RNCS), вообще более богаты серой, чем другие растения. В коре дуба отложено много избыточного

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

кальция, что часто имеет место в отживающих тканях. Наконец хвощ характеризуется таким высоким содержанием кремнекислоты в золе, что превосходит в этом отношении даже солому злаковых.

Способность растений воспринимать и накоплять необходимые для него вещества в большем количестве, чем ненужные, нередко называют «избирательной способностью». Однако этот термин в применении к растительным организмам имеет иной смысл, чем когда говорят о животных. Здесь играет роль прежде всего наложение на явления проникновения в клетку растворенных в воде веществ еще другого процесса — ассимиляции поступивших в клетку веществ, перехода их в нерастворимые или трудно диффундирующие соединения, что делает возможным поступление новых количеств данного вещества из раствора. 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, и мы можем, продолжая упрощенное сравнение, сказать, что хлористый натрий, хотя вначале и поступал в клетку, но не ассимилировался, и только те вещества, которые после поступления ассимилируются (в нашем примере серная кислота), продолжают поступать непрерывно. В клетке же растения даже не нужно непременно образования нерастворимых осадков, а достаточно образования сложных соединений коллоидного типа, неспособных диффундировать

гося под давлением внутри шины; внешняя же оболочка (покрышка) служит для защиты камеры как от внешних воздействий, так и позволяет последней выдерживать внутреннее давление без деформации. В клетке вместо давления газа мы имеем осмотическое давление, зависящее от свойств плазмы, а клеточная стенка только защищает нежную плазматическую оболочку и опять не только от внешних воздействий, но и от риска разрыва от внутреннего давления, вызываемого осмотическим явлением. Если мы внутри имеем клеточный сок, содержащий растворимые углеводы (сахара), и слой плазмы, изолирующий клеточный сок от внешнего раствора (клеточная стенка как легко проницаемая не является изолятором), то плазма играет роль «полупроницаемой перепонки», т. е. перепонки, легко проницаемой для воды и трудно проницаемой для сахаров. Тогда 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). Полупроницаемые перепонки можно получить искусственно, например из таннина и желатины, но они будут непрочны; если же вызвать отложение такой пленки внутри цилиндра из пористой глины, то удастся совместить полупроницаемость с прочностью. Тогда мы получим модель, гораздо более похожую на клетку, чем в предыдущих случаях. Если внутрь такого цилиндра ввести сахар и погрузить цилиндр в воду, то вода будет проникать внутрь, а сахар не будет проходить через перепонку, и вследствие прохождения одностороннего тока воды внутри будет повышаться давление, как и в природной клетке и согласно той же закономерности, в связи с концентрацией раствора сахара. Но в случае плазмы явления осложняются еще тем, что ее проницаемость может изменяться в зависимости от внешних условий.

Благодаря указанным двум причинам растение легко накопляет в своих тканях необходимые для его жизни питательные вещества. Однако способность проникновения внутрь клетки не ограничена

центрация 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 клетку 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 клетки (плазмолиз). Но достаточно уже прекращения или замедления ее поступления из окружающего раствора в корень, чтобы растения начали страдать или даже погибли, ибо если листья испаряют больше воды, чем им подает корень, то наступает завядание, от которого растения могут оправляться только в случае, если потеря воды листьями не перешла известного критического предела. В связи с этим, как мы уже видели, равно как и 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.

Мы видели выше, что при выращивании растений в водных культурах приходится избегать щелочной или излишне кислой среды. В природных условиях реакция почвенного раствора также имеет большое значение, — она не должна отклоняться за известные пределы, но разные растения обнаруживают неодинаковую чувствительность к этим отклонениям.

Для того чтобы иметь возможность ближе охарактеризовать отношения различных растений к реакции раствора, пользуясь общепринятыми обозначениями (в частности символом pH), нам необходимо ближе остановиться на некоторых свойствах растворов и на явлениях диссоциации, знакомство с которыми имеет большое значение также и в связи с видами почвенной кислотности, о которых нам придется говорить в одной из ближайших глав.

Как известно, ряд химических соединений (соли, кислоты, щелочи) обладают 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, тогда как чистая вода практически тока не проводит.

Процесс распадения молекул на ионы, происходящий при растворении того или иного вещества в воде, носит название электролитической диссоциации. Ионы, имеющие положительный заряд, или катионы, обозначаются точкой, а ионы с отрицательными зарядами, или анионы, — надстрочным штрихом. 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 отрицательного иона — остатка кислоты, а щелочи при диссоциации дают ион металла и в качестве аниона — группу OH (гидроксил), например:

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

Распадение молекул на ионы никогда не идет нацело: всегда в растворе, наряду с ионами, остается еще некоторое количество нераспавшихся молекул. Чем большее число молекул распадется на ионы, тем больше будет степень диссоциации.

Для всех кислот характерным является водородный атом, способный в растворе отщепляться в виде иона. Кислый характер растворов вызывается именно присутствием положительно заряженного иона водорода и 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 распадется на ионы в тех же условиях всего на 1% и создаст 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

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. Образование солей сводится к получению из водородного иона кислоты и гидроксильного иона щелочи нейтральных молекул воды. Вместе с исчезновением водородных и гидроксильных ионов исчезает и кислый и основной характер исходных растворов. Ионы металла и анионы кислоты при нейтрализации не претерпевают изменений. Так как все соли нацело диссоциированы, то эти ионы так и остаются в растворе в виде ионов:

$$\underset{\text{Соляная кислота}}{(H^{\cdot} + Cl')} + \underset{\text{Едкий натр}}{(Na^{\cdot} + OH')} = \underset{\text{Поваренная соль}}{(Na^{\cdot} + Cl')} + \underset{\text{Вода}}{H_2O}$$

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 и 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˙ или OH′, диссоциация воды уменьшается таким образом, что произведение (но не сумма) концентраций ионов H˙ и OH′ остается постоянной величиной, равной 10^{-14} или:

$$[H˙]\times[OH′]=\frac{1}{10^7}\times\frac{1}{10^7}=\frac{1}{10^{14}}.$$

(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 всегда остается постоянным и равным $\frac{1}{10^{14}}$, а если изменение концентрации каждого из них связано определенной законностью 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 до концентрации в миллион раз меньшей, а 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.

Но для дальнейшего упрощения в данном случае условно принято писать только ту степень, в которую возводится 10, и обозначать этот показат ль символом pH. Тогда мы для выраж ния 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 простых 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 гидроксильных ионов	$\frac{1}{10^{11}}$	$\frac{1}{10^{10}}$	$\frac{1}{10^9}$	$\frac{1}{10^8}$	$\frac{1}{10^7}$	$\frac{1}{10^6}$	$\frac{1}{10^5}$	$\frac{1}{10^4}$

Символ pH постоянно употребляется в литературе по агрохимии и ряду других дисциплин, но при пользовании этими указаниями нужно помнить, что значение его изменяется в обратном направлении с возрастанием концентрации ионов водорода, потому что pH есть степень, в которую возводится

число 10, стоящее в знаменателе дроби, служащей для выражения концентрации ионов водорода, а не в числителе [1].

Растения отличаются *большой чувствительностью к оттенкам кислотности*, которые прежде не могли быть точно учтены, и только усовершенствованная в последнее время методика определения pH позволила разделить растения на несколько групп в этом отношении, а именно: одни из них совершенно не выносят кислотности и могут разводиться 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 кислотность почвы люпин и овес, причем одни растения, выносящие кислотность, 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, и даже на богатых известью почвах Средней Азии, тогда как люпин более строго приурочен к почвам кислого 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. Так и в почвах, в зависимости от состава почвенного раствора, степень вреда от кислотности не одинакова. Поэтому приведенные нормы pH нужно не считать за абсолютные, но они дают сравнительную характеристику отношения культурных растений к реакции среды. При этом нужно различать две стороны явления, а именно: чисто химическую характеристику вносимых солей от их физиологической характеристики (или статику и динамику реакции питательного раствора). С химической стороны соли, вносимые в питательный раствор в опыте искусственных культур, как и применяемые в целях удобрения, могут быть или щелочными, как K_2CO_3, $(NH_4)_2CO_3$ и $(NH_4)_2HPO_4$, или нейтральными, как $NaNO_3$, KCl, или кислыми, как $Ca(H_2PO_4)_2$, KH_2PO_4 и $NH_4H_2PO_4$. Но растение неодинаково воспринимает основание и кислоту растворенной соли, и введение даже вполне нейтральных солей не гарантирует сохранения нейтральной реакции в дальнейшем. Поэтому нужно отличать первичную реакцию солей от той *тенденции* к изменению

[1] Более точно pH определяется как отрицательный логарифм величины, выражающей концентрацию ионов водорода, например $\lg(2.10^{-2})=\lg 2-2=-1{,}70$; но, меняя знак, пишут pH=1,70.

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 растению нужен, а натрий не нужен, и механизм, описанный выше и вызывающий постоянное поступление из раствора новых и новых количеств вещества, будет действовать только по отношению к аниону соли, а не к катиону. Поэтому в растворе будут накопляться щелочные остатки, в связи с чем $NaNO_3$ и характеризуется как физиологически-щелочная соль.

Процесс этот нужно представить так: $NaNO_3$ подвергается частичному распаду с участием воды по схеме: $NaNO_3+H_2O=NaOH+HNO_3$[1]. Хотя бы это была бесконечно малая концентрация HNO_3, растение будет ее не только поглощать, но обращать в белковые соединения, т. е. выводить из сферы реакции, а потому произойдет дальнейший распад. HNO_3 снова поступит в клетки и т. д., а NaOH растением не потребляется, — он будет только реагировать с углекислотой, выделяемой клетками корня при дыхании, и внешний раствор будет обогащаться $NaHCO_3$, отчего реакция будет становиться щелочной.

Обратное имеем например в случае NH_4Cl: растение гораздо энергичнее поглощает NH_3, 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.

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 отсутствии 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

[1] Если сразу учесть присутствие CO_2, то можно написать $NaNO_3+H_2CO_3=HNO_3+NaHCO_3$.

которого приходится рассматривать не изолированно, но в связи с явлениями поглощения в почве (см. ниже).

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; раствор не должен быть составлен односторонне; он должен быть, как говорится, «физиологически-уравновешенным»; нарушение этой уравновешенности может быть гибельным для всех организмов как растительных, так и животных.

Чтобы иллюстрировать значение этой уравновешенности раствора, приведем следующий пример из животной физиологии. 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 дестиллированной воде, но стоит дать еще соль кальция ($CaSO_4$ или $CaCl_2$), и вредное влияние магния парализуется, а при наличности остальных питательных веществ дальше окажется 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%.

Нужно отметить, что 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. Поэтому можно думать, что при гипсовании клевера на кислых подзолистых почвах кроме других сторон действия гипса играет роль и обогащение почвенного раствора ионами кальция, что помогает клеверу лучше развиваться при том же самом значении pH почвенного раствора.

Введение в обиход нашего хозяйства значительных количеств минеральных удобрений побуждает отнестись внимательнее к описываемым явлениям, чем это делалось до сих пор. Так, при одностороннем удобрении калийными солями на почвах, бедных другими основаниями, может сказываться, наряду с положительным действием калия как необходимого для растений элемента, отрицательное влияние одностороннего состава раствора, и тогда наличность других катионов в сопутствующих удобрениях (кальций в суперфосфате, магний в кар-

наллите) может устранять эту односторонность состава питательного раствора.

В еще большей мере может сказываться на таких почвах (бедных основаниями) внесение аммиачных солей в значительных количествах. В этих случаях одновременное внесение других оснований (кальций, магний, калий) будет оказывать полезное уравновешивающее действие, добавочное к прямому питательному значению для растения.

4. ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ АЗОТОМ

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), свободный же азот воздуха растениями не используется, тем не менее были факты, указывающие, что этим азотный вопрос не исчерпан, и что в природных условиях существует какое-то связующее звено между атмосферой, с одной стороны, и растениями или почвой, — с другой.

Сюда относились прежде всего факты, установленные Буссенго, который, как выше уже упоминалось, первый создал лабораторию в хозяйстве и поставил задачей произвести количественный учет круговорота веществ при разных севооборотах; он определял в урожаях (зерне, соломе, клубнях картофеля, корнях свеклы, в листьях этих растений, в клевере, люцерне и т. п.) количество органогенов (C, O, H, N) и зольных веществ, суммируя вынос азота и зольных веществ за весь севооборот. Сопоставляя с тем, что было дано в удобрении, он пришел к общему выводу, что в то время как количество зольных веществ в урожаях было меньшим, чем в удобрениях, для азота, наоборот, часто наблюдался значительный избыток. Даем баланс азота для ряда севооборотов, изученных Буссенго в период 1836—1841 гг.

	Севообороты	Азот в навозе в кг	Взято в урожаях в кг	Излишки азота (за севооб.) в кг
I	1) Унавоженный пар, 2) пшеница, 3) пшеница	82,8	87,4	4,6
II	1) Картофель, 2) пшеница, 3) клевер, 4) пшеница, 5) турнепс пожнивной, 6) овес . . .	203,2	250,7	47,5
III	1) Свекла, 2) пшеница, 3) клевер, 4) пшеница, 5) турнепс пожнивной, 6) овес	203,2	254,2	51,0
IV	1) Картофель, 2) пшеница, 3) клевер, 4) пшеница, турнепс пожнивной, 5) горох, 6) рожь .	243,8	353,6	109,8
V	1) Корнеплоды, 2) яровое, 3) клевер, 4) озимое	182,1	304,5	122,4
VI	1) Пшеница (один урожай) и 5 лет люцерны .	224,0	1 078,0	854,0

Буссенго тогда же высказал мнение, что эти излишки азота происходят из воздуха, и что этой способностью клевера обогащать почву азотом объясняются более высокие урожаи пшеницы после клевера, чем после корнеплодов. Непрерывная культура люцерны вызывала еще большее обогащение почвы азотом. Но когда Буссенго попробовал воспроизвести эти явления в строго поставленном физиологическом опыте, то наткнулся на неудачи. Теперь нам понятны причины этих неудач. Буссенго начал свою работу за четверть столетия до Пастера и поэтому не мог считаться с бактериальным населением почвы, а когда он прокаливал почву или брал прокаленный песок, чтобы иметь среду, совершенно лишенную азота, то при этом устранялись и все микроорганизмы.

В этом и состояло различие как опытов Буссенго 1837 г., так и многочисленных опытов с водными культурами в 60-х годах от условий природных.

Чем тщательнее вел Буссенго последующие опыты, устраняя всякие следы связанного азота как в почве, так и в воздухе, очищая последний от возможной примеси аммиачных паров, тем более ясный отрицательный результат он получал: в этих условиях растения не усваивали свободного азота воздуха.

Тогда Буссенго стал проверять возможность обогащения почвы азотом через атмосферные осадки, приносящие некоторое количество азотистых соединений, но этот источник, на который возлагал столь большие надежды Либих, оказался очень скудным. Кроме того принесенные этим путем в почву соединения азота доступны всем растениям, а в с.-х. действительности обнаруживалось все больше фактов, говоривших за особое положение бобовых среди других культурных растений по отношению к источникам азота. Кроме прежних наблюдений относительно клевера и люцерны весьма рельефно это проявилось для бобов в опытах на Ротамстедской 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 га
II.	5 урожаев пшеницы	253 » » » »
	5 урожаев бобов	574 » » « »

На II 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 внося под них каинит и фосфаты.

В то время как в 60-х годах Шульц не мог добиться урожаев картофеля выше 80 ц, с 70-х 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 анализы люпиновой почвы, 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, в то же время сами бобовые оказывались мало чувствительными к азотистому удобрению или же совсем на него не реагировали, т. е. вели себя в природе иначе, чем в опытах Буссенго 50-х годов [1].

Причины своеобразного поведения бобовых были наконец разъяснены Гельригелем в 80-х годах. Его опыты были близки к опытам Буссенго конца 30-х годов, но они приходились на другую эпоху, когда не только учение Пастера о бактериях стало общепризнанным, но когда стали уже обращать внимание и на микроорганизмы почвы.

Все это побудило Гельригеля при опытах 1886 г. испытать 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, то бобовые не отличались от злаковых в отношении к азотистому удобрению.

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 усвояет 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. Вот пример из серии опытов с сераделлой (см. стр. 39).

Отсюда Гельригель сделал вывод, что бобовые, развиваясь на почве, содержащей соответственные бактерии, заражаются ими и образуют на корнях клубеньки, после чего получают способность усваивать сво-

[1] Так, в 1856 г. в Ротамстеде (Англия) были заложены опыты по действию минеральных удобрений на смешанную луговую растительность, которые показали, что под влиянием одностороннего 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 за отсутствием 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 га (если бы тогда же было определено содержание азота в почве, то убедились бы, что и оно возросло, но этого в то время не было сделано).

	Заражение	Урожай на сосуд (г)	Прибыль азота (г)	Клубеньки
1	—	0,092	0	0
2	+	16,864	0,348	+
3	—	0,063	0	0
4	+	18,190	0,395	+
5	—	0,034	0	0
6	+	16,411	0,443	+

бодный 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 в 1886 г., *Гельригель тем дал ключ к разрешению давней загадки, 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») [1].

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.

Таким образом Гельригель показал, что в известной мере правы были старые авторы, давая некоторым растениям название обогащающих почву, но только их понимание этого обогащения было недостаточным: бобовые увеличивают в почве не только количества органического вещества, но еще являются и а з о т о с о б и р а т е л я м и. Учет обнаруживает, что после удачного посева клевера почва может получить не менее того и другого, чем с обычной нормой навозного удобрения (30—35 т навоза на 1 га).

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 (например *Azotobacter*). Однако использование этих бактерий не так легко осуществить, ибо если даже вносить в почву повышенные количества органического вещества (найдя для этого дешевые его формы), то нельзя достигнуть того, чтобы его не использовала вся масса бактерий и грибов, живущая в почве, а не только те бактерии, развитие которых нам желательно. В этом отношении симбиоз с бобовыми является гораздо более важным 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).

П и т а н и е р а с т е н и й с в я з а н н ы м а з о т о м. Кроме того, что для азота, в отличие от зольных элементов, существует круговорот, в который вовлекается азот атмосферы, есть свои особенности в питании растения и связанным азотом, а именно: в то время как например в случае фосфора и серы только окисленная форма соединений (серная,

[1] Клубеньки эти исследовались еще в 1865 г. Ворониным, который признал микроорганизмы виновниками их образования, но ни в какую связь с усвоением азота эти образования тогда не приводились.

фосфорная кислота) пригодны для питания растений, в случае азота мы имеем возможность давать азот в двух формах, так как здесь не только окисленные соединения (нитраты), но и восстановленные (аммиачные соли) могут служить источником азота для образования главной составной части протоплазмы — белковых веществ. Вопрос о сравнительном достоинстве аммиака и нитратов пережил несколько фаз.

Оба основателя агрономической химии — Буссенго (1837) и Либих (1840)—придавали главное значение среди источников азота аммиаку, но только Буссенго имел ввиду аммиак удобрений (как готовый аммиак гуано и навозной жижи, так и аммиак, образующийся в почве при разложении органических веществ всякого рода); Либих же имел в виду углекислый аммиак атмосферы. Позднее, когда в Европу стали привозить чилийскую селитру, Буссенго поставил опыты в чистой среде (прокаленном песке) с нитратами и показал, что они непосредственно доступны растениям без предварительного восстановления в почве в аммиак действием органических веществ, что тогда допускали некоторые авторы.

Таким образом в 50-х годах *обе формы были признаны одинаково усвояемыми для растения* (что признается и теперь), но так как все это происходило в период, когда еще не подозревали наличности в почве бактериальных процессов, то впоследствии пришлось эти вопросы подвергать пересмотру, — по крайней мере в отношении аммиака.

Поводом к этому послужило следующее обстоятельство. В 60-х годах [illegible] культур, пробовали конечно вводить и тот и другой источник азота, но так как аммиак стали применять в виде сернокислого и хлористого аммония (каковых не имели в виду Буссенго и Либих), то результаты оказались весьма неудачными: дело в том, что эти соли, которые вводились как нейтральные в химическом смысле, являются физиологически кислыми, т. е. растение энергично поглощает из них основание и оставляет в растворе избыток кислоты, которая производит вредное действие. Это накопление свободной кислоты в растворе было замечено еще в 60-х годах, и отсюда сделан неблагоприятный вывод для аммония вообще. Дальше после работ Пастера обратили внимание на бактериальную жизнь почвы и установили наличность и широкую распространенность в почвах нитрифицирующих организмов, окисляющих аммиак в азотную кислоту (см. ниже об этом процессе).

Распространенность процесса нитрификации дальше сочли за его обязательность, полагая, что как в случае серы и фосфора, так и в случае азота для растения нужна непременно форма наиболее окисленная, т. е. соли азотной кислоты, а аммиак как таковой не пригоден для питания растений, и это утверждение вошло в учебники не только конца XIX, но и начала XX века.

Но некоторые внимательные наблюдатели еще в 80-х годах подметили следующее противоречие такого взгляда с некоторыми фактами действительности: так как все-таки есть почвы, в которых нитрификационные процессы не идут (болотные и некоторые лесные почвы), то значит и растительность, их покрывающая, обходится без нитратов. Отсюда возникла необходимость пересмотра вопроса об аммиачном питании, но уже в новой постановке, а именно в стерильных культурах, чтобы исключить возможность нитрификации, и с введением оснований, чтобы парализовать влияние физиологической кислотности. Один из более совершенных опытов произведен был Коссовичем в 1897 г., который показал, что аммиачное питание может дать результаты, не уступающие нитратному, если только должным образом регулировать реакцию среды и концентрацию питательного раствора. Тогда растение энергично поглощает аммиак как таковой. Далее обнаружилось, что например из раствора NH_4NO_3 аммиак поступает даже быстрее, чем HNO_3. Поэтому в вопросе о применении аммиачных солей приходится считаться совсем с другими трудностями, чем плохое поступление аммиака в растения, как это прежде думали. Но быстрота поступления азота в растения и высота урожая — это не то же самое, и в случае применения солей аммония с сильными кислотами именно большая быстрота поглощения аммиака по сравнению с кислотой и вызывает наступление кислой реакции. Поэтому для получения хороших результатов при применении аммиачных солей необходимо соблюдение некоторых условий, а именно: 1) прежде всего, если аммиак введен в виде чистых солей, как $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4Cl, то нужно, в целях регулирования реакции, заботиться о том, чтобы в окружающей среде был запас оснований (например $CaCO_3$) для связывания остающихся минеральных кислот. Об этом приходится заботиться больше, чем об устранении щелочных остатков от $NaNO_3$, потому что при поглощении азотной кислоты останется не едкий, а двууглекислый натрий (так как корни растения выделяют углекислоту и таким образом сами смягчают вред от физиологической щелочности; в случае же физиологически кислых солей растение само лишено возможности смягчить кислотность, и результат будет зависеть от наличности оснований в среде, окружающей корни).

Поэтому внесение таких солей, как азотнокислый и фосфорнокислый аммоний, имеет преимущество перед внесением NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, потому что у первых физиологическая кислотность выражена гораздо слабее, чем у вторых.

Но даже при полном устранении физиологической кислотности имеются все же еще другие различия между аммиачным и нитратным питанием. Так например вред от повышенной *концентрации* наступает гораздо раньше в случае аммиака, нитраты же могут даже скопляться в самой клетке ряда растений без вреда для них. Особенно легко перейти предел допустимой концентрации при питании аммиаком тех растений, которые располагают малым запасом углеводов (таковы например всходы сахарной свекловицы, еще не начавшие энергичной ассимиляции).

Затем играет роль еще следующее обстоятельство: кроме концентрации ионов водорода (т. е. реакции среды) и концентрации ионов самого аммония необходимо еще известное содержание в растворе ионов кальция, большее, чем в случае нитратов, так как, внося NH_4 вместо NO_3, мы вместо аниона вносим катион, и именно одновалентный катион, чем можем нарушить соотношение между одновалентными и двухвалентными катионами в пользу первых, так что получится раствор «физиологически-неуравновешенный» (что возможно на почвах, бедных кальцием). Поэтому бывают случаи, когда при внесении аммиачных солей наличность гипса (например в суперфосфате) оказывается

полезной. В этих случаях мы имеем дело с явлением антагонизма оснований, о котором говорилось выше.

Таким образом с точки зрения физиологической нужно признать аммиак и нитраты в принципе равноценными, но чтобы получать одинаковые результаты, нужно при аммиачном питании более точно соблюдать ряд условий, для которых при нитратном питании допустима более широкая амплитуда колебаний, а так как в условиях с.-х. действительности регулирование реакции, концентрации и соотношения катионов вовсе не так просто, как в опыте физиологическом, то потому из физиологической равнозначности обоих источников азота не следует делать вывода об одинаковой легкости их применения в полевых условиях. Ввиду того, что современная промышленность снабжает сельское хозяйство не столько нитратами, сколько аммиачными солями, все вышесказанное приходится по возможности учитывать, чтобы избегнуть неудач при применении азотистых удобрений.

Б. ПОЧВА КАК ПОСРЕДНИК МЕЖДУ РАСТЕНИЕМ И УДОБРЕНИЕМ

1. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Внесение удобрений в почву во многих отношениях отличается от того простого случая, который мы имеем при внесении солей в водные и песчаные культуры. Кроме прямого действия мы имеем здесь еще ряд побочных. Иногда даже это побочное действие является главной целью внесения удобрения. Поэтому для нас важно 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, причем это поглощение отличается в двух отношениях от того чисто физического поглощения, какое свойственно каждому тонко измельченному веществу, хотя бы совершенно инертному, например кварцевому песку, а именно: 1) большей прочностью связывания и способностью удерживать поглощенные вещества от вымывания водой, 2) наличностью обменных реакций, т. е. явными признаками химизма в этом процессе.

Частички песка или другого тонко измельченного тела, не вступающего ни в какую химическую реакцию с растворенным в воде веществом, создают только известную разность концентрации вокруг таких частиц. Если молекулы растворенных солей притягиваются песчинками сильнее, чем молекулы воды, то около поверхности песчинок, в слое жидкости, непосредственно к ним прилегающей, создается несколько большая концентрация, чем на некотором расстоянии, где концентрация будет понижена, но при этом получается только иное распределение в пространстве тех же молекул [1]. Никаких химических реакций при этом не происходит, и наличность этого явления, называемого адсорбцией, не помешает путем промывания водой удалить нацело адсорбированное вещество.

В почве же происходит нечто большее, чем в описанных явлениях с песком; там имеют место еще и обменные реакции с растворенными солями и почвой.

Так, если взболтать пробу 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 же мы ту же почву обработаем не раствором соли, а дестиллированной 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 и каолин [1], не могут обладать поглотительной способностью этого типа, ибо в них обмениваться нечему; они не содержат подвижных оснований, но 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 часть» почвы и те минеральные соединения, которые принимают участие в явлениях поглощения.

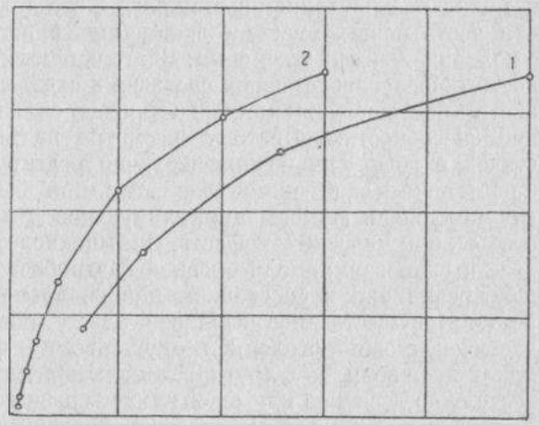


Рис. 2. Влияние концентрации раствора на энергию поглощения почвой (1) и искусственным цеолитом (2).

[1] Явлением адсорбции объясняется например тот факт, что в песчаных культурах растения переносят большую концентрацию солей, чем в водных. Поэтому при постановке песчаных культур дают столько же граммов солей на 1 кг песка, сколько в водных дается на 1 л воды, несмотря на то, что вода, увлажняющая песок, составляет обычно лишь около 15% от его веса.

[1] Каолин представляет стойкое соединение глинозема с кремнеземом.

[2] В отличие от безводных силикатов, как слюда и полевой шпат, которые более стойки по отношению к кислотам и в которых основания такой подвижностью не обладают.

Но кроме минеральной части в этих явлениях участвуют и органические соединения, именно нерастворимые в воде, так называемые гуминовые кислоты, и 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 *цеолитная и гуматная части почвы одинаково участвуют в явлениях поглощения* и потому совместно обозначаются общим наименованием почвенный поглощающий комплекс. Если с химической стороны обе части поглощающего комплекса объединяются тем, что содержат поглощенные основания, способные к обмену, то с физической стороны поглощающий комплекс представляет совокупность тех частей почвы, которые находятся в мелко раздробленном состоянии, — это прежде всего коллоидальная часть почвы вместе с фракциями ила, соседними по величине с коллоидальными частицами. Благодаря высокой степени раздробленности (дисперсности) своих частичек и следовательно большей поверхности [1] поглощающий комплекс обладает сильно выраженной реакционной способностью. Поэтому несмотря на нерастворимость этих частичек в воде они очень энергично реагируют в водной среде как с настоящими растворами солей, так и с взвешенными частицами других коллоидов (таковы циркулирующие в почве коллоидальные растворы органических веществ, кремнекислоты, гидраты окисей железа и глинозема). 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 коллоидные 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 активных поверхностных молекул 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* [2] в отличие от физической адсорбции, о которой говорилось

[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 »
0,0 01 (= 0,1 микрона) .	10^{12}	600 см²
0,01 микрона	10^{18}	60 000 » и т. д.

Таким образом одно и то же весовое количество вещества в зависимости от степени раздробленности может обладать весьма различной поверхностью.

[2] Ее же иногда называют физико-химической, но это обозначение меньше говорит о сущности явления, чем термин «коллоидно-химическая поглотительная способность».

выше; ее же в отличие от тех случаев типичных химических реакций, которые связаны с образованием нерастворимых соединений без явления обмена (о чем будет речь ниже), можно назвать *обменной* поглотительной способностью. Если мы поглощающий комплекс условно представим как нечто целое, то вышеупомянутый пример поглощения почвой калия из раствора какой-либо калийной соли вытеснением кальция можно изобразить следующей схемой.

$$\boxed{\text{Поглощающий комплекс}}\ Ca + 2KCl = \boxed{\text{Поглощающий комплекс}}\begin{matrix}-K\\-K\end{matrix} + CaCl_2$$

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 вытесняется из почвы, но по мере накопления его в растворе устанавливается некоторое равновесие между калием и кальцием, и реакция останавливается, не доходя до конца.

Вот этот 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 см³, время действия 48 часов).

Концентрац. раств. NH_4Cl	Вытеснено в % от веса почвы Ca	Mg
0,01	0,064	0,010
0,10	0,321	0,042
0,50	0,571	0,062
1,0	0,651	0,068
2,0	0,711	0,070

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.

Точно так же, если изменять *объем раствора*, не меняя концентрации, то также наблюдается увеличение энергии поглощения (и вытеснения), но непропорциональное увеличению объема раствора.

Но *время соприкосновения* раствора с почвой не имеет заметного влияния, так как равновесие устанавливается быстро благодаря тому, что реакция идет на поверхности частиц. Поэтому отфильтровывание

после 1 мин. взбалтывания дает тот же результат, как и более длительное взбалтывание раствора с почвой.

Таким образом скорость обменных реакций очень велика, и внесение удобрений тотчас же отзывается на составе почвенного раствора не только непосредственно, но и через вытеснение способных к обмену оснований из поглощающего комплекса почвы.

Кроме указанных выше условий размер поглощения зависит еще от *природы того основания*, соль которого мы вводим в раствор. При постановке опытов по сравнению *энергии поглощения 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 определять энергию вытеснения бария теми катионами, которые нас интересуют.

Так Гедройцу удалось установить известные законности 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* [1] соответственных элементов.

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 раствором 0,1-нормального.

Вытеснено бария из почвы, им насыщенной (в граммах):

Однозначные	Натрий	0,625
	Аммоний	0,886
	Калий	0,932
	Рубидий	1,032
Двузначные	Магний	1,058
	Кальций	1,400
Трехзначные катионы	Алюминий	2,291
	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 ком-

[1] 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 (объяснение этому имеется в теоретической химии).

плексе кальция над однозначными катионами связано между прочим с большей энергией поглощения кальция (кроме этого влияют и другие факторы, например общее количество данного элемента на земной поверхности).

Влияет ли *природа кислоты* на энергию поглощения основания той соли, которая приходит в соприкосновение с почвой?

Это влияние может сказываться только *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 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 мг):

Серная кислота	22
Азотная »	22
Фосфорная »	41
Угольная »	35

Как наглядно показали исследования Гедройца, от количества и от природы тех оснований, которые поглощены цеолитной частью, 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) или без такого замещения, многократно промывая почву водой, насыщенной углекислотой; после 20-кратного 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 требуются большие усилия. Тогда, как и при промывании одной водой без CO_2 и без NaCl, комочки высушенной почвы раздавливались почти так же легко, как и до промывания. Обратно, вводя кальций (а также Al и Fe), 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, вве-

[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.

дение кальция (а еще более Fe и Al) 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 (чем исключительно занимались раньше), 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 $Ca(NO_3)_2$, $CaHPO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$ и $CaSO_4$, может вызывать постепенное улучшение физических свойств и 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 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 основания (например аммония из раствора NH_4Cl) и тем более вытеснится из почвы других оснований (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 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 оснований.

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, причем новый катион войдет опять-таки в количестве, эквивалентном вытесненному им аммонию, а 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 в эквивалентное количество одного из них).

Таким образом сумма поглощенных почвой катионов, вытесняемая при окончательном насыщении поглощающего комплекса каким-либо новым катионом, есть величина 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). Вместо того, чтобы определять в отдельности количество каждого катиона в соединенных вытяжках и суммировать их в пересчете на общий эквивалент, можно поступать проще: вытеснивши все поглощенные катионы с помощью NH_4Cl или $BaCl_2$ и отмывши избыток соли, определить в почве количество поглощенного аммония или бария, — тогда оно и будет отвечать емкости поглощения, так как оно эквивалентно сумме вытесненных катионов.

Разные почвы обладают весьма различной емкостью поглощения, и с этим приходится считаться при внесении удобрений, как мы это увидим дальше.

О почвенным поглощающим комплексом и с емкостью поглощения почвы не связаны те случаи, когда переход в нерастворимое состояние происходит вследствие химических реакций между простыми телами, причем эти реакции могут быть и не связаны с явлениями обмена и не быть обратимыми. Так, если например к почве, содержащей гидраты окисей железа и глинозема, приливать раствор фосфорной кислоты, то образуются труднорастворимые фосфаты железа и алюминия и 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 к связыванию фосфорной кислоты известью с образованием трехкальциевого фосфата $Ca_3(PO_4)_2$, отличающегося трудной растворимостью. Кремнекислота также может образовать осадки, соединяясь 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 почва и ее поглощающий комплекс здесь не при чем, так что в этих случаях лучше было бы просто говорить о переходе тех или иных веществ в нерастворимое состояние при химических реакциях, чем о «химическом поглощении», но 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.

Остановимся в заключение на *значении поглотительной способности* для питания растений и ее влиянии 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 излишнее повышение

концентрации почвенного раствора. Этим объясняется более легкое «выгорание» посевов на песчаной почве в сухое лето под влиянием обильного удобрения; в дождливое же время года на песчаной почве легко наступает вымывание питательных веществ. Глинистая почва, напротив, проявляет отношение совершенно 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 на тысячу частей воды, 5 — на тысячу часто оказывается уже излишним. В почве именно благодаря явлениям поглощения концентрация поддерживается на невысоком уровне. Растворимые питательные вещества не накопляются в значительных количествах, но, поглощаясь почвой, они находятся в состоянии, всегда готовом для восприятия корнями. Ход усвоения нужно представлять себе так: растение поглощает из слабого раствора питательные вещества в бо́льшей пропорции, чем остальные, не только потому, что плазма для этих солей проницаемее, чем для других, а и потому, что усвояемые вещества исключаются из сферы действия, переходя в нерастворимые (или не диффундирующие) соединения, и постоянно в клеточку может проникать новое количество усвоенного вещества. Раз известных веществ в растворе стало меньше, поглощающий комплекс вследствие нарушения равновесия отдает вновь часть их, и растение вновь может усваивать их и т. д.

Точно так же при внесении в почву удобрения в виде растворимых солей концентрация могла бы повышаться чрезмерно, если бы не было смягчающего действия почв благодаря явлениям поглощения как физического, так и обменного.

Как уже мы отмечали, если даже кварцевый песок снижает концентрацию раствора (что видно из сравнения песчаных культур с водными), то насколько же сильнее действует в этом отношении коллоидальная часть почвы?

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 поглотительная способность (суммарно понимаемая) не отодвигала предельную грань, выводя часть веществ из сферы непосредственного действия на корни растений.

Поглотительная способность является регулятором почвенного раствора не только со стороны концентрации его; она обеспечивает и *разнообразие* почвенного раствора. При внесении в почву например солей калия часть его поглотится, и взамен того в раствор переходят соединения извести, магнезии и пр. Поэтому никакое удобрение не

действует только прямо, а, вызывая в почве ряд изменений, действует и косвенно.

Обычно принимают, что именно поглощенные почвой вещества являются усвояемыми и определяют ее плодородие, другие же соединения представляют лишь тот запас, из которого постепенно при выветривании образуются легко усвояемые вещества.

Далее, поглотительная способность предохраняет целый ряд питательных веществ от вымывания их из почвы дождями. Как раз такие важные питательные вещества, как калий, кальций, фосфорная кислота и аммиак, поглощаются почвой и потому хорошо противостоят вымыванию. Но другая форма азотистой пищи растений — нитраты — легко вымывается из почвы. Поэтому в очень влажных климатах или при обильном орошении (культура риса) часто избегают вносить селитру, а предпочитают или аммиачные соли или нерастворимые в воде органические азотистые удобрения, или же прибегают к зеленому удобрению. Япония, культивирующая много риса, применяет много аммиачных солей, рыбного гуано и других органических удобрений.

Если с явлениями поглощения приходится считаться при внесении каждого удобрения, то действие так называемых *косвенных* удобрений основано главным образом на явлениях поглощения из них и вытеснения 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 почвы* и придании ей способности противостоять сдвигам реакции (так называемой буферности почвы), нам необходимо предварительно ближе познакомиться с тем, что представляет собой почвенная кислотность.

2. ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКЦИИ И ДРУГИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ ОТ СОСТАВА ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

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 часть свободного хлороводорода — HCl, а *следовательно в нем находятся ионы водорода*. Если этот водород присчитать 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 [1], 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.

Описанное участие водорода в поглощающем комплексе, наряду с другими катионами, может быть изображено такой схемой:

$$\text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} = Ca \\ = Mg \\ - K \\ - H \end{cases}$$

Этот случай мы имеем в так называемых кислых почвах (подзолы, вересковые земли, моховые торфяники). 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 органическим кислотам почвы, гуминовым, и к минеральным, алюмо-силикатным соединениям кислотного характера). *Если же нет растворимости, то нет и диссоциации*, 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, и степень такой явной или актцвной кислотности измеряется *количеством ионов водорода в растворе*. Кислые же почвы могут не обнаруживать никакой кислотности в водной вытяжке; их кислоты 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).

$$\text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} = Ca \\ = Mg \\ - K \\ - H \end{cases} + NaOH = \text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} = Ca \\ = Mg \\ - K \\ - Na \end{cases} + H_2O$$

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 [1]. И обратно, можно ввести водород в поглощающий комплекс в целях изучения свойств почвенных ацидоидов или иных, если обработать почву какой-либо сильно разведенной кислотой, хотя бы соляной, концентрации 0,05-нормальной. 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).

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.

Но представляет ли какой-либо практический интерес ненасыщенность почвы основаниями, если поглощенный водород находится в трудно растворимых 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*. А так как *нейтральные соли мы вносим в почву в качестве удобрения, то это и можно*

фактором превращения скрытой или пассивной кислотности в явную, 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, а 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).

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, как $NaNO_3$, и 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. Но 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 изменяться, 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.

Способность почвы противостоять сдвигу реакции в кислую сторону помимо $CaCO_3$ (которого многие почвы не содержат) зависит от богатства ее поглощенными основаниями, среди которых преобладает поглощенный кальций. Поэтому, чем больше емкость поглощения почвы, чем выше насыщенность ее основаниями, тем большие количества кислоты можно ввести в нее без риска создать вредную для растений кислотность, а следовательно тем дольше 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 данных (в процентах) (стр. 55).

Для того, чтобы должным образом оценить значение этих цифр, нужно учесть, что 1 % от веса почвы [1] составляет в абсолютных цифрах

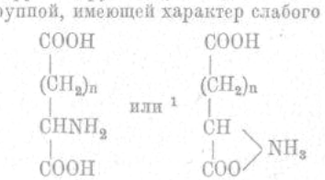
[1] Вес пахотного слоя, для разных почв конечно не тождественный, составляет около 3 000 т.

Емкость поглощения (в расчете на кальций)

Мощный чернозем	1,5
Деградированный чернозем	0,55
Суглинок	0,115
Песчаная почва	0,023

только для пахотного слоя *около 300 ц кальция* (считается в данном случае на Ca, а не на CaO), а между тем и подпахотный горизонт в этом случае не может быть оставлен без внимания.

Для того, чтобы яснее представить отношение почвы к щелочам, нам необходимо сделать некоторое дополнение к предыдущему изложению. Что щелочи способны сразу замещать тот водород, который лишь постепенно замещается основаниями нейтральных солей и который мы выше назвали обменным водородом, это ясно из вышеизложенного, но весь ли водород, находящийся в почвенных соединениях, является 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. Чтобы пояснить это более простым примером, вместо сложных алюмосиликатных кислот минеральной части почвы возьмем более простое соединение — фосфорную кислоту (H_3PO_4), содержащую 3 атома водорода, способных замещаться металлом, но совсем не одинаково, а с последовательно убывающей легкостью, и если 2 атома водорода уже замещены металлом, то третий водород такого заведомо ненасыщенного соединения, например $CaHPO_4$, можно заместить только в щелочном растворе. Так и в почве кроме водорода обменного, который можно выгнать нейтральными солями, есть водород, который нейтральными солями не вытесняется, он как бы глубже сидит, но его можно выгнать действием щелочи, и поэтому он не входит в учет при определении емкости поглощения в том смысле, как мы ее выше охарактеризовали. Это «сверхучетный» в означенном смысле водород может содержаться как в минеральных соединениях, так и в органических, причем опять-таки для простоты мы вместо сложных и разнообразных гуминовых кислот возьмем химическое соединение определенной формулы. Представим себе какую-нибудь органическую кислоту с двумя характерными для этих кислот группами — COOH (карбоксильная группа), отличающимися друг от друга тем, что одна из них расположена рядом с группой NH_2, т. е. аминной группой, имеющей характер слабого основания, например:



Если число n достаточно велико, то такое соединение будет отличаться нерастворимостью в воде (наподобие стеариновой кислоты) и в этом отношении походить на гуминовые кислоты (тип ацидоидов, в смысле ранее объясненном). Если мы будем такое соединение обрабатывать повторно раствором $BaCl_2$ (т. е. определять в нем «обменную кислотность по Гедройцу»), то водород одной из карбоксильных групп будет вытесняться барием и переходить в раствор в виде HCl, а другой (соседний с группой NH_2) останется индифферентным и не будет затронут при обработке раствором нейтральной соли (так же, как не затрагивается при этом третий водород фосфорной кислоты в упомянутом примере с $CaHPO_4$). Но стоит взять вместо нейтральной соли свободную щелочь, NaOH или $Ba(OH_2)$, тогда можно изгнать и этот водород, а вместо него станет Na или Ba, а водород с группой OH даст воду по схеме: $R \cdot COOH + NaOH = RCOONa + H_2O$.

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.

Если подытожить все то, что мы говорили выше о разных видах кислотности активной, обменной и гидролитической, то они характеризуются разным нахождением водо-

[1] При первом способе изображения азот участвует в этом соединении тремя единицами сродства, во втором — пятью.

рода 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 Н в растворе	С тем же анионом	С анионом соли	С анионом щелочи, т. е. с группой ОН
Характер получаемого соединения	Кислота	Кислота	Вода

С гидролитической кислотностью приходится сталкиваться между прочим при вопросе об известковании. Без знакомства с ней нельзя было бы представить, как почва может реагировать с большими количествами извести, чем нужно для насыщения обменной кислотности. Но для понимания смысла методов, применяемых для определения гидролитической кислотности, необходимо учесть и еще одно обстоятельство: тот водород «третьего разряда», о котором идет речь при гидролитической кислотности, замещается не только тогда, когда мы возьмем свободную щелочь, но и тогда, когда мы возьмем соединения, в растворе частично расщепляющиеся с образованием щелочи, т. е. растворы которых богаты ионами гидроксила. Таковы соли сильных оснований и слабой кислоты, как углекислый натрий и уксуснокислый натрий, растворы которых имеют щелочную реакцию, т. е. содержат больше гидроксильных ионов, чем ионов водорода. В этих случаях после реакции освободится известное количество слабой кислоты (угольной или уксусной). По соображениям аналитической техники, в которые мы здесь входить не будем, удобнее брать такие щелочно-реагирующие соли, чем свободные щелочи, а потому в инструкциях по определению гидролитической кислотности постоянно можно встретиться с рецептами применения уксуснокислого натрия или кальция.

Кроме того нужно иметь в виду, что в литературе по почвенной кислотности обычно (если не сделано особых оговорок) под именем гидролитической кислотности приводятся данные, полученные непосредственно при обработке почвы раствором уксуснокислого натра, между тем ясно, что всякий щелочной реактив будет реагировать не только с водородом «третьей очереди», но со всеми видами водорода, т. е. 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* 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.

Так как присутствие водорода в поглощающем комплексе и вообще состав поглощенных катионов определяют не только реакции 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 различить 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 (чернозем) или 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 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 (см. схему).

$$\text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} = Ca \\ = Ca \\ = Ca \end{cases} + 2H_2CO_3 = \begin{cases} \text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} - H \\ - H \\ = Ca \\ = Ca \end{cases} \\ + Ca(HCO_3)_2 \end{cases}$$

Это вхождение водорода в поглощающий комплекс начинается лишь после того, как из почвы вымыт весь углекислый кальций. Пока же последний еще имеется, он защищает собой основания поглощающего комплекса от замещения водородом.

Но процесс подзолообразования не ограничивается одним лишь вхождением водорода в поглощающий комплекс вместо вытесненных оснований, но затем водород [2] воды, подкисленной углекислотой, 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 остающаяся 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*:

[1] Происходит промывание почвы или нет, — это зависит не только от количества осадков, но и от величины испарения: например разница между климатом Москвы и Самары 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.

[2] Хотя угольная кислота и является слабой кислотой, но все же некоторая степень диссоциации H_2CO_3 на ионы $H^{\cdot}$ и $HCO_3^{'}$ имеет место.

Процентный состав поглощ. катионов (м.-экв.)			Содержание поглощ. катионов в % от веса почвы		
H	Ca	Mg	H	Ca	Mg
39,4	40,5	20,1	0,0007	0,014	0,004

Еще бóльшая 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	Процентное отношение поглощ. оснований			
	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 поглощенного водорода и бедностью кальцием [1] 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 бóльшую глубину, чем в случае подзолистых почв.

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 чем 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,

[1] Это обстоятельство мешает развитию культуры, например люцерны, для которой климат этого района чрезвычайно благоприятен, но без предварительного известкования она не может расти на кислых почвах.

третье — калий. Поглощенный натрий и водород в типичных черноземах отсутствуют. Емкость поглощения чернозема в связи с 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 и следующие данные для одного образца тульского чернозема.

Процентный состав поглощенных катионов (м. экв.)			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. Вхождение натрия в поглощающий комплекс делает почвенные коллоиды способными более набухать и сплываться от действия воды,— отсюда легкая потеря структуры у таких почв. 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. 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 постоянно вновь образовывать соду, зависящей от наличности в поглощающем комплексе натрия. Механизм образования соды, разъясненный Гедройцем, может быть изображен следующими схемами:

$$\text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} -\text{Na} \\ -\text{Na} \end{cases} + CaCO_3 = \begin{cases} \text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} = \\ = \end{cases} \text{Ca} \end{cases} + Na_2CO_3$$

или

$$\text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} -\text{Na} \\ -\text{Na} \end{cases} + Ca(HCO_3)_2 = \begin{cases} \text{Поглощающий комплекс} \begin{cases} = \\ = \end{cases} \text{Ca} \end{cases} + 2NaHCO_3$$

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 получать все время щелочные вытяжки вследствие образования Na_2CO_3. Таким образом промывание не удаляет соды, ибо

она вновь и вновь образуется путем взаимодействия между Na цеолитной части и углекислым кальцием почвы. Чтобы избавиться от процесса образования соды, нужно изменить самый состав цеолитной части нашей почвы, заменить в нем натрий кальцием. Это достигается

содержит азот, который при минерализации переходит в доступные для растений соединения. При разложении органических веществ выделяется углекислота, являющаяся растворяющим агентом для ряда

Но кроме клетчатки в клеточных стенках обычно содержится еще лигнин. Это вещество — не углеводного типа, совершенно иного состава; оно трудно поддается разложению, и потому при разложении растительных остатков оно может в конце концов оказаться в количестве, превышающем количество быстро разлагающейся клетчатки [1].

Точно так же может относительно возрастать процент белковых веществ не потому, чтобы они были действительно стойки против разложения, но 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), сопоставим содержание углерода и других элементов в главных составных частях растительного организма и в продуктах их разложения (в процентах):

	C	O	H	N
Клетчатка	44,4	49,4	6,2	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, что 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 (уходят 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):

[1] Лигнин отличается от клетчатки тем, что он не поддается гидролизу. Поэтому после обработки древесины крепкими кислотами, переводящими клетчатку в растворимые соединения, лигнин остается неизменным, сохраняя очертания одревеснивших клеток, как это видно при микроскопическом исследовании. Молодые клетки не содержат лигнина, и он отлагается в стенках готовых клеток вторично (откуда и название — «инкрустирующее вещество») и придает твердость деревенеющим тканям. 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 цепочек. В связи с этим содержание углерода в лигнине значительно выше, чем в клетчатке и в углеводах вообще, как это видно из приводимых дальше цифр. 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.

		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, как это видно например из следующего сопоставления состава торфа разных возрастов с составом лигнина (в процентах):

	C	O	H	N
Торф	57,8	36,0	5,4	0,8
	62,0	30,7	6,2	2,1
	64,1	26,8	5,0	4,1
Лигнин	65,5	28,6	5,7	0

Для характеристики направления этого процесса отметим, что в дальнейшем в течение геологических периодов он заканчивается образованием бурого и каменного угля [1].

Но все сказанное намечает происхождение гумуса лишь в общих чертах, в виде некоторой схемы. На деле же гумус, сообразно своему происхождению, представляет собою сложную смесь как веществ, входивших в состав растения [2] и частично не поддавшихся разложению, так и продуктов деятельности ряда разнообразных микроорганизмов, а 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 (щелочей, спирта, эфира, фтористого натрия) в них переходит большая или меньшая часть органического вещества, но меньше всего растворяется в воде, что и естественно, так как воднорастворимые 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 входят 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. Однако и помимо белков имеются

[1] Вот несколько ступеней этого дальнейшего процесса (в процентах):

	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	96,0	1,6	1,6	0,8
Графит	99,9	0	0,1	0

[2] А в состав растения входят кроме белков, крахмала и клетчатки еще жиры, воска, смолы, алкалоиды, глюкозиды, органические кислоты, пектины, дубильные вещества гемицеллюлезы и прочие соединения весьма разнообразного состава.

еще азотистые соединения в составе этих препаратов «гуминовой» кислоты, причем отчасти удается установить, сколько азота приходится на определенные группировки (амиды, аминокислоты) и сколько на некоторые более стойкие формы соединений, труднее поддающиеся действию обычных реактивов [1]. Для нас важно отметить, во-первых,

не только содержание органического вещества в пахотном слое невелико, но и сама почва глубже пахотного слоя не простирается.

В результате минерализации органического вещества азот переходит в конце концов в форму азотнокислых солей (нитратов), причем накопление этой формы азотистых соединений носит название н и т-

ливают. 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 — 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), 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.

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:

$$NH_3 + 2O_2 = HNO_3 + H_2O,$$

то должно быть налицо какое-либо основание для нейтрализации кислоты, так как в сильно кислой среде нитрификация 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 остающихся 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 все условия для благоприятного развития растений, ибо если процесс минерализации азотистых соединений останавливается на степени аммиака, то это означает, что в почве нехватает

[1] В этом случае на место кальция в комплекс входит водород азотной кислоты, но это позаимствование большей частью является временным, так как после использования растением азотнокислого кальция как источника азота значительная часть кальция остается в почве в воде $Ca(HCO_3)_2$, и тогда кальций снова войдет в поглощающий комплекс с выделением углекислоты в почвенный раствор.

или кальция для нитрификации 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) [1]. 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 мг N)	Это отвечает содержанию селитры на 1 га (в пахотном слое) (в кг)
Тамбовская	29,8	682
Шатиловская (б. Тульской губ.)	35,7	778
Чишминская (Башкирская АССР)	26,7	565
Кубанская	44,0	932

Поздний пар накопляет гораздо меньше нитратов, чем черный и ранней весною. Например к 1 июля содержание нитратов таково: пар черный—46,0; ранней весной—40,5; поздней весной—8,6 кг/га.

Таким образом в известных условиях к посеву озимых можно создать резерв нитратов или прибегая к раннему пару или же занявши пар рано убираемыми растениями и после них внеся селитру. Выбор одного или другого приема зависит от того, что в минимуме — земельная площадь или минеральные удобрения; чем больше последних, тем меньше нужды в паровом поле. Однако на почвах, бедных по природе и не получающих в то же время обильного навозного удобрения, образование нитратов идет слабо. Вообще есть связь между способностью почвы к накоплению нитратов и ее плодородием. Но 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 и 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 меньшают количество дренажных вод.

[1] Не следует смешивать влияния клевера с влиянием смеси клевера с тимофеевкой,— последняя на 3-й год пользования является потребителем того азота, который перед ем накопил клевер, и снижает содержание азота в почве, а не повышает его. Поэтому интенсивных хозяйствах Запада сеют клевер без тимофеевки, сокращая срок пользования до одного года (при двух укосах).

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 0,098, причем в дренажных водах найдено соответственное количество азота в виде нитратов, составлявшее в первый период опыта около 50 кг азота за 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 атмосферных 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 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 на 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 бояться не приходится, притом не только на целине, но и на пашне, так как большей частью почвенные воды не смыкаются 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 глубину подвергаются промыванию, и для них оставление в чистом пару не рекомендуется, а тем более это относится к условиям Севера, где имеются большие массивы песчаных почв (например б. Шенкурский у. Архангельской губ.) 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 такие 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.)

	После овса (не вспахано)	После ржи (вспахано с осени)	После ржи (вспахано и унавожено с осени)	После корнеплодов	После клевера
Количество воды (в м³ на 1 га)	800	1 600	1 620	1 621	1 100
Азот	1,3	13,0	19,8	18,1	4,8
P_2O_5	0,8	1,8	2,5	2,5	1,1
CaO	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 вспаханных 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 водяная растительность, потребляющая нитраты, может снижать их количество. Такие анализы во Франции для р. Сены производил Шлезинг, нашедший зимой 8—9 мг на 1 л; у нас же для р. Москвы — Ключарев, нашедший гораздо меньшее количество, — от 1,2 до 1,4 мг на 1 л. Шлезинг рассчитывает, что потеря азота в бассейне р. Сены составляет 5—8 кг на 1 га. В бассейне р. Москвы, 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 и снегом. Для Франции Шлезинг пришел к выводу, что потери от вымывания компенсируются соединениями азота, кото-

[1] См. обзор в книге Кудрявцевой, «Селитра в почве», 1927 г.

рый 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 и недостаточно), но для отдельных полей, в связи со временем вспашки и внесения удобрений, 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 денитрификаторов 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 органо-минеральных 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. Переход фосфатов в более растворимое состояние скорее возможен иными приемами, чем обработка, а именно: внесение некоторых прямых удобрений, сдвигающих реакции почвы в кислую сторону (сернокислый аммоний), некоторых косвенных удобрений (сера) 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. Достаточно только отщепления фосфорной кислоты, а не окисления, как в случае азота (то же относится к фосфору фитина и лецитина).

4. ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОЧВЫ С УРОЖАЕМ И ВОЗМЕЩЕНИЕ ИХ УБЫЛИ 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 высоких урожаях — в 30 ц на 1 га — такие количества (в кг):

$$N - 112; P_2O_5 - 39; K_2O - 77.$$

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 были до сих пор обычными, уносят 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.

Что касается валового содержания питательных веществ в почве,

то оно выражается для пахотного слоя в разных случаях такими приблизительно величинами (в килограммах на 1 га):

	N	P_2O_5	K_2O
Бедный подзол	1 021	1 700	15 000
Суглинок	3 720	2 834	42 500
Чернозем	10 630	6 22	68 600

Еслибы 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 вследствие более быстрого темпа истощения по сравнению с темпами перехода *элементов богатства* почвы *в элементы плодородия*, т. е. в усвояемую форму, сравнительно скоро наблюдается падение урожаев на бедных оподзоленных почвах (для этого достаточно немногих лет). Дольше истощению противостоит суглинок; еще дольше — черноземы, но в конце концов рано или поздно и на них становится 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 40-х и 50-х 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 на 1 га)

Удобрения \ Периоды (по родам)	1852—1859	1860—1867	1868—1875	1876—1883	1884—1891	1910—1920
Навоз (174 кг азота)	25,32	30,00	28,38	29,90	25,56	27,0
Полное минер. удобрение (54 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

На рисунке 3 данные 1852—1892 гг. нанесены графически, причем для того чтобы исключить влияние колебаний, зависящих от 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 до сих пор на-

[1] Но если бы это могло иметь место, то в силу избыточной концентрации питательных веществ, самые богатые почвы оказались бы наиболее бесплодными.

шим крестьянством, а через 60 лет они опустились до уровня, встречающегося у нас на тех отдаленных от деревень запольных землях, которые никогда не получают навоза (например нечерноземная часть б. Тульской губ.), причем уже возникает 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 и деятельности микроорганизмов и небольшому приросту азота за счет атмосферных осадков плодородие почвы повысится настолько, чтобы дать сколько-нибудь приемлемый урожай.

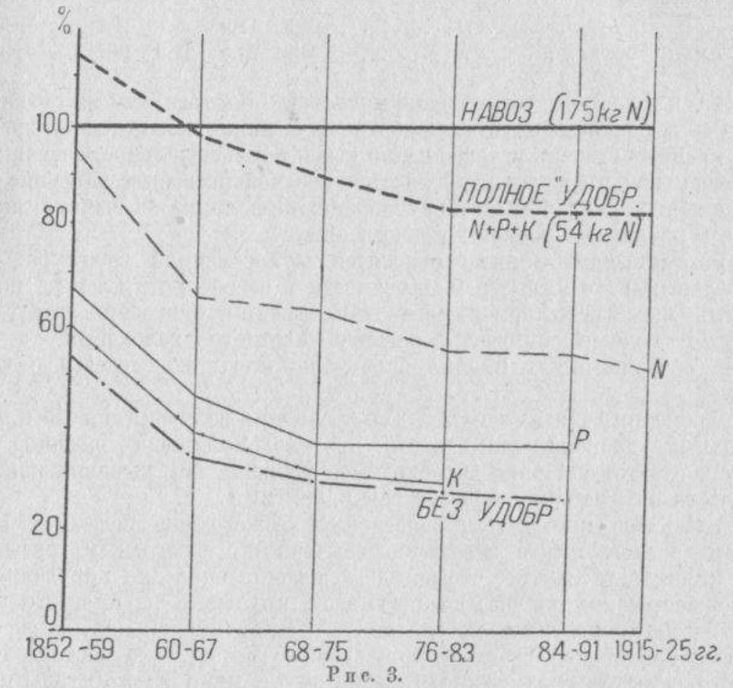


Рис. 3.

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 суглин-

[1] Под конец замечается даже как бы отрицательное действие внесения одного калия (см. цифры урожая 1884—1912 гг.), но здесь еще замешаны и побочные обстоятельства: при закладке опытов в 40-х годах, когда еще не было твердого списка необходимых для растений элементов кроме N, K и P вводили еще 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» у

ков, 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 г. по 1920 г. выразилось такими цифрами по десятилетиям (в центнерах на 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 мы видим, что падение произошло быстрее, чем на суглинке, и за 40 лет урожай опустился до 4 ц, т. е. ниже, чем там 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.

Кроме того в этих опытах, для сравнения значения навоза и минеральных удобрений как средств, противодействующих падению урожаев, отсутствует такое необходимое условие, как выравнивание количеств питательных веществ тем и другим [1].

Здесь же приходится сопоставлять ежегодное внесение 174 кг азота в навозе (что заведомо избыточно) с ежегодным внесением 54 кг азота в селитре, что 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.

В связи с этим приведем данные 30-летних 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.

[1] Например в такой форме: в навозе вносится 160 кг азота один раз в 4 года, в селитре вносится по 40 кг азота ежегодно.

Опыты велись в норфолькском четырехполье, в котором последовательность такова: пропашное, яровое, клевер, озимое, причем навоз вносился 2 раза в течение севооборота, а минеральное удобрение 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).

Приведем прежде всего данные для неудобренных делянок под разными культурами (средние по четырехлетним периодам, в центнерах с гектара) (см. также рис. 4):

Культуры	Периоды 1894—1897 гг.	1898—1905 гг.	1903—1913 гг.	1914—1921 гг.
Свекла (сухого вещества)	37,0	22,0	13,0	13,0
Картофель (сухого вещества)	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 севообороте*, так как клевер дает только азот 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.

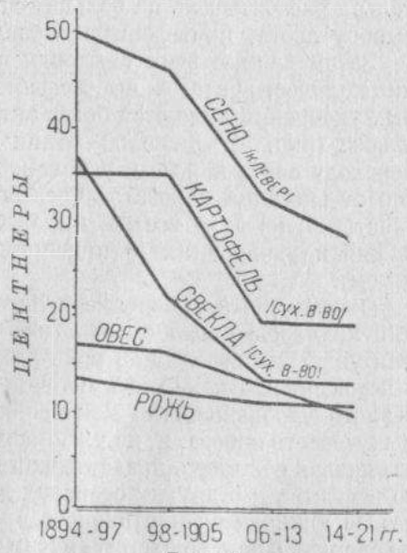


Рис. 4.

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).

Далее из данных опытов видно, что ежегодное возвращение почве питательных веществ в минеральных удобрениях по норме:

$$N - 40; P_2O_5 - 30; K_2O - 36,$$

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 и 480—500 ц кормовой свеклы и 50—60 ц клеверного сена (см. таблицу, 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 однако, что урожаи эти далеко не максимальные (статистическое среднее для Дании 29 ц пшеницы). При данной дозе азота нельзя рассчитывать на большее даже на фоне клевера (см. данные по выносу азота, приведенные в табл. на стр. 75).

Затем данные этих опытов показали, то при условии выравнивания количеств питательные вещества в растворимых формах минеральных удобрений являются более активными, чем питательные вещества навоза (рис. 5). Даже 30-летний 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 являлось *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 уяснивши роли азота, 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 деле борьбы 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 это 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 имеем дело с резко выраженным недостатком прежде всего фосфора и с невозможностью получить сколько-нибудь сносные урожаи без удобрения.

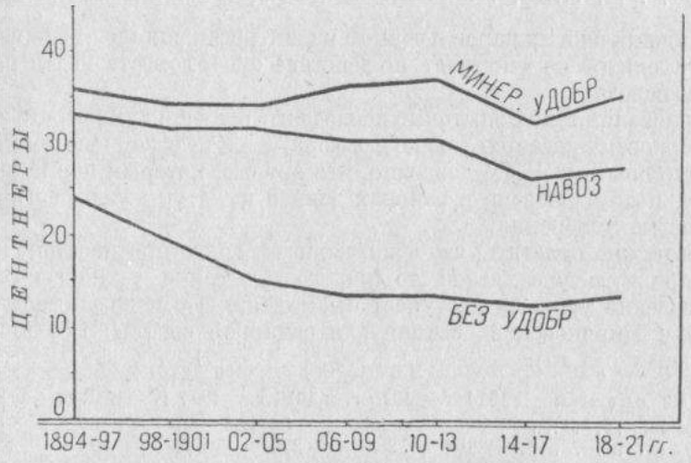


Рис. 5.

Для разных частей нашей черноземной полосы этот переход от ненужности удобрения к острой нужде в нем происходил в разные периоды [1]. Так, в 30-х годах прошлого столетия в бывш. Харьковской губ. применение навозного удобрения считалось вредным. В 80-х годах положение выражалось формулой, что для черноземной полосы обработка (ранняя вспашка пара) важнее, чем удобрение, а в начале этого столетия уже констатировано перемещение центра тяжести, и Харьковская опытная станция с ясностью доказала, что удобрение стало важнее, чем ранняя вспашка пара, как это видно из следующих цифр для урожаев ржи (в центнерах на 1 га):

[1] Теперь не легко представить, что прежде в бывш. Рязанской губ. навоз был не нужен, как это наглядно описано очевидцем: «Земля тучна, у крестьянина еле-еле хватает сил, чтобы собрать урожай. Весь навоз свозится к рекам, 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).

	Без удобрения	По навозу	Прирост от навоза
Поздний пар	12,0	19,8	7,8
Ранний пар	15,9	24,9	9,0
Прирост от ранней вспашки . .	3,9	5,1	—

Работами той же Харьковской станции было выяснено, что действие навоза на черноземе сводится почти целиком к действию фосфора, в нем содержащегося, как показывают следующие данные (среднее за 10 лет):

	Без удобрения	Селитра	Суперфосфат	Навоз
Урожай ржи по чистому пару (в ц/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.

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 уже реагируют на азотистые удобрения.

Затем нужно отметить, что если чернозем долго противостоит истощению при культуре хлебов, то при возделывании технических растений падение урожаев наступает быстро, как это показано опытами Сумской и Мироновской станций для сахарной свеклы. Вот пример (в центнерах с 1 га):

Урожай свеклы	1914 г.	1915 г.	1916 г.	1917 г.	1918 г.	1919 г.
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. Далее опытами Мироновской станции показано, что при севообороте с 40% свеклы, если в удобрениях давать только азот и фосфор, то уже через 10 лет чернозем проявляет явный недостаток и калия.

Таким образом на фоне обычного хода истощения чернозема в районах старой, прежде только зерновой, культуры такие мероприятия, как сокращение площади под чистыми парами и увеличение участия в севообороте технических культур, сильно повышают необходимость внесения кроме навоза и минеральных удобрений, тем более, что и в навозе у нас обычно чувствуется очень острый недостаток вследствие недостатка или полного отсутствия лугов и в то же время недостаточного развития кормового клина на полях в очень многих областях, особенно в ЦЧО и на Северной Украине.

Но кроме того приходится учесть, что *нам необходимо теперь не только бороться с истощением почвы* в целях противодействия дальнейшему падению урожаев, но мы стоим также *перед задачей поднятия урожаев*. Поэтому нужно не довольствоваться подсчетами выноса питательных веществ современными урожаями, но учитывать тот повышенный уровень, которого мы хотим достигнуть с помощью

удобрений, учитывая при этом значение и остальных агротехнических мероприятий

Понятно, что все, сказанное о необходимости борьбы с истощением, пока не относится к степным районам Заволжья, Западной Сибири и Казакстана, где культура молода, почвы не истощены, и недостаток влаги заставляет обратить главное внимание пока на вопросы обработки, а не удобрения.

Но вопрос о ходе истощения касается больше всего черноземной полосы в районах старой культуры. Почвы же подзолистой зоны бедны от природы, и тут приходится заботиться не о «восстановлении плодородия», как у нас часто 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 работами опытного поля б. Петровской академии).

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.

Только за пятилетие 1926—1930 гг. имеются данные по опытам географической сети НИУ, которые позволяют однако дать лишь предварительную характеристику потребности в удобрениях почвы разных типов (так как число опытов для громадной территории Союза все-таки недостаточно).

По совокупности до сих пор имеющихся материалов потребность отдельных почвенных зон в удобрениях может быть охарактеризована так:

Почвенные зоны	Азот	Фосфор	Калий
Подзолистая	Очень сильная	Сильная	Сильная
Северно-черноземная . .	Средняя	Сильная	Средняя
Южно-черноземная . . .	Слабая	Средняя	Слабая
Каштановые	Слабая	Средняя	Слабая
Сероземы	Сильная	Сильная	Слабая
Латериты	Средняя	Очень сильная	Слабая

Общие итоги действия полного удобрения (NPK) и отдельных удобрений видны из следующей таблицы (среднее за 1928, 1929 и 1930 гг.).

Типы почв	Урожаи по полному удобрению	Действие отдельных удобрений		
		N	P_2O_5	K_2O
Подзолистые болотные	258	218	223	186
Подзолистые суглинистые	187	177	128	120
Подзолистые суглинки	150	133	124	115
Серые лесные	160	142	124	109
Деградированные черноземы	149	126	125	109
Мощные черноземы	122	108	115	109
Обыкновенные черноземы	116	108	118	102
Предкавказский чернозем	110	107	103	102

Само собой разумеется, что потребность в удобрении разных почв может быть сравниваема только в том случае, если на всех почвах опыты ставятся с одним и тем же растением. Поэтому в опытах НИУ наряду с культурами зональными всюду вставлялись опыты с овсом как реактивным растением (так как овес может расти почти во всех зонах при должном выборе времени посева). При постоянной наличности кроме того опытов с культурами, специальными для каждой области, всегда можно судить о различиях в потребности отдельных культур между собой.

Самые высокие прибавки от полного удобрения и следовательно наибольшая потребность в удобрениях наблюдаются на подзолистых

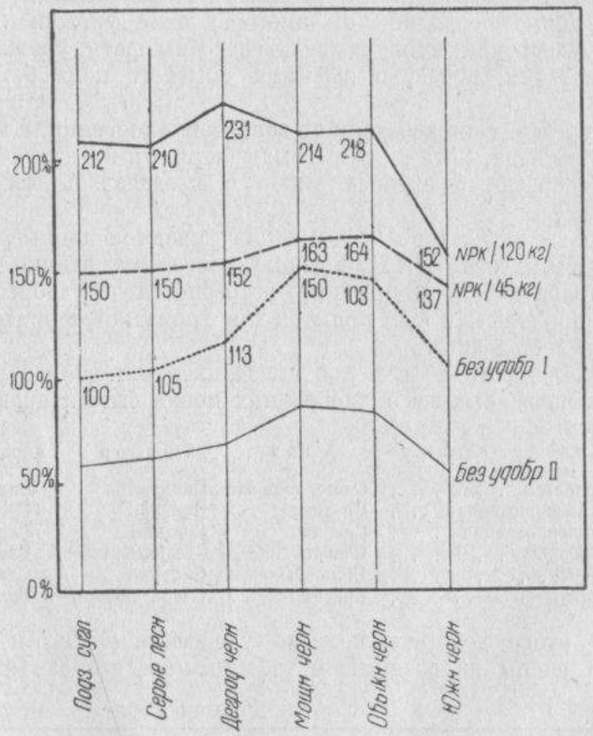


Рис. 6. Линия «Без удобрения I» обозначает урожай неудобренных делянок на полях опытных станций, а «Без удобрения II»—отвечает уровню урожаев яровых посевов в совхозах и колхозах по массовым данным.

почвах, серых лесных почвах и деградированных черноземах, которые вместе составляют область наибольшей эффективности удобрений. Из относящихся сюда почвенных разностей особенно выделяются высотой прибавок болотные почвы, которые даже при дозах удобрений в 45—60—45 кг (N, P_2O_5, K_2O) увеличивают урожай вдвое, а при повышенных дозах—в $2^1/_2$ раза.

Следующий по порядку тип почвы — мощные черноземы — занимает промежуточное положение, приближаясь по эффективности

удобрений в одних случаях, при высоких дозах удобрений, к деградированным черноземам, в других случаях, при малых дозах, — к обыкновенным черноземам.

Самые низкие прибавки дают удобрения на предкавказских черноземах, где они ни при каких дозах не превышают 17%. Далее к югу, на каштановых почвах и сероземах, но при условии орошения эффективность удобрений снова повышается.

Что касается действия отдельных удобрений, то для всех них *действие к югу также убывает, но кроме* того видно, что *внесение азота и фосфора в общем имеет больше значения, чем внесение калия* [1].

Если выразить величины урожаев без удобрения и по полному удобрению для всех почв в *процентах от урожаев на подзоле* без удобрения, то получается такая картина (см. рис. 6).

Отсюда видно, что подзолы, дающие без удобрения самые 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 оно выше общесоюзного среднего вследствие иного уровня агротехники. Поэтому удвоение против неудобренных делянок, бывших в опытах, отвечает приблизительно *утроению урожая против современного статистического среднего для всего Союза* под влиянием одновременного действия удобрений и улучшенной обработки.

[1] В приведенных цифрах действие азота, фосфора и калия определено по равности между действием тройной комбинации (NPK) и двойной (KP, NK, NP). Урожай на неудобренных делянках принят за 100. См. Лебедянцев, Бородич и Перегудов, Итоги географических опытов НИУ за 1926—1930 гг. Труды Агрохимического отдела НИУ, вып. 93 (1933).

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 одной шестой части (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 хлеба уносит всего лишь 16—20 кг на 1 га. Но при этом упускалось из виду, что эта цифра относится к тому низкому уровню урожаев (7 ц), на котором революция застала нашу страну и от которого мы хотим как можно скорее отойти. Такой уровень питания азотом означает не только низкие урожаи, но и низкий процент азота (а значит и белков) в урожае. Если же говорить об урожаях в 15 ц, то они уносят уже около 40—45 кг азота, а при 30 ц урожая вынос азота может достигать 100 кг. Технические растения уносят еще больше азота, как видно из следующего сопоставления (Германия, опытная ферма близ Галле):

Вынос азота (в кг с 1 га)

Зерновые хлеба	60— 85
Картофель	90—110
Масличные	125
Сахарная свекла	200

Кроме того необходимо иметь в виду, что вносить азотистые удобрения только по размеру выноса азота в урожаях повышенного уровня можно лишь после того, как почва должным образом заправлена удобрениями, т. е. в ней накоплен известный запас усвояемых веществ. Сразу же на бедной почве нельзя достигнуть близости между внесенной дозой азота и потреблением азота растениями, так как последние не воспринимают без остатка всего азота, внесенного даже в наиболее растворимых соединениях, вследствие чего необходим известный избыток удобрения. Конечно размер выноса должен быть правильно учтен, но не он один решает вопрос о норме азотистых удобрений, так как необходимо еще принять во внимание судьбу урожая. Так, в одних случаях питательные вещества 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).

На деле однако возвращение в почву азота с навозом происходит далеко не в той мере, как это подсчитывается на основании состава соломы и кормов, так как при хранении навоза происходят потери азота, которые в наших условиях нужно считать достигающими 30—50%, пока условия хранения навоза не изменятся. Улучшение азотного баланса путем крупного расширения посевов клевера, дающее самый дешевый азот, возможно в принципе, если оно не связано с сокращением площади других культур (что неприемлемо) или с крупным расширением посевной площади, что требует времени [1]. Но и в будущем, когда это будет возможно, после того как химическая промышленность удовлетворит потребности прежней посевной площади и начнет давать избытки для химической мелиорации новых площадей, всегда останется следующая разница между азотом навоза, клевера, зеленого удобрения и торфа, с одной стороны, и минеральным удобрением, — с другой. *В первом случае мы имеем дело с источниками азота, хотя и дешевыми, но мало подвижными*, 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.

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).

Наибольшее число опытов по действию азотистых удобрений на количество и качество урожая произведено было на земном шаре с селитрой; она *же вводится как стандарт при изучении действия других азотистых удобрений*. Кроме того необходимо принять во внимание, что все остальные виды азотистых удобрений при внесении их в почву обычно в главной своей массе также *превращаются в азотнокислые соли* благодаря процессу нитрификации. Поэтому рассмотрение действия азотистых удобрений мы начнем именно с *селитры как прототипа этого рода удобрений*, несмотря на то, что азотная промышленность в данный момент производит значительно больше аммиачных солей, чем селитры, но надо надеяться, что в дальнейшем доля азота, приходящаяся на синтетическую селитру, все же будет увеличена (независимо от того, с каким катионом будет связываться NO_3).

1. ЧИЛИЙСКАЯ СЕЛИТРА, ИЛИ НИТРАТ НАТРИЯ ($NaNO_3$)

Чилийская селитра привозится в Европу из Южной Америки, где наиболее богатые залежи ее находятся главным образом в Чили (в пу-

[1] У нас еще возможна такая перестройка севооборотов, при которой площадь клевера расширится за счет паровых полей, но там, где паровые поля почти исчезли (Бельгия, Голландия, Дания, Германия), этот выход отпадет.

стынных и безлесных плоскогорьях, на высоте около 1 000 м над уровнем моря, между Кордильерами и грядой прибрежных возвышенностей), а также и в некоторых районах Боливии. 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, которое для нас интересно в связи с поисками селитры в Средней Азии, не имеется точных данных. 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 тех местах, где она теперь отложена. Это следует думать на том основании, что при разложении органического вещества должна оставаться на месте фосфорная кислота, обычно в виде известковых солей как мало растворимых. 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 же высказано было мнение, что селитра эта — *обычного почвенного происхождения*, что она постепенно выщелачивалась со склонов Кордильерской цепи, а на плоскогории подпочвенные воды благодаря непроницаемости подстилающих глинистых сланцев и кристаллических пород и препятствию к дальнейшему движению в виде береговой цепи возвышенности должны были скопляться и, выступая на поверхность, испаряться и выделять 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 в нее 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 таким образом из $NaNO_3$ в смеси с хлористым натром, сернокислым натром, глиной, песком и другими примесями. Первое время использовали только высокопроцентные залежи например такого состава (данные двух анализов, в процентах):

[1] Что касается отсутствия скопления селитры в морской воде, то оно объясняется постепенным ее потреблением растительными организмами. При условиях же образования залежей в Чили растительность очевидно не могла развиваться благодаря высокой концентрации раствора солей.

	I	II
$NaNO_3$	60,97	47,2
NaCl	16,85	7,4
Na_2SO_4 и (H_2O)	4,06	26,0
Иодноватокислого калия	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 меняется в зависимости от температуры; для примешанного же к ней хлористого натра она изменяется очень мало. 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; в настоящее же время к большей части крупных гаваней проложены рельсовые пути и широко используется автотранспорт. Химически чистая натровая 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, что проверяется анализами на контрольных станциях.

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 надолго 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 80-х годов прошлого столетия и достиг к 1913 г. 2 740 000 т, причем главной потребительницей явилась Европа, и лишь меньшая часть потреблялась в Америке (Соединенные штаты). 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	Невывезенные запасы
1927 г.	2 378 тыс. т.	1 028 тыс. т.
1928 »	2 801 » »	2 133 » »
1929 »	2 898 » »	2 662 » »

Таким образом еще до обострения кризиса в Европе в Чили непроданные запасы достигли того же размера, как годичный экспорт. При сохранении прежнего уровня по абсолютным размерам общего вывоза относительное участие Чили в мировой азотной промышленности опустилось теперь с 64% (в довоенное время) до 20—22% вследствие развития синтетической азотной промышленности.

В период общего господства селитры на рынках Европы довоенная Россия почти совершенно воздерживалась от ее применения, что представители западной агрономии в общем 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 [1]:

	I. Пшеница	II. Селитра	II в % от I
Германия	11 р.	9 р.	80%
Россия	3,6—4,8 р.	15—18 р.	300—500%

Таким образом применение селитры при культуре хлебов было в довоенных условиях большей частью невозможным 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 были тем ниже (а на удобрение тем выше), чем более мы будем удаляться от западной границы. Можно выставить еще более общее положение: если по земному шару происходит передвижение хлебных грузов в какомлибо 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 перевозится преимущественно в Европу.

Действие на растения селитры и ее заместителей [2]. Ни для одной группы удобрений не наблюдается таких различий в отношении к ним различных групп растений, как для группы удобрений азотистых, в частности селитры. Так, приходится исключить все растения семейства бобовых из числа растений, удобряемых селитрой. Нельзя сказать, чтобы селитра на эти растения совершенно не действовала, но действие это, если оно и имеет место, мало по размерам и делает употребление селитры под бобовые невыгодным.

Мало того, иногда оно может быть прямо вредным, например при культуре зерновых бобовых, когда избыток азота, затягивая развитие растения и усиливая образование вегетативных органов, понижает урожай зерна; или при культуре люцерны селитра 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 для нечерноземных почв является возможность приблизительного подсчета, сколько нужно внести азота в форме селитры, чтобы достигнуть такого-то повышения урожая? Приведем здесь пример такого подсчета, чтобы показать, что для достижения заметных результатов нужны не те малые дозы селитры,

[1] Цена за 1 ц в золотых рублях.

[2] Мы рассмотрим на примере селитры действие азотистых удобрений на растения с тем, чтобы при других удобрениях можно было отметить только различие их действия от действия селитры.

которые у нас раньше применялись, но не производили должного действия, а значительно бо́льшие, так как селитра — не стимулятор, а питательное вещество, и потому от малых доз нельзя ожидать значительных эффектов.

Допустим, что мы хотим вместо 10 ц зерна иметь 20 ц, причем фосфором и калием почва обеспечена, влаги достаточно, и должной обработкой обеспечен доступ воздуха к корням, 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. 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 усиленное развитие корневой системы; главное же, нужно учесть, что растение не может использовать внесенную селитру целиком, усваивая 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 западноевропейской практике*. У нас же прежде, под влиянием довоенной экономики, если и вносили селитру, то в слишком малых дозах (1 ц/га), причем эти малые дозы применялись не только в хозяйствах (например свекловичных), что было правильно при прежних экономических условиях, но ими ограничивались и в опытном деле, что приводило к неверным заключениям о значении минеральных удобрений для нас вообще, ибо без азота калий и фосфор не действовали иначе, как 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 [1]	Селитра		
		1 ц	2 ц	3 ц
Урожаи ржи в среднем за 3 года	11,2	14,0	18,4	20,4
Прибавка зерна	—	3,8	7,2	9,24

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.

[1] При обеспеченности калием и фосфором урожаи, полученные в этом опыте при внесении 3 ц селитры, отвечают как раз тому теоретическому подсчету, который приведен выше, т. е. близки к максимуму, который вообще может быть получен при данной дозе азота.

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 западноевропейским 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 достижимыми на практике (но в цитированном выше новозыбковском опыте это имело место).

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. Так, в приведенном выше опыте Новозыбковской станции с рожью при 3 ц селитры получилось 9,2 ц прироста, т. е. осуществился вагнеровский коэфициент для ржи (3). В данных Вятской станции мы находим случаи 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 ц)	0	2	4	8
Урожай зерна (в ц)	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, чем на опытных станциях, 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 из 7 430 опытов, произведенных в период 1901—1918 гг. в разных местах, 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 *нет никаких особенностей ни в наших почвах ни в климате полосы достаточного увлажнения, которые мешали бы нам теперь же получать от удобрения такие эффекты, как на Западе*, если мы применим нормальные количества удобрений и создадим удовлетворительный агротехнический фон.

[1] При дозах 1—3 ц/га.

Затем нужно не упускать из виду, что коэфициенты Вагнера относятся к некоторым средним дозам селитры (3—4 ц/га). Если же 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; также 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 селитры и высотой урожая (на фоне КР):

	Доза селитры (в ц)						
	1	2	3	4	5	6	7
Прирост зерна	2,5	7	13	16	19	20	20
Средняя оплата зерном 1 ц	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 меняется). Как раз в наших довоенных опытах, когда давался 1 ц селитры, получалась пониженная оплата этого центнера зерном, как и в опытах Вагнера. Причины неполного эффекта малых доз селитры на бедных почвах Вагнер объясняет так: 1) голодающие (в отношении азота) растения имеют ненормальный состав: в них понижено содержание азота; при внесении ограниченного количества селитры часть азота потратится на исправление ненормального состава, и только другая часть пойдет на повышение урожая ржи, 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 выше); первые дозы азота идут на исправление этого соотношения (усиление развития надземных 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 и 68% на корни), при первой дозе азота это отношение было 65 и 35%, а при следующей дозе азота—81 и 19%). Словом, у растения есть как бы свои необходимые общие затраты, и только после их покрытия наступает возможность продуктивного внесения следующих доз азота.

Отсюда Вагнер делает такой вывод: на бедных почвах, дающих урожай 10—12 ц зерна, но по физическим свойствам не плохим, нужно давать селитру не меньшими дозами, как 2,5—3 ц/га; если же селитры мало, то лучше на меньшей площади дать по этой норме, чем всю площадь удобрять малыми дозами селитры. Наоборот, если почва «заправлена» и дает по калийно-фосфорному фону урожай в 25 ц зерна, то на нее можно вынести и меньшую дозу (1,5—2 ц) с шансом должного прироста зерна на каждый центнер.

Первый случай, когда не следует применять малых доз, имел место у нас при довоенных опытах, когда на тощие крестьянские земли рассевали 1 ц селитры.

Внесение селитры (и других азотистых удобрений) влияет не только на урожай, но и на *качество зерна*: именно повышается содержание белков, и число стекловидных зерен увеличивается за счет зерен крахмалистых. Размер этого влияния может быть различным; он сильнее конечно в условиях нечерноземной полосы, где почвы бедны азотом, чем например в Заволжье, где и без удобрения богатый азотом чернозем и сухость климата дают наиболее богатую белками (клейковиной) пшеницу, но например по опытам, произведенным в Германии, возможны 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) [1].

Для целей пищевых и кормовых ценится высокая белковость зерна, но для некоторых технических целей большого процента белков избегают и желают иметь больше крахмала. Это относится к пивоваренному ячменю, при культуре которого приходится избегать внесения значительных количеств селитры и других азотистых удобрений.

Кроме того селитра может влиять на *соотношение в развитии органов* хлебных злаков. Так как азотистые удобрения вообще вызывают более обильное развитие вегетативных органов, то и 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 селитрой 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 получилось больше, чем без селитры. Обычно эти разницы невелики, 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)[2].

В Западной Европе при стремлении получить максимальные урожаи однако встречаются *с другими неблагоприятными влияниями избыточного внесения азота*, — таков риск полегания обильно кустящихся и пышно развивающихся хлебов. Отсюда особая задача для селекционеров Запада, — выведение сортов пшеницы, способных без полегания вытерпеть большие дозы азота (кроме того внесение селитры сопровождается внесением должных количеств фосфора и калия).

Далее в случае поражения хлебов грибными заболеваниями (например ржавчиной) растения, обильно питавшиеся азотом, *легче поражаются грибками*, чем при умеренном доставлении азотистой пищи.

Кроме возможности неблагоприятного влияния избыточного удобрения на растения отметим, что *при утрированном одностороннем удобрении почвы только селитрой* происходит *вытеснение кальция из поглощающего комплекса натрием*, и тогда строение почвы может ухудшиться. Получается наклонность к сплыванию и образованию

[1] А именно: 100 ч. пшеницы, богатой белком, содержат 20 ч. белка, 60 ч. крахмала, 12% воды, немного клетчатки, жиров и золы; 100 ч. мяса: 20 ч. белка, 70 ч. воды, некоторое количество жира и зольных веществ.

[2] Мы отмечаем эти влияния независимо от того, применяется ли селитра как таковая в той или иной местности, или ее избытки образуются в почве при внесении значительных количеств навоза.

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 [1].

Но обычно селитра вносится не в тех количествах, как в этом случае NaCl, а, главное, в удобрения одновременно вносится кальций (в суперфосфате, в томасовом шлаке), так что *это опасение не реально*, но мы считаем 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 является совершенно излишним, поэтому, когда перешли к синтетической селитре, стали вместо натровой селитры готовить кальциевую, о которой будет речь ниже.

При *внесении селитры* нужно заботиться, во-первых, об очень 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, лучше внести одну треть, а, по крайней мере, две трети оставить до весны, когда она может быть внесена поверхностно. 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. Однако в климатах континентальных этот прием не годится, так как в черноземной полосе летом преобладает не опускание, а поднятие влаги кверху, а потому поверхностное внесение селитры может остаться без действия.

Обычно не рекомендуют вносить селитру *при орошении*, а заменять ее аммиачными солями. Однако это относится к случаям обильного орошения, когда смыкаются оросительные воды с подпочвенными или когда на сторону стекают избыточные («сбросные») воды; 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

[1] Кроме вытеснения кальция из поглощающего комплекса непосредственно при внесении селитра может способствовать накоплению щелочных остатков в почве, так как HNO_3 поглощается растениями скорее, чем NaOH, и последний будет давать соду с углекислотой, выделяемой корнями. В Ротамстеде после 60 лет ежегодного внесения $NaNO_3$ было констатировано несмотря на влажный климат Англии наступление солонцового типа почвообразования, подщелочение почвенного раствора и соответственная смена растительности (опыт делался на лугу). 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 (и даже возможности) применять часто $NaNO_3$; $Ca(NO_3)_2$ и $CaCN_2$ образования соды не вызывают, а аммиачные соли оставляют кислые остатки и чередованием удобрений можно предотвратить всякое одностороннее изменение состава поглощающего комплекса и почвенного раствора.

вод и промывания почвы ни стока на сторону, опасения относительно вымывания отпадают.

На Западе, где почти все культуры получают селитру (или заменяющие ее азотистые удобрения), *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 ближайшего пятилетия, придется в порядке очередности направлять азотистые удобрения *прежде всего под технические культуры*, с тем чтобы следующие за ними в севообороте хлеба использовали только «последействие» внесенных удобрений, и только потом, по мере роста продукции минеральных удобрений, станет возможным поднятие урожаев хлебов путем непосредственного внесения под них азотистых и других удобрений (пока же для хлебов должен быть использован азот навоза, клевера, зеленого удобрения, азот целинных земель на юго-востоке и азот торфа на севере).

Из технических культур *сахарная свекловица* явилась первым проводником применения селитры (с суперфосфатом) еще в довоенное время. 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 бы уже оплатить применение хотя бы невысоких доз

копляться в почве в гораздо большем количестве, чем в тех условиях, в каких культивируется свекла в Германии.

Но благодаря быстрому переходу от зимы к весне в нашем континентальном климате и необходимости сеять раньше, чем почва прогрелась бы во всю толщу и нитрификация пошла бы полным ходом, молодые растения нуждаются в растворимой азотистой пище; поэтому если дать в рядки совсем небольшое количество ее (например 0,5 ц/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 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 исчезли незанятые паровые поля перед свеклой, которые были у нас раньше по-

На этих цифрах мы снова видим, насколько прежние опыты с 15—20 кг азота давали неверное представление о значении минеральных удобрений для нашего земледелия.

К картофелю приложимо многое из того, что было сказано о применении селитры под свеклу как в смысле влияния на размер урожая, так и на качество (в этом случае — содержание крахмала); так же, как и там, одновременное внесение фосфатов позволяет достигнуть значительного влияния удобрений 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 опять-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; «весенний подкорм» малыми дозами 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. Площадь под картофелем у нас значительно больше, чем площадь под свеклой; культура эта много проще и менее требовательна, и помимо технического значения имеет большое продовольственное значение, но до сих пор урожаи картофеля были у нас вдвое ниже, чем в Германии, а площадь вдвое больше; значит, *из-за неприменения удобрений мы несли двойной труд* для того, чтобы получить то же самое количество картофеля, какое имеет Германия.

Так же, как и в случае хлебов, в довоенных наших опытах 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 на 1 га):

Почва	Без удобр.	РК	Прибавки от азота (на фоне КР)						
			Азот в кг						
			10	15	20	30	45	60	90
Ленинградская опытная станция (суглинок)	186	212	—	17	—	23	48	—	71
Бутылицкая опыт. станц., супесь	43	63	5	—	14	26	—	51	—
Симбилеевская опытная станция (серая лесная)	96	97	12	—	22	37	—	62	—
Чувашская опытная станция (серая лесная)	130	132	—	20	—	34	49	59	78
Полесская опытная станция (супесь)	84	109	—	4	—	17	63	61	—
Колхоз Петровск (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 из-за 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/га. При дозах в 45—50 кг азота понижения крахмалистости обычно не замечается.

В случае *избыточного применения* селитры под картофель (или образования селитры в почве после внесения навоза, аммиачных солей и пр.) получается кроме удлинения вегетационного периода и замедления созревания клубней (вследствие отложения в них крахмала) еще повышенная наклонность к заболеванию в годы распространения мокрой гнили (Phytophtora infestans).

Для прядильных культур удобрение селитрой (или ее заместителями) 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 имеет место крайний недостаток навоза в связи с тем, что пока нет возможности провести как правило культуру хлопчатника на фоне азотособирателя (люцерны), поэтому азотный вопрос является для хлопчатника более острым, чем для любой другой культуры в Союзе; так свекла имеет азот чернозема, возделывается в севообороте, поэтому больше обеспечена навозом; для азотособирателя (клевера) также больше места. Лен (на волокно), хотя он и возделывается в районе почв, бедных азотом (подзолы), имеет севооборот к клевером; 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, будет ли это селитра или ее заместители. Действие различных доз азота видно например из следующих данных Каунчинской опытной станции (близ Ташкента):

Дозы азота (в кг) [1]	30	90	120	180	300
Прирост урожая за 2 года (в кг)	3,5	10,3	19,8	22,9	24,5
На 1 кг азота получено сырца (в кг)	11,6	11,4	16,5	12,7	8,2

Что касается сравнения селитры с другим удобрением, то несмотря на культуру хлопчатника с орошением [2] действие ее не уступало действию других форм, хорошо поглощаемых почвой, и несколько даже превосходило их. Что касается влияния на качество урожая, то оно демонстрируется следующими опытами, проведенными на Каунчинской опытной станции Сабининым:

[1] Данные за 2 года приведены потому, что в условиях орошения происходит перемещение нитратов на глубину до 2 м и действие удобрения растягивается на 2 года (и более).

[2] Испытывались преимущественно KNO_3 и $Ca(NO_3)_2$, причем имеется в виду действие только аниона. В то время как в других случаях селитра сама является стандартом, при орошении приходится проверять полноту ее использования сравнением с аммиачными солями и другими удобрениями, не подвергающимися такой опасности вымывания, как селитра вскоре после внесения (но далее нитрификация, весьма энергично идущая в почвах Средней Азии, сближает между собой все азотистые удобрения).

Доза азота на одно растение (в г)	0	1,5	3,0	6,0
Урожай хлопка-сырца на одно растение (в г)	12	31	73	78
Выход волокна (в %)	29,6	29,6	35,1	36,2
То же при одновременном внесении суперфосфата (в %)	—	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 НИУ доказано, что большей частью *азот является в первом минимуме*. В то же время по имеющимся литературным данным избыток азота является нежелательным, так как при этом может понижаться выход волокна; а 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 ценят «старую силу почвы», т. е. запас азота в органическом веществе, при нитрификации чрезвычайно равномерно снабжающий растения азотом. Чтобы внесение селитры (и других 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 НИУ со льном (1928—1931 гг.) наблюдались следующие прибавки от разных доз азота (по сравнению с РК) для разных почв (в ц/га):

		Дозы азота (в кг/га)	30	40	60	90	Урожай контр. по О	РК
Подзолистая зона	Семя		0,2	0,7	0,9	1,4	4,2	4,4
	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
	Солома		4,7	8,7	6,8	8,7	17,4	21,0

Относительно влияния на качество урожая возрастающих доз селитры имеется такой опыт (Долгопрудное опытное поле, НИУ):

Доза азота (в кг/га)	40	45	67
Выход трепаного волокна (в %)	12,0	12,9	11,8

Таким образом в данных условиях при дозах, не превышающих 45 кг, не замечалось снижающего влияния селитры на выход волокна, действие же на урожай этой дозы может быть уже весьма значительным (при том на серых лесных землях значительно выше, чем на подзолах).

Но помимо тщательности распределения селитры и других 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 селитру раньше, чем ее 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 наибольшие урожаи 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 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 (Ленинградский район):

Урожай по РК 512 ц					
	Доза N (в кг/га)	30	60	120	180
	Прибавки урожая (ц/га)	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	KP	NKP
Урожай (ц/га)	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 теина в нем (которое однако не является единственным фактором определения качества 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 содержание хинина в хинном дереве [1] (для последнего например одновременное повышение урожая и качества его) может привести к следующему результату:

Доза азота (в кг/га)	56	85	127	190	285
Получено сернокислого хинина (в кг/га)	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 ценности, но также и потому, что эти требовательные к азоту культуры при интенсивном развитии в особенно подходящих для них районах вытесняют и навоз из хозяйства.

[1] Опыты по акклиматизации хинного дерева ведутся под Сухумом.

В этом отношении мы, находясь в начале развития азотной промышленности, должны в пределах предстоящего пятилетия (до 1937 г.) итти иным путем, чем Западная Европа, где пшеница явилась главным потребителем чилийской селитры; у нас же, во-первых, еще есть пшеничные районы, где хозяйство ведется не только без селитры, но даже и без навоза, что невозможно для Западной Европы, не имеющей чернозема, а в районах нечерноземных (или истощенных черноземов) мы должны компенсировать недостаток азота для хлебов усиленным развитием клеверосеяния.

Последним угодьем, до которого доходит очередь применения азотистых удобрений, являются л у г а, 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 же 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 (Хибины 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 в южной Германии считают, что с помощью азотистого удобрения можно двухукосные луга 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 ц/га):

	Без удобр.	KP	NKP
Суходол	16,0	21,5	58,3
Заливные луга . . .	44,7	55,0	74,7

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

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 поднятия процента бобовых.

При опытах НИУ по сравнению форм азотистых удобрений (на фоне суперфосфата и калийной соли) селитра значительно превосходила по действию другие азотистые удобрения при культуре льна на подзолистых почвах (6,2 ц прибавки урожая соломы против 4,7 ц, в среднем, от остальных форм); то же относится к ячменю (11,2 ц, в среднем, против 6,4); на овсе различия были не столь велики (10,4 против 8,9); для картофеля этой разницы в пользу селитры вовсе не было. Сахарная свекла в отличие от картофеля показывает перевес на стороне селитры (66 ц против 54, в среднем для всех остальных форм). В сумме прирост урожая от селитры для всех культур составлял 40%, для остальных форм азота — от 28 до 38%.

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).

2. КАЛИЙНАЯ, ИЛИ ТУРКЕСТАНСКАЯ, 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, а 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 с лишком раза меньше, чем калия (меньше 14% N и больше 46% K_2O), в удобрениях же требуются обычно или равные количества азота и калия, или азота нужно давать больше, чем калия, поэтому, если 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, 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 («туркестанская селитра»); 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, бессточных котловинах. Процесс селитрообразования констатирован в ряде случаев от снеговых вершин Памира до известковых скал на берегу Каспия (Красноводск); местами встречаются нитратные со-

лончаки 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, отделивши раствор от землистых частей, выпариванием 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).

3. КАЛЬЦИЕВАЯ, ИЛИ 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 потому 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 натровой селитры и аммиачных солей, даже при обильном и частом внесении не только не может быть ухудшающего влияния 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:

$$\boxed{\text{поглощающий комплекс}}\begin{matrix}=\\=\end{matrix}\begin{matrix}H\\H\end{matrix} + Ca(HCO_3)_2 =$$

$$= \boxed{\text{поглощающий комплекс}} = Ca + 2H_2O + 2CO_2.$$

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 именем норвежской селитры, 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 путей к этому использованию не было случайным, — оно явилось следствием планомерных исканий выдающихся представителей химической мысли конца XIX и начала XX столетий.

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 иссякнуть [1], а 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 соединяться 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.

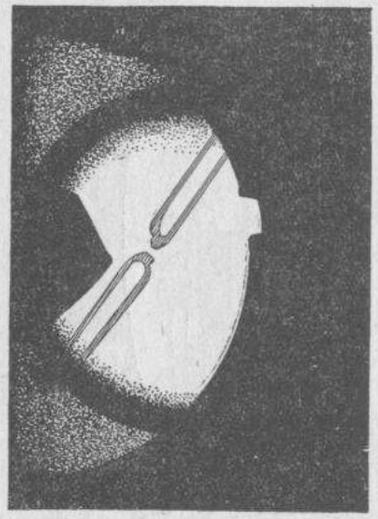


Рис. 7. Электроды и диск пламени.

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 Биркеланда, 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, см. рис. 7); таким образом оказалось возможным сделать вольтову дугу подвижной 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 Биркеланда достигает 3 000° С, но приходится вдувать избыток воздуха, так что отходящие газы, имеющие температуру 600—800°, содержат около 5% окиси азота (NO), которая 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 Биркеланда 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

[1] Крукс тогда предсказывал истощение чилийских залежей в 1925 г., но вследствие перехода к переработке низко процентных залежей, количество которых раньше не было полностью учтено, явилась возможность продолжить эксплоатацию чилийских залежей еще на значительный период.

(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», где окислы азота, реагируя с водой, дают азотную кислоту.

Ввиду того что первая стадия окисления азота воздуха требует слишком больших затрат энергии, *теперь поступают иначе, именно, подвергают окислению не свободный азот воздуха, а синтетический аммиак*, для образования которого нужно в 15 раз меньше энергии, чем расходуется при прямом окислении азота, самое же окисление аммиака происходит с *выделением тепла*, поэтому он не только не требует энергии, но еще является источником тепла на заводе; дальнейшие стадии проходят в окислительных и поглотительных башнях, в основном таким же образом, как и в первоначальном способе получения норвежской селитры, именно, в поглотительных башнях, наполненных кусками кварцита, навстречу газу пускается ток воды, и тогда-то и происходит образование азотной и азотистой кислот:

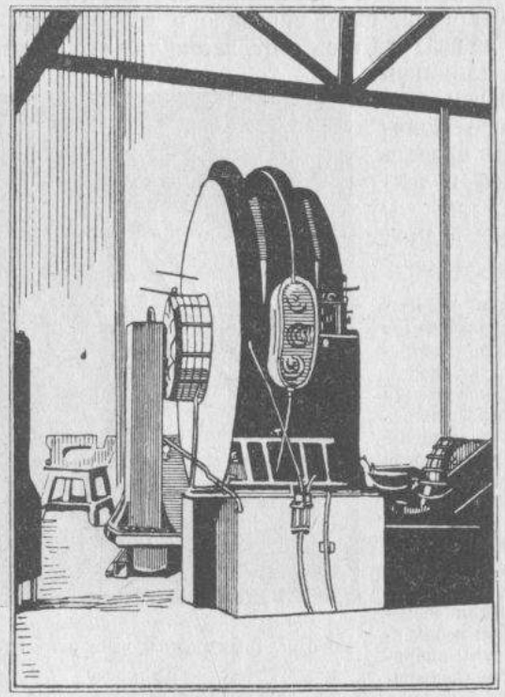


Рис. 8. Внешний вид печи.

$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2.$$

Азотная кислота хорошо поглощается водой, и повторной циркуляцией доводят ее концентрацию до 50%, что уже достаточно для приготовления кальциевой селитры (для других целей доводят концентрацию HNO_3 до 98%).

Что касается азотистой кислоты, то она не стойка, ее ангидрид N_2O_3 распадается на смесь NO_2 и NO, эти газы снова проводятся через окислительные и поглотительные башни, и так постепенно азотистая кислота также доокисляется до азотной.

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.

Теперь «норвежская» селитра может приготовляться на любом заводе синтетического аммиака, обладающем окислительными установками; между прочим, она готовится и в Германии, где рынок платит за азот селитры значительно дороже, чем за азот сульфата аммония (в 1927 г. один кг азота стоил 87 пфенигов в сульфате и по 1 марке 15 пф. в кальциевой селитре); таким образом издержки на окисление аммиака окупаются (тем более, что избегается расход на серную кислоту, вместо нее нужен более дешевый материал — известняк).

Спрос на кальциевую селитру в Германии объясняется тем, что *она является универсальным удобрением, пригодным для всех почв*; при ней нет риска накопить 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, выбор же между чилийской и кальциевой селитрой определяется тем, что последняя содержит кальций вместо ненужного натрия [1].

В опытах НИУ норвежская селитра занимала среди азотистых удобрений одно из первых мест, как и чилийская селитра; так, она давала приросты в 6 ц льняной соломы против 4,7, в среднем, для остальных форм (на фоне суперфосфата и калийной соли), 54 ц сахарной свеклы против 46 ц для остальных форм; для картофеля, как и в случае $NaNO_3$, преимущества $Ca(NO_3)_2$ над аммиачными солями не замечалось.

4. АММИАЧНЫЕ СОЛИ

Аммиак каменного угля

До возникновения промышленности синтетического аммиака главным источником его были отходящие газы коксовых печей и очистительные установки газовых заводов.

Каменный уголь содержит 0,5—1% азота, но при сухой перегонке угля только часть его переходит в аммиак, который содержится и в конденсационной воде и в отходящих газах, из которых он выделяется при промывке водой. Преимущественно это углекислый аммоний, частью же хлористый, сернистый и сернистокислый и роданистый аммоний. Аммиак отгоняется из аммиачной воды, к которой прибавляется известь, улавливают его обыкновенно серной кислотой, и потому сульфат аммония является главным азотистым удобрением.

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 одного гектара.

При сухой перегонке угля получают кроме аммиака ряд ценных жидких и газообразных продуктов, при использовании которых легко улавливать и аммиак. В довоенное время коксовые печи Донецкого

[1] Имеется предложение взамен такого чередования применять смесь $Ca(NO_3)_2 + (NH_4)_2SO_4$, что дает одновременно повышение процента N против $Ca(NO_3)_2$ и устранение гигроскопичности (тогда, поскольку есть влага, будет итти образование $CaSO_4.2H_2O$, а кристаллизационная вода гипса есть уже устраненная вода).

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 тысяч тонн. Теперь же у нас кроме использования отходящих газов коксовых печей в Донбассе то же производится на очень крупных установках в Магнитогорске, Кузнецке и Кемерове [1], к которым должны затем присоединиться такие же установки в Черемхове (близ Иркутска) и в Караганде (Казакстан).

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, причем нам возможно было, не проходя всего пути, которым шла Западная Европа, взять наиболее совершенный метод, а таковым является теперь производство синтетического аммиака, при котором уголь является только источником энергии, и затрата этой энергии на связанные единицы азота при этом способе ниже, чем при всех других.

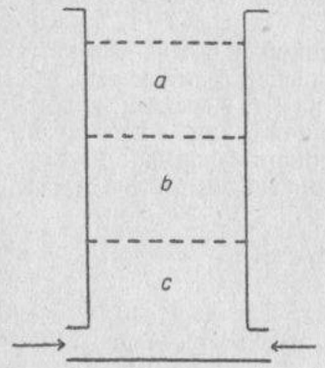


Рис. 9. *a* — зона сушки и подогревания; *b* — зона перегонки; *c* — зона горения.

Синтетический аммиак

Хотя теоретическими работами выдающихся германских химиков Нернста и Габера) принципиально возможность синтеза аммиака была доказана еще в довоенное время, переход на практическое использование этого пути произошел в Германии во время войны, под давлением острой необходимости, но затем технический прогресс в этой области позволил этому способу не только удержаться после войны, но и сделаться господствующим методом связывания азота воздуха.

[1] Помимо каменного угля есть еще материал, способный при нагревании в известных условиях отщеплять большую часть своего азота в виде аммиака, именно торф, для использования которого в последнее время разработаны новые методы, основанные, в отличие от простого сжигания торфа, на получении из торфа горючих газов и аммиака. (См. рис. 9-й.)

Наиболее разрабатывается и завоевывает себе место способ Франка 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) доступе 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 стороной в нем (другой стороной является использование генераторных газов для нагревания паровиков, или же чаще ими приводятся в движение газовые двигатели, дающие электрическую энергию).

Названные представители физической химии сначала изучали общие законности 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 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. образование аммиака за счет свободных азота и водорода при высокой температуре.

Исходя из теоретических соображений, Нернст предположил, 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.

Но военная опасность заставила приложить новые усилия, и эту реакцию, раньше считавшуюся не имеющей практического интереса, воплотить в жизнь, создавши соответственное техническое оборудование.

Трудность разрешения азотного вопроса в Германии возникла вследствие непредвиденного для нее 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., благодаря азотному (а не хлебному) голоду, 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 обстановке, в какой осуществляется эта реакция, раньше считавшаяся имеющей «чисто академический» интерес, 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 калению, 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 водород-

По Франку, 100 кг торфа с 1,05% N могут дать до 40 кг сернокислого аммиака; 100 кг с 2,8% N давали до 110 кг, что отвечает 73% всего азота торфа. Таким образом азот торфа при таком «газовании» можно использовать гораздо полнее, чем азот угля при газовом производстве.

Но 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.

ного пламени и необходимость особых приспособлений для контроля и особенная стойкая сталь.

Кроме особых требований к прочности аппаратуры приходится предъявлять исключительно высокие требования к чистоте газов, что стоит в связи с участием катализаторов.

Своеобразно, что примесь некоторых веществ (которые сами по себе недеятельны) может усиливать действие катализаторов (такова 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 это 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 атмосфер получают азот, который после очистки поступает в тот же газгольдер, как и водород, и 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 атмосфер и тогда поступает в контактную печь, где под влиянием катализатора известная часть азота и водорода дает аммиак, который выводится из сферы реакции (поглощением водой или сжижением при глубоком охлаждении), а непрореагировавшая часть смеси направляется снова в контактную печь вместе с вновь притекающим азотом и водородом.

Ход производства аммиака в его конечной стадии может быть представлен такой схемой (рис. 10).

Смесь азота и водорода поступает в компрессор K, где она подвергается давлению в 200 атмосфер, которое 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; 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; затем, дальше 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.

Но недостаточно еще получить аммиак, для применения его в земледелии нужно из него приготовить соль, удобную для транспорта и рассева (во время войны это не было нужно, так как весь аммиак шел на окислительные установки и превращался в азотную кислоту). Чтобы избегнуть расходов на серную кислоту, в Германии вместо кислоты прибегли к самой дешевой соли серной кислоты, именно к гипсу, который целыми поездами подвозится к азотным заводам; с ним поступают так: после размельчения гипс 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:

$$(NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 = (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3.$$

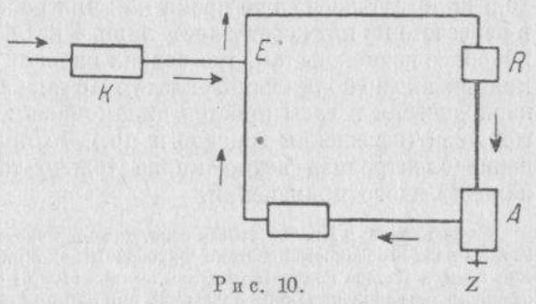


Рис. 10.

Раствор сульфата аммония отфильтровывается от осадка мела, сгущается, и кристаллизующаяся соль центрофугированием освобождается от маточной жидкости.

Этот путь удешевления получения сульфата аммония предстоит и нам использовать там, где не на очень больших расстояниях от азотных заводов окажутся залежи гипса (Сибирь).

По-видимому мы будем иметь больший выбор путей, чем Германия, в деле удешевления производства сульфата аммония; так, если вместо гипса взять сернокислый натрий, то путем обменного разложения получался бы 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 будет говориться дальше).

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.

Остановимся вкратце на тех усовершенствованиях, которые претерпел способ Габера после войны и которые предстоит теперь использовать нам.

Одно из введенных первоначально во Франции [1] видоизменений состоит в том, чтобы использовать еще более дешевый источник водорода, чем водяной газ, а именно, *отходящие газы коксовых печей*, содержащие 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 будет использован у нас наряду с немецким (габеровским) способом там, где имеются подходящие условия.

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; так, 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 киловаттчасов, в сумме 16,5 киловаттчасов, в то время как при работе на угле трата топлива в пересчете на квтч составляет лишь 4 квтч. Поэтому такие установки наиболее возможны там, где водная энергия очень дешева (не находит применения по нормальной оплате). Но так как электролиз можно вести периодически в часы простоя динамомашин, установленных для другой цели (освещения городов и пр.), то при таких условиях применение электролиза возможно не только там, где электричество не находит иного применения.

Кроме Казале в Италии усовершенствованием способа Габера занимался еще Фаузер. Из ряда особенностей системы Фаузера мы упомянем только об одной: в то время, как Клод и Казале получают жидкий аммиак (100%) благодаря тому, что применяют очень высокие давления (750—1 000 атм), при которых достаточно охлаждения водой (не поглощение водой, как у Габера), чтобы аммиак превратился в жидкость, Фаузер нашел остроумный подход к получению жидкого (100%) аммиака и при более низком давлении (250 атм.); для этого достаточно отходящие газы охлаждать 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, а 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 использован в Березниках).

[1] Это было одной из черт способа Клода, который 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 ознакомления 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, и Клод разработал метод работы с аппаратурой гораздо меньших объемов, что было достигнуто ценою повышения давления в 5 раз против Габера, т. е. 1 000 атмосфер, что 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.

5. ЗНАЧЕНИЕ СУЛЬФАТА АММОНИЯ КАК АЗОТИСТОГО УДОБРЕНИЯ

Несмотря на то, что в сульфате аммония только 25% приходится на полезное начало (аммиак), а 75% на дорого стоящий балласт (H_2SO_4), становящийся иногда вредным, промышленность превращает большую часть синтетического аммиака в сульфат аммония, и нам приходится начать именно с него рассмотрение действия аммиачных солей.

Продажный сульфат аммония содержит обычно около 20% азота (вместо 21,2%); следовательно, сульфат богаче азотом, чем селитра, содержащая обычно 15—16% азота, но при оценке этого азота приходится учесть, что сернокислый аммоний ведет себя иначе, чем селитра, как по отношению к растению, так и по отношению к почве.

Так как 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), поэтому почвы с хорошей буферной способностью могут в течение значительного ряда лет выносить удобрения сульфатом аммония, почвы же не насыщенные, с малым количеством поглощенных оснований могут вскоре же обнаруживать 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 [1], а для ржи — 80, то это получалось вовсе не потому, что пшеница лучше переносит физиологическую кислотность, чем рожь, а только несмотря на то, что она ее переносит хуже, но пшеница возделывается на более богатых и связных почвах, их буферность гораздо больше, чем буферность более легких «ржаных» почв, и этот результат не годится для выведения какого 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 самого 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.

[1] 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.

Но 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, потому что 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, или 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 будет уступать нитратам, при переходе к черноземy 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 превращение 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.

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*, каков будет коэфициент через пять, десять, двадцать лет?

Ответ на этот вопрос будет весьма различен в зависимости от почвы и вида растений. На легких почвах, не содержащих $CaCO_3$ и бедных поглощенными основаниями, сравнительно скоро наступает сдвиг

реакции в сторону кислотности и вытеснение поглощенного кальция, который вымывается дождем в виде $CaSO_4$, а 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. 11 (при построении кривых урожай по навозу принят за 100, остальные величины выражены в процентах).

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, который очевидно определяется дозой азота в селитре, которая была ниже, чем в навозе (равнялась 50 кг на 1 га [1] против 174 кг в навозе).

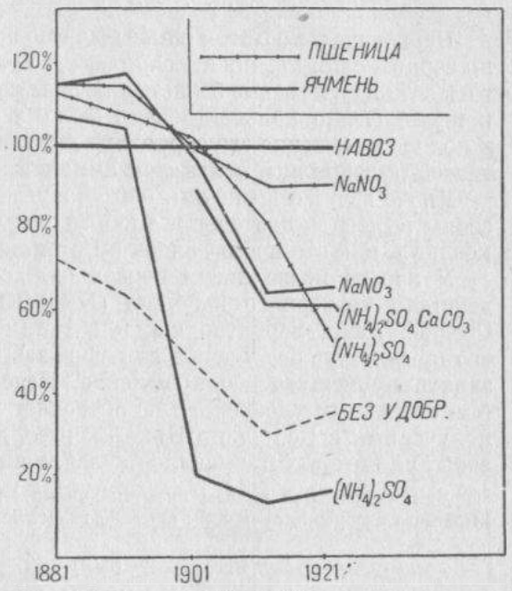


Рис. 11.

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, а 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.

---

[1] То, что для озимой пшеницы при той же ограниченной дозе азота (50 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, озимая же пшеница, улавливая нитраты в период осеннего развития, тем самым уменьшает и зимнее вымывание их.

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 (Сев. Америка) ежегодное внесение разных азотистых удобрений в течение 20 лет привело к следующим результатам (среднее за последнее пятилетие):

	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$	$CaCN_2$	$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3$
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	17,3

Первоначально в этом опыте был еще ячмень, но так как его урожаи по сернокислому аммонию *опустились почти до нуля* (не давал зерна), то десятины 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 без известкования, как это наблюдалось в Ротамстеде.

У нас на подзолистых почвах нужно ожидать неблагоприятного действия повторного внесения $(NH_4)_2SO_4$ (без известкования), а в Средней Азии, вероятно как и в Ротамстеде, возможно длительное его применение без ущерба для урожаев; черноземные почвы должны занять промежуточное положение. Недостаток многолетних опытов с минеральным удобрением не позволяет привести данных, подобных полученным в Вобурне и Нью-Джерсее, для наших почв подзолистой зоны, на которых применялся сульфат аммония.

Для черноземной полосы имеются данные Мироновской станции по влиянию 14-летнего удобрения сульфатом аммония на реакцию почвы:

	pH(KCl)	Обменная кислотность	Гидролитич. кислотность
Без удобрения . .	6,0	0,15	69,6
$(NH_4)_2SO_4$	4,9	0,24	164,0

Но влияние на урожай за этот период еще не сказалось.

В опытах НИУ действие сернокислого аммония уступало действию селитры при культуре льна и ячменя в подзолистой зоне и при культуре сахарной свеклы в зоне деградированных черноземов (а также при рядовом внесении вообще). Но он дал 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.

Но нужно не забывать, что при повторном внесении сульфата аммония сравнительная оценка его может снижаться, если одновременно не вносится $CaCO_3$, как показано выше.

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 удобство комбинированного производства соды с аммонийными заводами, которые при этом избавляются от расходов на серную кислоту для связывания аммиака, отчего может получиться удешевление единицы азота NH_4Cl по сравнению с $(NH_4)_2SO_4$. Обычно NH_4Cl, выпускаемый заводами, содержит 24—25% N (вместо 26% в химически чистой соли). По удобрительному значению *обе соли близки*; та 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 основаниями, 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/га) следующим образом:

	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl
Крахмала (в %)	17,9	17,7	16,3
Прирост урожая сухого вещества (в ц/га) .	10,0	9,2	7,9

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 переходит в клетки, чем H_2SO_4, и при одинаковой кислотности внесенного 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 он давал 3,9 ц прироста против 4,7 для других форм). К картофелю это относится не только в случае подзолов (48 ц против 62 ц от сульфата аммония), но и на черноземах; кроме того NH_4Cl всегда снижает процент крахмала (на 0,7—1,5% против сульфата аммония); из огородных 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), также 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.

Из всего предыдущего ясно, что наличность в солях аммония 75% балласта в виде серной кислоты (или 68% HCl) 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 ассортимента» можно избегнуть, если вместо все-таки не очень дешевой, но совершенно ненужной кислоты взять хотя бы и более дорогую, но нужную, например азотную кислоту, т. е. готовить азотнокислый аммоний, NH_4NO_3. Эту соль часто называют аммиачной селитрой (сокращенно амселитра), однако она отличается от натровой и кальциевой селитры тем, что не только не обладает физиологической щелочностью, типичной для названных удобрений, но обладает даже известной степенью физиологической кислотности, хотя и гораздо меньшей, чем сульфат аммония. При этом завод освобождается от подвоза сырья для производства серной кислоты, азотная кислота тут же получается благодаря окислению части аммиака, транспорт освобождается от перевозки 75% балласта в продукте, а земледелие освобождается от бремени сульфата с его сильно выраженной физиологической кислотностью,

с которой не на всех почвах легко бороться. Правда, из азотнокислого аммония растение сначала тоже берет преимущественно основание, но затем оно все-таки потребляет и кислоту, так что в итоге от этого удобрения не может получиться того накопления кислых остатков в почве, как от сульфата. Так как NH_4NO_3 содержит 35% азота (про-

Это решение компромиссное, оно представляет возвращение к тому же сульфату аммония, от которого желательно избавиться, поэтому лучше применить иные пути, о которых говорилось выше.

Кроме связывания аммиака с азотной кислотой можно связывать его с *угольной и фосфорной кислотами*.

Так как угольная кислота имеется в избытке как почти отбросный

вегия), 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 большого практического значения 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 ими 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 целей сельскохозяйственных не годится (соединения бария ядовиты), поэтому обратили больше внимания на карбид кальция, хотя здесь реакция и не имеет той простоты, как в предыдущем случае.

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: именно, получения карбида, с одной стороны, и азотирования его,— с другой. Карбид получают, нагревая смесь извести с углем в электрической печи до 1 800 °; когда пробьют глиняную пробку, расплавленный карбид вытекает из печи, сверкая как струя расплавленного металла, затем он застывает в твердую массу, которую дробят на мельницах. Затем размельченным карбидом наполняют цилиндры, в которые пропускают азот; чтобы началась реакция присоединения

[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».

азота, достаточно нагреть карбид в каком-нибудь одном месте до 700—800°, дальше процесс идет уже сам собой, с выделением тепла.

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 Европы цианамид продается по более дешевой цене (за единицу азота), чем все другие виды азота 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 войны). Но еще раньше Франк высказал мысль, что для целей сельскохозяйственных 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 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, и 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 на 30%), а кроме того технический карбид всегда содержит примеси CaO, не прореагировавшие 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. 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) или 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.).

В последнее время в Германии появился «белый цианамид» иного происхождения, именно: 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.

При внесении цианамида в почву кальций связывается поглощающим комплексом почвы (в нормальных почвах), и свободный цианамид быстро переходит в мочевину:

$$H_2CN_2 + H_2O = CO(NH_2)_2.$$

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.), и 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 так же легко под влиянием бактерий, но лишь постепенно происходит последующий переход аммиачного азота в нитратный.

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 с почвой вред от него сильно смягчается, через 36 часов он становится небольшим, через 60 часов его нельзя больше констатировать. Через пять 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, этого полезного антагониста аммония.

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 дицнан-диамида $2H_2CN_2=H_4C_2N_4$), при этом убыль самого цианамида замедляется, и вновь образованный продукт является более стойким и хотя он не так ядовит, как неизмененный цианамид, все же подавляет нитрификацию и действует неблагоприятно на растения, и образование его во всяком случае нежелательно.

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 применяют цианамид для борьбы с сорной растительностью (в тонком порошке, а не в зернах и без примеси минерального масла). Это делается напр. тогда, когда между всходами овса, уже достаточно окрепшими, появляется сурепка. Тогда поверхностное внесение цианамида (в количестве 1,2—1,5 ц/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 горчицы). Кроме того в Германии были сделаны удачные опыты лечения хлебов, пораженных ржавчиной, посыпкой 60—80 кг/га пылящего цианамида, причем посыпка должна производиться рано утром, когда растения покрыты росой; при правильном выборе срока достигается на несколько недель подавление развития ржавчины. Далее посыпка цианамидом хорошо уничтожает слизней (доза 1—1,5 ц), проволочных червей (2—3 ц), а при заблаговременном внесении больших доз (4—5 ц) при очень хорошем распределении можно одновременно с удобрением под озимое достигать и подавления развития сорных 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 в 402 тыс. т на борьбу с сорняками идет 25 тыс. т.

Но 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	14	21 день
При дозе 0,05 ч. азота на 100 ч. почвы	26	91	92	92%
При дозе 0,025 ч. N	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 хозяйствах), 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) даже высев в день внесения не был вреден.

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 0,25 г на 100 ч. почвы):

		0	7	14	21 день
Посев через					
Всхожесть (в %)	песчаная почва	35	88	95	95
	торфяная почва	0	0	46	46

С цианамидом произведено очень большое количество опытов в целях определить его действие и дать 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 коэффициенты; так например в одном из опытов (в сосудах) наблюдалась такая последовательность:

Дано азота на сосуд (относительно селитры) (в г)	0,2	0,4	1,5
Коэффициент для цианамида (относительно селитры) (в %)	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

то нужно не забывать, что коэффициент через 10—20 лет может оказаться совсем другим, чем за 1—2 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 он способен притягивать воду и углекислоту из воздуха [1].

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 при сырости помещения хранятся небольшие количества и поверхность соприкосновения с воздухом велика, то могут наступать

Сводная таблица по опытам НИУ с азотистыми удобрениями (процентные прибавки для всех растений)

Почвенные зоны	Число опытов	Прибавки в процентах (против РК)					
		Чилийская селитра	Норвежская селитра	Цианамид кальция	Азотнокислый аммоний	Сернокислый аммоний	Хлористый аммоний
Подзол	110	42,4	40	31	22	45,3	37
Серые лесные земли	36	66	59	37	72	61	26
Деград. и выщелоч. черноземы	129	59	55	35	57	23	24
Обыкновенные черноземы	13	—	—	18	—	—	—
Мощные черноземы	23	16	15	—	—	18	13
Средняя Азия	30	—	—	21	23	22	—
Закавказье	15	—	—	16	17	16	—
В итоге	—	39,8	40,2	30,5[1]	38,0	38,3	32,0
Если действие $NaNO_3$ принять за 100	—	—	101,1	76,6[1]	95,4	96,2	80,8

7. МИРОВАЯ АЗОТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ПУТИ ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ АЗОТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ У НАС

Синтетическая азотная промышленность, зародившаяся в начале XX столетия, шла вперед в усовершенствовании техники связывания азота чрезвычайно быстрыми шагами, поэтому заводы синтетической селитры, 25 лет тому назад составлявшие гордость Норвегии, теперь 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 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 говорят 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, а селитру, столь ценную для сельского хозяйства, выгоднее теперь получать окислением аммиака, чем прямым окислением азота кислородом (поскольку чилийская селитра не является везде доступной).

Эта борьба направлений в азотной промышленности отразилась следующим образом на продукции по отдельным отраслям (в тысячах тонн азота):

[1] Смотрите сделанные выше оговорки относительно условности этих цифр. Для мочевины нельзя дать сравнимых средних, так как она вводилась в опыты не со всеми растениями, а реакция различных групп на азотистые удобрения не одинакова по размерам.

Виды удобрений	1907 г.	1913 г.	1925 г.	1930 г.
Норвежская селитра	0,2	15,0	33,9	16,8
Цианамид	0,3	38,2	167,4	254,1
Синтетический NH_3	—	7,0	422,5	454,0
NH_3 коксовых печей	187,1	284,1	360,2	1 425,0
Чилийская селитра	286,1	429,7	391,2	510,0
Все виды азотистых удобрений	482	784	1397	2 660,0[1]

В то время как в 1907 г. Чили доставляло 61% всего азота, к 1930 г. относительное значение чилийского экспорта упало до 20%

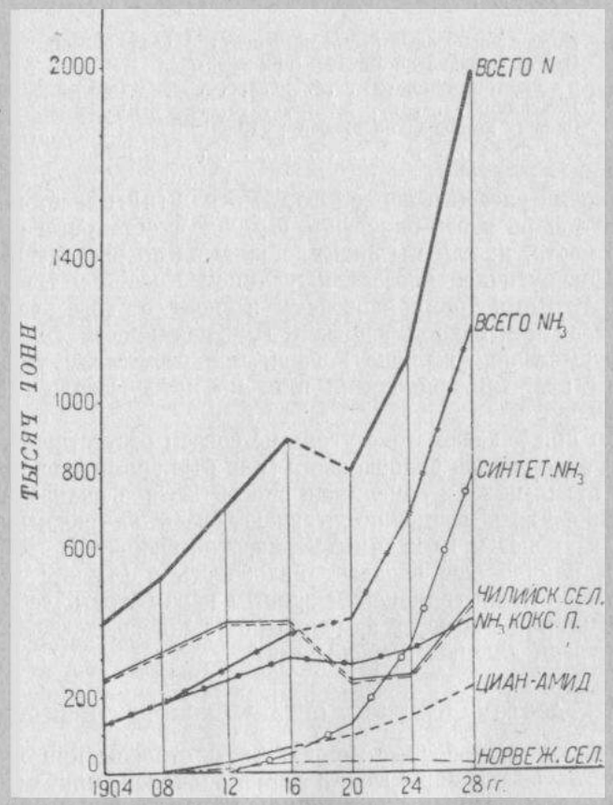


Рис. 12. Рост мирового производства азота (в тыс. тонн азота).

(несмотря на сохранение той же абсолютной величины), и цены на азот на мировом рынке диктуются теперь уже не чилийским правительством, как было до войны, а синтетической азотной промышленностью (рис. 12).

[1] Далее последовало снижение продукции, вызванное кризисом.

При создании азотной промышленности у нас естественным образом в основу кладется для районов, богатых углем, способ Габера как требующий меньше энергии, чем все другие способы (объединяя под этим именем и все последующие варианты, предложенные Клодом, Казале, Фаузером и 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, 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 квтч):

Норвежский способ (дуговой процесс)	около 55—60
Синтез аммиака по Казале (при электролитич. 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), остальные три способа все имеют место, 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 располагают, — углем или водной энергией. При наличности дешевого угля все преимущества на стороне Габера, при отсутствии угля и 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 съэкономить энергию, нужную для других целей), заменивши 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].

8. БОГАТЫЕ АЗОТОМ ОТБРОСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Сюда относятся побочные продукты и отбросы при утилизации мясного скота, содержащие азот 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 этих отбросов.

[1] По некоторым авторам даже в сумме эквивалент затраты энергии равен 10 квтч.

[2] Кроме того производство цианамида не требует той дорогой аппаратуры, недостаток которой являлся главным препятствием к развитию азотной промышленности, если итти только по пути синтеза аммиака.

Кровяная мука получается при утилизации крови, получающейся в больших количествах на бойнях в больших городах (так, в 1913 г. на московских бойнях получалось около 7½ тыс. т крови, в Париже — 10 тыс.).

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 ¼—⅕ 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 негодных в пищу; обыкновенно такое мясо после вываркн (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 бульона. Мясная мука, ввозимая 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 азотистое удобрение. Этой цели служат обычно остатки от производства различных изделий из рога (гребней, пуговиц). 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 с 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.

[1] Свернувшаяся часть, содержащая другой белок крови — фибрин и кровяные шарики.

Обрезки *кожи*, будучи измельчены, под именем кожаной муки также поступают в продажу как удобрение; но эти материалы трудно разлагаются, в особенности дубленая кожа; кроме того в них содержится не так много азота (7—8%). Точно так же шерстяные отбросы медленно разлагаются в необработанном состоянии. При нагревании с щелочами или при действии пара при 5 или 6 атмосферах давления получается из этих материалов 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 рога, а особенно шерсти и кожи.

Рога, копыта, шерсть, перья благодаря тому, что они трудно перегнивают, в целях удобрения подвергаются иногда также химической переработке.

Было предложено для утилизации туш павших животных в целях удобрения при одновременной дезинфекции поступать таким образом: туши кладутся в деревянные обложенные 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. Кислота может переработать массу, равную $^3/_4$ своего веса; дальнейшее действие ее будет не энергично вследствие разжижения; после обработки туш кислота содержит около 1½% азота. Отработавшую кислоту предлагается употреблять для приготовления суперфосфата. В тех же целях предлагалась обработка туш щелочами, причем действуют на них на холоду известью или подвергают сухой перегонке с $Ca(OH)_2$ и небольшими количествами Na_2CO_3 для получения аммиака (Франция).

Получаемые в хозяйстве отбросы этого рода чаще всего компостируют, причем при переработке роговых и шерстяных отбросов рекомендуется смешение их с 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 1½ части поташу; смесь в кадке обливается достаточным количеством воды и перемешивается; образующееся при этом KOH размягчает и отчасти растворяет азотистые вещества. После разложения материалов полученная студенистая масса смешивается с торфом или перегноем для избежания потерь аммиака.

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 (см. табл. на стр. 127).

С легкостью перехода азота органического вещества разных веществ 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.

	I Количество HNO_3	II Колич. аммиака (в другой почве) [1]
Без удобрения	5 мг	3—5 мг
Через 4 месяца после удобрения кожаной мукой	5 »	5,6 »
То же — сушеной кровью	75 »	29,2 »
» — пудретом	19 »	15,0 »
» — поджаренным рогом	84 »	27,0 »

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		То же по урожайн.	
	1 год	В среднем за 3 года	Вагнер	Зигмонд
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	25	—
Кожаная мука	13	20	15	—

Таким образом шерстяная мука по коэффициенту усвояемости азота приближается уже к навозу, для которого Вагнер принимает 25% усвояемости азота в первый год, а кожаная мука стоит еще ниже.

Но эти коэффициенты неодинаковы при разных условиях и при разных почвах. Например кровяная мука может при некоторых условиях — при большом количестве осадков и рыхлой почве — иметь коэффициент 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

[1] Почва без нитрификаторов.

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 получены были следующие приросты от азота жмыхов по сравнению с другими материалами (прирост от селитры приравнен к 100):

Клещевинный жмых	74—85
Льняной жмых	79,6
Хлопчатниковый жмых	75,5
Кровяная мука	77,1
Кожаная мука (пареная)	6,3
Кожаная мука (необработанная)	0

В наших опытах (в сосудах) клещевинный жмых давал очень хорошие результаты: так в 1907 г. опыты с овсом дали следующие результаты (в граммах на сосуд):

	Без азота	Селитра	Клещев. жмых	Махор. пыль
Подзол с фермского выгона	3,3	17,3	14,4	15,4
Суглинок с XII поля	15,7	32,0	23,1	28,5

У нас в Средней Азии часто идет на удобрение *хлопковый жмых*, который является ценнейшим кормом для молочного скота; эта ненормальность объясняется общим недостатком азота, до сих пор имевшим место в хлопковом хозяйстве, а кроме того в сухом климате, при почвах часто богатых солями, могут быть выдвинуты доводы за то, чтобы часть азота давать не в солях, а в органическом веществе, чтобы избежать излишнего повышения концентрации почвенного раствора; но это вполне законное желание должно иметь другие пути удовлетворения (люцерновый фон, зеленое удобрение, навоз), а хлопковый жмых должен итти по прямому своему назначению.

Пользуясь вышеприведенными коэффициентами использования азота различных удобрительных веществ, для обычных условий все-таки являющимися средними, можно количество их для удобрения рассчитывать приблизительно, исходя из норм для селитры (и навоза).

К упомянутым выше органическим азотистым удобрениям примыкают еще продукты, обозначаемые именем *рыбного гуано*, представляющие отбросы рыбного промысла, обезжиренные, высушенные и превращенные в муку. Кроме азотистых веществ (белков) они содержат и фосфор, так как содержат большую или меньшую примесь костей. Наиболее заметных размеров производство рыбного гуано достигает в Норвегии (Лофоденские острова, фиорды близ Трондьема 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 запарных цилиндрах она превращается действием пара и мешалок в однородную массу, вытекающую затем через люк во второй этаж, где эта масса завертывается в «салфетки» и отжимается на гидравлическом прессе; вода вместе с жиром стекает в отстоечные 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 (напр. 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 идет дело о применении в своем хозяйстве, тогда прибрежные жители иногда даже не сушат рыбу, 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 изверженій 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, из экскрементов 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 к их экскрементам, так как после окисления органического вещества переваримой 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 всегда экскременты 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 столетии, но на местах нахождения применялось туземцами издавна. Первые партии его отличались большим содержанием азота, чем последующие, так как эксплоатацию начали с более ценных залежей (Перу), а по их истощении 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%.

[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.

Современное же гуано из залежей, подвергавшихся 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 древние придавали большое значение голубиному помету и употребляли его на удобрение. Помет этот содержит в сухом веществе 5—6% азота и до 7—14% фосфорнокислой извести. Экскременты разных домашних птиц не одинаковы по составу: гуси и утки например дают продукты наиболее водянистые, содержащие до 75% воды и от ½ до ¾% 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 подробно следующие анализы (в процентах):

Состав	Голуби			Куры		Утки	Гуси
	1	2	3	1	2		
Воды	22,4	45,7	58,0	61,0	60,9	46,6	77,0
Песка	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
Органич. вещества	49,0	20,1	26,0	29,3	29,8	40,5	16,5

Кроме того состав извержений зависит конечно от рода пищи, получаемой птицами.

Если эти материалы получаются в небольшом количестве, то их обыкновенно примешивают 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.

Иногда считают возможным применять эти материалы и в качестве поверхностного удобрения; но этот способ связан с вероятностью потерь азота, с понижением коэффициента использования (особенно в связи с погодой, например с отсутствием дождей после распределения удобрения); поэтому предпочитают запахивать их почти сразу

[redacted]

удобрению, — это путь культуры на зеленое удобрение наиболее активных азотособирателей, т. е. растений семейства бобовых; это путь самый дешевый, но требующий занятия поля на некоторое время растением, не дающим урожая, — оно должно быть в известной стадии развития запахано, как удобрение для следующего растения.

Казалось бы, зачем же запахивать зеленую массу, когда ее можно скормить животным и навоз применить на удобрение, ведь весь азот пищи будет находиться в навозе? Однако это возражение не применимо к бедным песчаным почвам, на которых никакого корма не вырастишь, не улучшивши 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 не пригодного 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 60-х годах начал на своей бедной почве применять чисто минеральные удобрения, не покупая дорогой селитры; он терпел систематические неудачи, пока не подметил, что на коллекционном 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, и после ряда опытов ему удалось установить, что здесь замешан вопрос об азоте и что можно добиться поднятия урожаев ржи и картофеля, не внося ни навоза ни селитры, но применяя 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 »	128	1886—1888 »	194
1880—1882 »	144		

Но теперь, когда смысл явления известен, возможно быстрое поднятие урожаев хлебов и картофеля, и даже при однократном запахивании хорошо развившегося люпина нередко наблюдается удвоение урожая непосредственно следующего за ним растения. Одним из

[1] Клевер не рос в Люпице даже при калийно-фосфатном удобрении благодаря кислотности почвы, которую люпин лучше переносит.

пионеров в области люпинового удобрения у нас был проф. Будрин; вот пример из сообщенных им данных (из периода работ в Н. Александрии).

Урожай озимой пшеницы (в центнерах с 1 га)

По неудобренному пару	7,3
По люпину в цвету, запаханному на удобрение	12,4
После люпина, убранного зрелым	12,1
После горчицы, запаханной в цвету	6,7

Кроме того Будрин получал в течение 20 лет хорошие урожаи ржи (17 ц) в следующем двухлетнем севообороте: 1) картофель, 2) озимая рожь плюс пожнивный посев люпина на удобрение.

Позднее в Черниговской губернии (1914 г.) 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 следующие примеры из отчета Кулжинского об опытах *Черниговского земства* (1914 г.).

Урожай ржи

Где производилось испытание	На какой почве	Рожь дала ц/га зерна		
		Без удобрения	По люпиновому удобрению	По люп. больше на
В Городнянском уезде	супесчаная	4,0	13,0	9,0
» Нежинском у., м. Верхневка	»	10,2	21,3	11,2
» Кролевецком у., с. Конятин	песчаная	6,4	13,6	7,2
» Кролевецком у., х. Зайцевский	легк. суглинок	9,6	22,0	12,3
» Новгород-Северском у., в. Ромашкове	суглинок	3,2	7,5	4,3
» Остерском у., с. Борки	легк. суглинок	6,7	23,8	17,1
» Глуховском у., м. Воронеж	песчаная	6,4	19,2	12,8
» Черниговском у., м. Николаевские	»	6,1	11	5
» Суражском у., с. Перелазы	припадь (сугл.)	4,0	7,0	3,4

Таким образом люпиновое удобрение заменило здесь навоз, но оно имеет то преимущество перед навозным, что при нем *избегается возка больших масс* из 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 (что делается обычно после наступления цветения), 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 содержится в надземных органах от 100 до 160 кг на 1 га (при 35—50 т зеленой массы), также и при сераделле.

Делая произвольное допущение, что из почвы растениями взято не больше, чем содержится в корневой системе, Вагнер счел 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 той же почве (опытное поле в Петровско-Разумовском) бобовых и небобовых урожаи содержали конечно разное количество азота; так, анализы показали, что гречиха содержала 60 кг N в урожае, рапс — 64 кг, бобовые же обнаружили следующие количества азота: конские бобы — 236 кг, вика с овсом — 189 кг, инкарнатный клевер — 160 кг. При вычитании отсюда 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 играли 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 усвояет 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 усвояем 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 неоподзоленную 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 для других растений непригодны.

Поэтому люпин способен дать несколько урожаев, не требуя минеральных удобрений, особенно фосфора, а когда проявится нужда в фосфоре, то он может быть дан в виде самого дешевого удобрения — фосфоритной муки; потребность в калийных удобрениях при повторной культуре люпина сказывается обыкновенно раньше, чем в фосфатах.

Из различных видов люпинов наибольшее значение имеют однолетние формы, а из них *синий люпин* (или узколистый, Lupinus angustifolius), так как другой распространенный на западе вид — желтый люпин (L. 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 разработана вся техника 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 применен был 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 люпина	0	200,0	400,0	600,0
Рожь озимая	5,4	11,1	16,3	16,8
Рожь яровая	1,4	7,4	9,1	8,3
Картофель	43,0	91,2	121,0	159,0

Здесь ясно выявилась зависимость урожая последующей культуры от количества запаханной люпиновой массы, причем 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 получены были такие результаты:

Дано 100 ц/га		Корней	Стеблей с листьями [2]	Незрелых бобов люпина
Урожай ржи (в ц/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 дальнейшем 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 в стадии цветения, например:

	Люпин запахан			
	До цветения	В цвету	В стадии «сизых бобиков»	В стадии «блестящих бобиков»
Урожай ржи (в центнерах с 1 га)	35	42	50	71

[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.

Таким образом там, где длина вегетационного периода и сроки посева ржи это позволяют, люпин лучше запахивать позднее, однако не настолько поздно, чтобы началось одеревенение стеблей, а с другой стороны, — чтобы остался необходимый промежуток до посева ржи.

Весьма важным приемом при введении культуры люпина в новых для него районах является заражение почвы соответственными 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, Gleditshia) заражение бактериями гороха или клевера будет недействительным, как это показано было опытами Ноббе и Гильтнера. При повторении этих опытов у нас получены были в песчаных культурах например такие результаты (на фоне питательной смеси, лишенной азота):

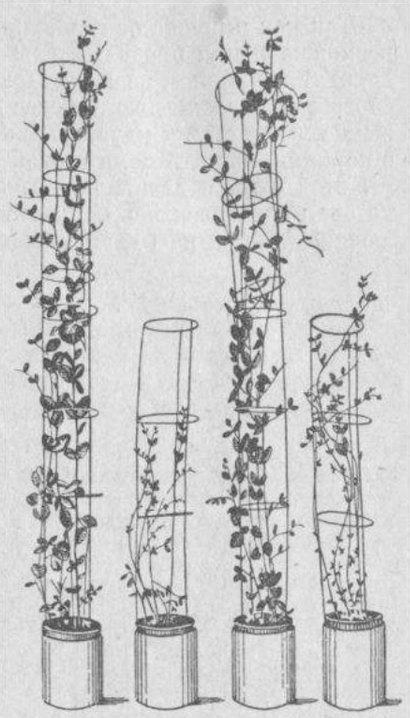


Рис. 13.

	Селитра	Без селитры и без заражен.	Заражено почвени. вытяжк.	Бактериями: вики	Бактериями: люпина
Горох	34,5	3,5	33,0	14,0	3,9
Вика	26,7	1,2	19,0	18,2	1,1

Из этих данных видно, что бактерии люпина не способны заражать гороха и вики (также и клевера) и, наоборот, бактерии этих растений не заражают люпина. Так как в нашей флоре имеются дикорастущие виды клевера и вики, то эти бактерии обычно присутствуют почти во всех почвах (исключением будут напр. болотные почвы), и при введении в культуру клевера стараться заражать почву не приходится; для люпина же нет родственных форм в нашей флоре, и поэтому вначале нужно позаботиться о введении соответственных бактерий, в дальнейшем же это становится ненужным.

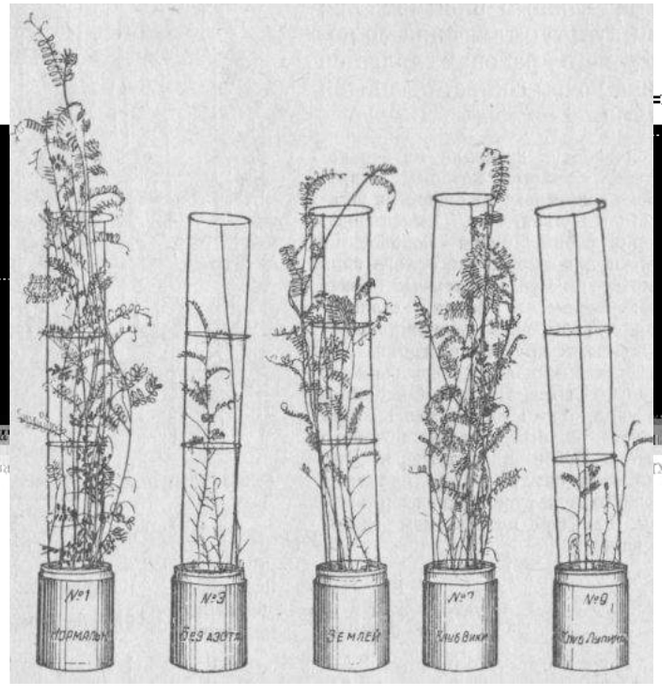
Для заражения почвы под то или иное бобовое можно пользоваться препаратами чистых культур соответственных бактерий; такие препараты появились в продаже вскоре после открытия Ноббе и Гильтнера, под не совсем удачным названием нитрагина [1].

[1] Неудачным оно является потому, что наводит мысль начинающих на образование нитратов, с которыми нитрагин ничего общего не имеет.

Так как выписка бактериальных препаратов (нитрагина) не всегда возможна и при продолжительном пребывании в пути они не всегда доходят в должном виде, то Новозыбковская станция изучала другие способы заражения, часто более доступные; таково например: 1) заражение люпиновыми клубеньками, которые зимой сохранялись (вместе с корнями) в подвале, а весной раздавливались с прибавлением воды и в этой массе обваливались семена; 2) заражение люпиновой землей, которая или вносилась комбинированной сеялкой в рядки при посеве

Что касается разбрасывания люпиновой земли по полю, то результат его оказался сильно зависящим от количества земли; так например в 1918 г. наблюдалось:

Без заражения	Процент сильно зараженных растений
0,5 т земли	24
1 » »	47
1,5 » »	54



так как нет кормов. Но надо заметить, что значение люпина не ограничивается песчаными почвами. Правда, на этих почвах культура люпина (и отчасти играющей подобную же роль сераделлы) является чуть ли не единственным выходом, а на лучших почвах может расти и клевер, но однако клевер и люпин вовсе друг друга не исключают; а действие люпина на суглинках гораздо 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 ц, 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 (напр. викой, овсом), то напомним, что на громадных площадях (Белоруссия, 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, и но другие яровые будут за него благодарны.

Но и 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 и *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.

Какова же область возможного применения этого способа «азотирования почвы» в пределах нашей страны?

Прежде всего люпин должен быть использован в пределах обширного треугольника, одной стороной которого является наша западная граница (от Полоцка на Двине до Шепетовки), с юга этот треугольник прилегает к черноземной полосе (приблизительная граница идет по линии Шепетовка — Житомир — Киев — Тула — Рязань — Сасово—Тамбов — Арзамас — Горький), северная же граница, хотя не окончательно установлена, но во всяком случае, если мы сочтем параллель Москвы этим северным пределом, то это будет преуменьшением, а не преувеличением [1].

Такой треугольник охватывает площадь около 40 млн. га; допустим, что из них лишь 13 млн. га распахано и около 3,5 млн. га находится под паром. Если занять всю эту площадь люпином и принять, что на каждом га люпин фиксирует 160 кг азота, то общая сумма фиксированного азота за год составит *560 тыс. т, что отвечает 2,8 млн. т сульфата аммония.*

[1] Если строить люпиновое удобрение на местных семенах, то эта граница пройдет несколько южнее Москвы, а если допустить привоз семян из близлежащих районов (напр. из области песчаных почв между линией Егорьевск — Арзамас и Моршанском), то можно итти севернее Москвы, но за известным пределом придется от однолетнего люпина перейти к многолетнему, который возделывается вне севооборота (в выводном клину).

Итак, азотирование паровых полей с помощью люпина только в пределах намеченного выше треугольника способно дать почве больше азота, чем это ожидается от всей химической промышленности по пятилетнему плану.

Но очерченный треугольник далеко не охватывает всей площади, поддающейся улучшению с помощью люпина; достаточно сказать, что во многих районах Восточной Сибири и Дальневосточного края 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 донник или какое-нибудь иное бобовое, требует дальнейшего выяснения путем опыта.

Для севера интересной формой является многолетний люпин, как единственный представитель люпинов, заведомо способный давать зрелые семена на широте Ленинграда (а вероятно и еще далее к северу). Он способен давать два укоса зеленой массы в лето, из которых первый может доставить материал для удобрения парового поля (здесь требуется перевозка зеленой массы), а второй может быть запахан с осени под яровое. Кроме доставления зеленой массы для удобрения смежных полей люпин этот, 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 (расширивши же площадь можно затем провести этот люпин через все поля, поочередно переводя каждое их них в положение «выводного клина», т. е. временно выходящего из севооборота).

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 [1].

На юге возможен более широкий выбор растений для зеленого удобрения, здесь отметим только, что для районов хлопководства представляют интерес озимые формы гороха (и некоторых других бобовых); последние способны, несмотря на поздний высев осенью, все-таки развить достаточную массу, которая может быть запахана весной перед посевом хлопчатника. Нужно иметь в виду, что каждые 200 000 га люпина, если он обеспечен фосфором и калием, способны связать столько же азота, как напр. Березниковский комбинат. То же относится к клеверу, и еще больше азота усвояет люцерна, если учесть азот не только в корневых остатках, но и в надземной массе, азот которой тоже попадает в почву вместе с навозом.

[1] Подробнее о культуре этого люпина см. в книге автора «Частное земледелие», изд. 8-е, 1931 г.

ФОСФАТЫ

В то время как в случае азота мы имеем дело с элементом, для которого существует круговорот и кроме внесения удобрений возможно обогащение почвы за счет азота воздуха, в случае фосфора мы имеем дело с односторонним процессом отчуждения его с урожаями, которому мы можем противодействовать только внесением удобрений.

В почвах содержание фосфорной кислоты [1] обычно выражается величинами от 5 до 10 сотых процента, но эти малые относительно величины дают в абсолютных цифрах довольно большой запас на 1 га, однако из этого общего запаса лишь малая часть является усвояемой. О размерах валового запаса можно судить по следующим приблизительным цифрам (для слоя в 20 см, считая его вес 3 000 т/га).

	Содержание P_2O_5 (в процентах)	Валовой запас P_2O_5 (в кг)
Очень бедная почва	0,01	300
Бедная почва	0,01—0,05	300—1 500
Средняя почва	0 05—0,1	1 500—3 000
Богатая почва	0,1—0,2	3 000—6 000

Так как урожаи уносят лишь 25—60 кг P_2O_5 с гектара, то очевидно цифры валового запаса ничего не говорят о действительном снабжении растений фосфорной кислотой. Но если мы представим, что от этого валового запаса каждый год переходит в усвояемое состояние например 1% [2], то мы уже ближе подойдем к уровню тех величин, которыми характеризуется степень обеспеченности растений на почвах разной степени плодородия, а также и к уровню тех величин, внесение которых с удобрениями оказывает существенное влияние на урожай, а именно, чаще всего вносятся величины, лежащие между 30 и 50 кг P_2O_5. Потребность в удобрении фосфором зависит не только от почвы и от рода культуры, но еще и от дальнейшей судьбы урожая, так как для той же культуры круговорот веществ в хозяйстве может сложиться разно, смотря по тому, как в данном случае используется урожай. Различие в потреблении фосфорной кислоты разными культурами видно из следующего сопоставления:

	Вынос P_2O_5
Урожаи хлебов в 20—25 ц зерна (с соотв. количеством соломы)	25—30 кг
Урожаи бобовых (той же высоты)	30—40 »
Картофель (200 ц клубней)	40 кг
Кормовая свекла (500 ц)	50 »
Капуста (750 ц)	60 »
Люцерна (80 ц)	55 »
Луговое сено (60 ц)	30 »

[1] Фосфорная кислота почвы происходит конечно из тех горных пород, которые дали начало образованию данной почвы.

Большинство кристаллических горных пород пронизано игольчатыми кристаллами апатита и содержит 0,1—1,0% P_2O_5; даже в песках Сахары находят фосфорную кислоту в количестве 0,01%.

При выветривании горной породы фосфорная кислота в значительной степени предохраняется от вымывания благодаря образованию мало растворимых соединений с Ca, Fe; бывают случаи, что содержание P_2O_5 при выветривании относительно увеличивается; напр. невыветрившийся известняк содержал в одном случае 0,07% P_2O_5, выветрившийся же 0,16%.

[2] На деле эта величина для разных почв и при разных условиях различна.

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.

	Содержание P_2O_5 (в процентах) Зерно	Солома			Содержание P_2O_5 (в процентах)
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 (злаковые)		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*, как бы правильно оно ни применяло навоз, *должно происходить постепенное обеднение почвы фосфором* (кроме исключительных случаев изобилия лугов, тогда почва полей получает фосфор за счет 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, *не может вернуть почве того, чего он сам не содержит, т. е. фосфора зерна*, 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 подтверждена была впоследствии мировым опытом, так как на земном шаре потребление фосфатов доминирует над потреблением всех других видов удобрений. Так, за последнее полустолетие доля фосфатов в мировом потреблении составляла от 50 до 60% от общей суммы удобрений, а на азот и калий приходилось по $20—25\%$. Раньше же, до Либиха, единственным мероприятием для поднятия урожаев было 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, относящимся к западноевропейской практике. Хозяйство Крузиуса (в Германии) не покупало фосфорнокислых удобрений со стороны, применяя исключительно навозное удобрение (P_2O_5 отчуждалась лишь в молоке, мясе, зерне и других продажных продуктах). Расчет был сделан с 20-го по 60-й год прошлого столетия, причем в хозяйстве велись точные записи урожая зерна и соломы, вносимого навоза и отчуждаемых продуктов (площадь лугов составляла около 15% от площади пашни).

	Общий урожай (в копнах)	Умолот со 100 копен (в гектолитрах)
1825—1830 гг.	4 250	91,4
1830—1835 гг.	5 379	93,5
1835—1840 гг.	5 363	84,7
1840—1845 гг.	6 857	77,0
1845—1850 гг.	8 417	86,4
1850—1855 гг.	7 082	66,6
1855—1860 гг.	7 881	68,8

Таким образом при общем росте урожаев умолот падал, т. е. *урожаи соломы возрастали в большей мере, чем урожаи зерна.* Когда учли по среднему составу отчуждаемых продуктов и навоза приход и расход P_2O_5, то оказалось, что за последние 15 лет (1845—1860 гг.) было взято из почвы полей 985 ц P_2O_5, а внесено лишь 408, т. е. возвращение было меньше половины выноса [1].

Из приведенного ранее сопоставления видно, что потребность в фосфоре является общей для большей части наших почв как подзолистой, так и черноземной полосы, в то время как потребность в азоте и калии для черноземных почв пока еще не так велика. В то время как азот как правило должен вноситься с фосфором, (а калий — с фосфором и азотом), фосфор в очень большом числе случаев может оказывать значительное действие даже без внесения азота в минеральных удобрениях, а именно: 1) если в навозе дается достаточно азота и калия, то из минеральных удобрений нужны только фосфаты; 2) если на черноземных почвах мы имеем чистые пары с большим накоплением нитратов, то под озими достаточно добавить только фосфор; 3) на полях, обогащенных азотом благодаря культуре люцерны и клевера, фосфор действует 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: такового 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 относятся три выше отмеченные категории случаев), в другой же это будет приблизительно отношение 1 : 1. 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*, и это требование должно быть особенно резко выражено теперь, при первых шагах развития нашей азотной и калийной промышленности. Чтобы получить хотя бы грубый масштаб, каковы могут быть размеры той части потребности в фосфоре, которая пока не зависит от азотной промышленности, посмотрим, сколько нам нужно было бы фосфора, если бы мы поставили задачей компенсировать вынос фосфора с одним только зерном (предполагается, что вся солома идет в корм и подстилку, так что ее фосфор возвращается почве). При валовом сборе зерна в 80 млн. т и содержании в зерне 0,7% фосфора ежегодный вынос P_2O_5 определится в 560 000 т, что отвечает 3 723 000 т 15-процентного суперфосфата. На самом же деле нужно не только компенсировать вынос фосфора современным урожаем, но еще поднять продукцию зерна с 80 до 130 миллионов т, а для этого нужно дать значительно больше фосфора, чем содержится в зерне.

[1] Конечно 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.

Но мы привели этот валовой подсчет лишь ради примерного суждения о том, какого порядка величины могут выражать потребность зерновых хлебов в фосфоре, не зависящую от азотной промышленности [1], но обусловленную задачей возмещения выноса фосфора ради более правильного использования азота навоза, азота клевера и люцерны и нитратного азота незанятых паров (особенно черноземной полосы).

Для пополнения недостатка фосфора приходится пользоваться разными способами. Буквальное возвращение того самого фосфора, который уносится с зерном, т. е. использование городских нечистот, встречает технические затруднения, вследствие разжижения их большими массами воды. Главным источником для производства фосфорных удобрений являются минеральные фосфаты, *фосфориты и апатиты*, затем играют известную роль отбросы металлургии (томасов шлак) и отчасти отбросы животноводства (кости).

1. 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. 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 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, и совсем иного типа частный 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 напр. к югу от мыса Доброй Надежды нахождение на поверхности или в среднем слое морского ила округлых конкреций от 1 до 3 (и более) см 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,

[1] Так как пока только технические культуры получают азот, то количество фосфора, согласованное с размерами применения азотистых удобрений, отвечает главным образом потребности технических культур, для хлебов же фосфора нехватает.

причем фосфат этот проникает в полости отдельных образований, заменяя 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, — отсюда P и Ca.

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, и 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. Из многочисленных наших залежей отметим лишь следующие, как имеющие большее значение или сыгравшие роль в развитии применения фосфатов в нашей стране.

Подольские фосфориты обратили на себя внимание геологов уже давно как характерные по своей форме и сложению ископаемые; к 40-м годах XIX столетия относится первый анализ их, произведенный в Горном институте.

С точки зрения промышленной ими сначала заинтересовались наши соседи (Австрия). В 1870 г. были командированы из Вены специалисты для изучения русских залежей в Подолии, они признали их очень важными. Вскоре потом были поставлены также первые мельницы для переработки этих фосфоритов в муку для местного применения, но эта эксплоатация в целях употребления фосфорита как такового продолжалась недолго: ясных 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 бугристая 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 сланцах, причем шары являются вкрапленными порознь, 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 камни, 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 (из всех наших фосфоритов наиболее высоким), а именно до 33,5% и даже 38,38%, это соответствует 73,7% 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 очень ценным материалом для приготовления простого суперфосфата. Однако недавние исследования показали, что запасы подольских фосфоритов не таковы, чтобы им придавать общегосударственное значение, они могут снабжать только местный суперфосфатный завод в Виннице.

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 б. 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 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 губернии), снова обратил внимание на фосфориты; экскурсируя по окрестностям Батищева, он открыл залежи в Рославльском уезде, и в 1885 г. Энгельгардту удалось получить первые 16 ц размолотого фосфорита; впервые полевые опыты дали рельефные результаты, и Энгельгардту удалось выявить положительное значение фосфоритов для *северных подзолистых почв* и возбудить к ним уже более прочный интерес.

Курский «саморо д» (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 б. Курской губернии в значительных количествах и употребляется населением для мощения шоссе, улиц и для бута. Саморо д представляет собой породу, которая встречается повсеместно на северной границе мелового бассейна; кроме «плиты», встречаются желваки разного цвета и размеров. Помимо Курской губ. залежи подобных фосфоритов находятся и в б. Тамбовской, Воронежской, Орловской, Смоленской и Калужской губерниях. Многочисленные анализы курского саморода показывают, что он содержит гораздо меньше фосфорной кислоты, нежели фосфориты подольские, — от 14 до 17—20% ; остальное составляют 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 кислых (или не насыщенных основаниями почвах). В настоящее время уже работают крупные размольные заводы треста «Фосфорит»: Щигровский, Дмитровский и ряд мелких кооперативных заводов. Кроме того предполагается создать химический комбинат в Щ и г р а х для производства *преципитата* (объяснение см. ниже).

Вскоре после курских были открыты залежи фосфоритов в б. Рязанской губ. Они известны были там еще с 60-х годов прошлого сто-

[1] Энгельгардт, 1867 г.

летия, но их стали разрабатывать лишь с 80-х годов, после того как они были исследованы в лаборатории Петровской академии. Оказалось, что в состав рязанского фосфорита входит еще глауконит — минерал, содержащий до 8% K_2O (в фосфоритах от 1 до 4% K_2O; но помимо малого содержания и усвояемость калия в глауконите неполная). Залегают глауконитовые фосфориты главным образом над юрскими слоями в зеленых песках и песчаниках, иногда переполненных остатками раковин.

Прежде лучшими после подольских считались *костромские* (кинешемские) 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, пока кустарным путем добывались и перерабатывались желваки, собранные по берегам рек, это был высокопроцентный материал, но когда 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 и $CaCO_3$). 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 напр. вторичные скопления по берегам рек принимались за выходы первичных фосфоритоносных пластов, и потому относительно них делались преувеличенные заключения;

чественного 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).

	В миллионах тонн	Процент от общего запаса
Фосфориты с 24% P_2O_5 и выше	141	2,5
» » 18—24% P_2O_5	1 708	30,6
» » 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.

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, не сцементированной породе, залегают не глубоко, так что во многих случаях возможна разработка с поверхности (в «разнос», 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 миллиард тонн (Казаков). Эти залежи подобны южно-каролинским залежам Северной Америки, но залегают в глухой местности, поэтому недавно построена железнодорожная ветвь (ст. Фосфориты — Яр), соединяющая залежи с магистралью Вятка — Пермь; при улучшении условий сплава эти залежи могли бы более дешевым водным путем 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

руководством Самойлова, затем Казакова), при этом, помимо общего учета, геологами производятся также горно-технические обследование и определение непосредственно пригодных для промышленного использования запасов.

Отметим из результатов этого периода работ следующие.

В Московской области интерес представляет егорьевское месторождение, которое было намечено по признакам перекрытия московского и рязанского фосфоритоносных ярусов, 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 построен очень крупный *Воскресенский химический комбинат*, включающий сернокислотный, суперфосфатный и преципитатный заводы.

В Западной области, помимо 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 треста «Фосфорит», как Полпино (№ 1-й и 2-й), Бычки, Сеща (сюда же относится Кричев в Белоруссии, где перерабатываются фосфориты р. Сожи в Зап. области). В среднем, фосфоритная мука этих месторождений содержит 16—17 % P_2O_5.

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 Горьковском крае имеются Вятско-камские залежи, об исследовании которых говорилось выше, и фосфориты Чувашии, аналогичные верхнекамским и кинешемским, занимающие площадь около 600 км². В северных и западных частях (Вурнарская 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 б. ЦЧО более разведанными являются Курская, Щигровская, Дмитриевская и Моршанская группы; об общем значении и составе этих фосфоритов говорилось выше.

В Средневолжском крае обнаружены фосфориты в районе Сызрань — Батраки, затем залегающие вместе с горючими сланцами фосфориты Общего Сырта и к юго-западу от Оренбурга фосфориты р. Песчаной; пути технологического использования этих фосфоритов еще не установлены (часть фосфоритов сопровождается соединениями железа и мергелем).

В Саратовском крае имеются эксплоатируемые Саратовские залежи, и 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 подлежат выяснению разведочными работами НИУ.

На Украине фосфориты представлены Подольскими залежами, о высоком качестве которых говорилось выше, но которые с количественной стороны не оправдали возлагавшихся на них надежд; затем имеются Кролевецкие фосфориты (18 % P_2O_5) и фосфориты Донбасса подобного же достоинства (Изюм, Камышеваха).

В Казакстане 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 Оренбург — Ташкент) построен преципитатный завод, пуск которого состоялся в 1933 г. Эти залежи до последнего времени были единственным крупным источником фосфатов для снабжения районов хлопковой культуры в среднеазиатских республиках (но они же будут интересны и для Западной Сибири). В 1931 г. открыта была разведочными работами НИУ Казалинская группа фосфоритных месторождений того же типа, расположенная на побережье Сыр-Дарьи и тоже пересекаемая магистралью Оренбург — Ташкент, но запасы их пока не определены.

Невыясненными также остаются запасы Мангышлакских фосфоритов на восточном берегу Каспия (16% P_2O_5, продуктивность около 600 кг/м), которые могут иметь значение при снабжении фосфатным сырьем Закавказья, а впоследствии, с развитием сети железных дорог, и Средней Азии. Кроме того фосфориты найдены в Каракалпакии, в низовьях Аму-Дарьи, а также в Таджикистане (Каратаг), но промышленное их значение тоже еще не выяснено.

2. ХИБИНСКИЕ АПАТИТЫ

Геологическое исследование Хибинских тундр, которое было организовано и велось под руководством академика Ферсмана, привело к открытию в средине Кольского полуострова (за полярным кругом) наиболее важного для Союза источника сырья для суперфосфатного производства — мощных залежей апатитово-нефелиновой породы. Отдельные находки апатита, имевшие преимущественно минералогический интерес, встречались раньше (1921—1923 гг.), коренное же месторождение апатитов было обнаружено геологом Лабунцевым в 1925 г. и ближе обследовано в 1926—1927 г., 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. Апатитово-нефелиновая порода, представляющая смесь двух минералов, не однородна во всех частях рудного тела, — именно, различают 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 разведочного; 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 400 000 т. Общая картина работ совершенно несравнима с тем, что имеет место при добыче фосфоритов, где обычно имеют дело с пластами небольшой толщины, так что 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 отделять. Здесь же имеют дело со сплошной массой апатитово-нефелиновой породы, 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 с 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», откуда поездами главная масса руды, подлежащая обогащению, доставляется в Хибиногорск. Во время полярной ночи (около 6 недель для Хибин) работа в руднике идет круглые сутки при электрическом освещении, прерываясь только в случае бурана.

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 руды 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 напр. кварцевый песок во многих фосфоритах, так как нефелин разлагается кислотой легче апатита, поэтому он составляет существенное препятствие к переработке апатита в суперфосфат. Помимо напрасной траты кислоты это еще связано с обогащением продукта нежелательными составными частями, именно, соединениями железа и гидратной кремнекислотой; последняя, выделяясь при действии серной кислоты в студенистом состоянии, затрудняет промешивание массы и, обволакивая частички неразложенных минералов, мешает полноте разложения апатита.

Поэтому приходится подвергать апатитово-нефелиновую породу обогащению, освобождая апатит от главной массы нефелина путем флоттации, т. е. разделения в водном потоке тонко измельченной породы на апатитовый концентрат и нефелиновые «хвосты».

Дробление руды ведется в 3 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 м 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 400 000 т руды и дающая 250 000 т концентрата с содержанием 39—40 % P_2O_5; теперь строятся 2-я и 3-я секции такой же производительности. За 2 года среди Хибинских тундр, в 1 200 км от Ленинграда, где прежде не было постоянного жилья и только зимой появлялись кочующие лопари со стадами оленей, возник индустриальный город с 40 000 жителей, работает временная электростанция, обслуживающая обогатительную фабрику, и строится постоянная электростанция на р. Ниве (близ Кандалакши), которая использует энергию этой реки, не замерзающей зимой благодаря большому падению, несмотря на широту в 67°.

Прежде думали, что нефелин является только нежелательною 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, дающая глинозем и азотнокислые соли, пригодные как азотистое удобрение; 3) обработка серной и сернистой кислотами, дающая глинозем, квасцы, силикогель 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 слабо кислотные 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 про-

ходке шахт) и в дорожном строительстве (закрепление шоссейного полотна).

Таким образом нефелин как получаемый при обжигании апатитовой руды, так и содержащийся помимо того в больших количествах в других горных породах Хибинских тундр имеет шансы найти обширное приложение в ряде различных производств, и тогда расходы по дроблению апатитовой породы и процессу обогащения будут распределяться 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 включительно; в 1931 г. 60 % всего сырья, переработанного суперфосфатными заводами в Союзе, приходилось на хибинский концентрат; вопрос об окончательном разграничении районов снабжения заводов концентратом из-за полярного круга и местным (низкопроцентным) сырьем, которое труднее перерабатывать, в сильной степени зависит от состояния транспорта.

Иногда специфические условия облегчают транспорт хибинской породы на весьма большие расстояния; так, морские суда, идущие северным путем (через Карское море) в сибирские порты, имеют незаполненный тоннаж, так как грузы из Сибири (лес и хлеб) более громоздки, чем промышленные товары, доставляемые туда; поэтому транспорт руды в кусках без тары может быть дешевым. Морские суда входят вглубь Сибири по Оби до Нового порта и по Енисею до Игарки, где происходит перегрузка на речные суда, которые могут доставлять апатит по Оби до Барнаула (где будет создаваться химический комбинат), по Томи — почти до Кузнецка, по Енисею — до Красноярска и по Ангаре — до Ангаростроя, а впоследствии до Черемхова (под Иркутском) и Забайкалья, если до того времени не будут обнаружены фосфориты или апатиты в Сибири.

3. ПРОИЗВОДСТВО СУПЕРФОСФАТА

Возникновение суперфосфатного производства связано с именем Либиха, который обратил внимание на кости как высокопроцентный материал, пригодный для возвращения в почву фосфорной кислоты, отчуждаемой вместе с зерном, но в то же время 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.

Приведенная схема является упрощенной в нескольких отношениях. Во-первых, в реакции принимает участие вода, так как, с одной стороны, берется не чистая H_2SO_4, а «камерная» кислота (50—52° Боме или выше, смотря по свойствам сырья) [1], с другой же стороны, получающиеся при реакции гипс и однокальциевый фосфат по мере остывания кристаллизуются и при этом связывают определенное количество воды (кристаллизационная вода), кроме того, часть испаряется вследствие разогревания массы от теплоты реакции. В результате смесь сначала жидкая (что удобно для хорошего промешивания) затем по мере образования кристаллов гипса и фосфатов твердеет, происходит

[1] 50° Боме отвечают уд. весу 1,530 и содержанию H_2SO_4 в 57%.

«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 [1], 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 большие кислоты, чем нужно для разложения одного только фосфата; вследствие этого фосфориты, 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 (напр., 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 $CaSO_4$ получатся и другие сульфаты, как $FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Al_2(SO_4)_3$, другие фосфаты, как кислые фосфаты Fe и Al, может быть небольшое количество $CaHPO_4$ и неразложенного фосфата, кремнекислота, выделенная при разложении кремнекислого кальция, неразложившаяся часть $CaFe_2$, затем песок и другие примеси, бывшие в фосфорите. Кроме того обычно часть фосфорной кислоты находится в свободном состоянии, и при сырье, содержащем излишние количества 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, мажущимся, 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 названными 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, напр., 28—30-процентные, чтобы (если возможно) иметь 14—15-процентный суперфосфат; если же при переработке какого-нибудь 15-процентного фосфорита получить 7-процентный продукт, то это значило бы загрузить транспорт перевозкой большого количества балласта [2].

[1] Апатит отличается от $Ca_3(PO_4)_2$ содержанием фтора и более сложным строением ядра, не поддающегося действию слабых кислот так легко, как $Ca_3(PO_4)_2$.

[2] Нельзя сказать, чтобы в суперфосфате количество балласта выражалось тем остатком, который арифметически получается путем вычитания из 100 содержания P_2O_5;

Так как наши фосфориты кроме подольских (и тогда неизвестного хибинского 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 F_2O_3, Al_2O_3), то до войны они считались вовсе непригодными для суперфосфатной промышленности, и имевшиеся прежде заводы (в Риге и тогдашнем Петербурге) работали на привозном 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-процентного суперфосфата, были произведены в Петровско-Разумовском, в лаборатории автора в 1908 г. Тогда же начались 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.

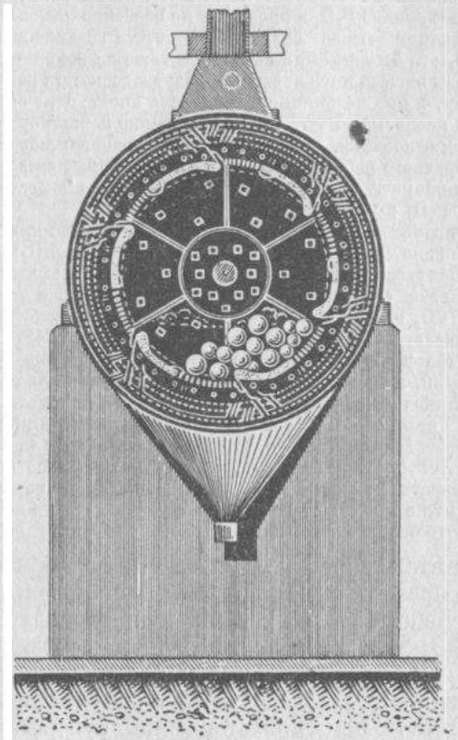


Рис. 15.

Фосфориты до химической обработки 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 фосфата); с этой целью употребляются разного рода специальные мельницы большой продуктивности, напр. «шаровые» мельницы (непрерывного действия), представляющие вращающийся барабан (рис. 15) со стенками из стальных пластин, с отверстиями между ними: внутрь вво-

напр., 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, для нечерноземных почв отнюдь нельзя считать балластом, это только менее ценная часть, чем однокальциевый фосфат, но напр. для почв Средней Азии это уже заведомый балласт.

дятся куски фосфорита вместе с стальными или чугунными шарами; при вращении фосфорит размалывается от ударов и трения, и 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 вращаются, причем 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).

После измельчения смешивают фосфорит с серной кислотой, причем на благоустроенных заводах заботятся об отводе выделяющихся

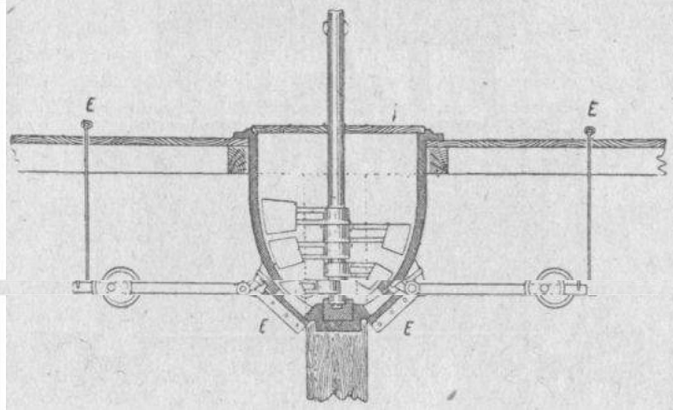


Рис. 16.

ядовитых (HF, SO_2) газов и даже о поглощении их водой или известковым молоком; кроме того рабочие для защиты от действия газов и брызг H_2SO_4 снабжаются очками и масками-респираторами. 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 фосфат и вливается кислота, а после энергичного перемешивания вся масса падает вниз при открытии люка (или нескольких люков) в нижней части прибора.

В последнем случае обычно пользуются расположением, изображенным на рис. 16 и 17: из котла для смешивания, где масса энергично перерабатывается мешалками в течение одной минуты, в еще полужидком состоянии горячая смесь быстрым движением клапанов выбрасывается в помещение, где собственно и заканчивается реакция, а в прибор вводится тотчас же новая смесь. После заполнения камера оставляется для «созревания» суперфосфата, в это время начинается заполнение другой камеры. При этом используется теплота, развивающаяся при реакции 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 порозная масса, которую сравнивают с хорошо выпеченным хлебом. После ее затвердевания и известного остывания 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

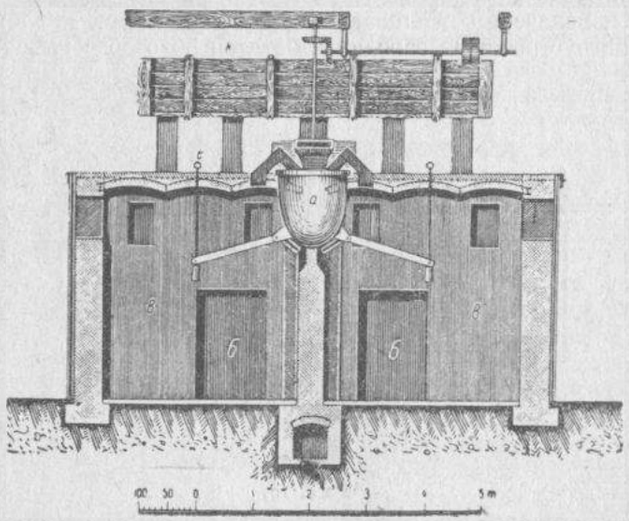


Рис. 17.

с помощью скребков или ножей машины эти отрезают от массы затвердевшего суперфосфата тонкие ломтики, при падении легко рассыпающиеся в тонкий порошок, отдающий встречному воздуху значительную часть влаги.

Прежде за этим следовала сушка в особых сушильнях, причем обыкновенно вагонетки, нагруженные суперфосфатом, подвигались в них постепенно навстречу току теплого воздуха, отдавая излишнюю воду (но кристаллизационная вода при обычных условиях сушки остается).

Важно однако для успеха дела производить сушку не при высокой температуре, иначе кроме высушивания и потерь кристаллизационной воды начнется разложение (с выделением воды) кислой соли ортофосфорной кислоты, с образованием солей пиро- и метафосфорной кислоты. Температура сушки не должна быть выше 100°, при 120° образуется пирофосфат, при 200° — метафосфат:

$$2H_3PO_4 - H_2O = H_4P_2O_7,\quad H_3PO_4 - H_2O = HPO_3.$$

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, нередко примешивают к ним небольшое количество костяной муки (обесклеенной); частички порозной кости впитывают жидкость и нейтрализуют ее, причем достигается «высушивание» без потерь в количестве растворимой P_2O_5.

Ввиду того что суперфосфат, приготовленный из сырья, содержащего больше соединений Fe и Al, чем полагается по норме, при хранении имеет наклонность к ретроградации (т. е. к переходу части P_2O_5 в соединения, в воде не растворимые), рекомендуют в этих случаях примешивать сульфат аммония; тогда происходит следующая реакция:

$$2FeH_6(PO_4)_3 + 3(NH_4)_2SO_4 = 6NH_4H_2PO_4 + Fe_2(SO_4)_3.$$

Таким образом вместо фосфата получаются 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 гипс 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. главу о сложных удобрениях).

4. ДВОЙНОЙ СУПЕРФОСФАТ И ПРЕЦИПИТАТ

Так как большая часть наших фосфоритов является низкопроцентной (смоленские, курские, брянские, рязанские, чувашские, изюмские, 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 деятельным началом. Сюда относится получение двойного суперфосфата и преципитата.*

Эти процессы конечно более сложны, и единица P_2O_5 на месте производства обходится дороже, но в транспорте получается крупная выгода. Нужно сказать, что нам приходится применять эти методы раньше, чем к ним перешла Западная Европа, которая в основном применяет простой суперфосфат, предпочитая использовать высокопроцентные фосфориты Северной Африки и Америки и предоставляя низкопроцентному сырью лежать до тех времен, когда лучшие залежи

будут исчерпаны. И только в исключительных случаях (например для транспорта из Голландии в ее отдаленные колонии, как остров Борнео с его кофейными плантациями) пользуются двойным суперфосфатом.

Но для нас ставка на иностранное сырье, хотя бы и близко расположенное к нашим гаваням (как Алжир к Одессе и Батуму), неприемлема по валютным и иным соображениям, а базировать снабжение всего Союза суперфосфатом исключительно на хибинских апатитах значило бы чрезмерно загрузить транспорт; поэтому для нас важно комбинировать этот путь с переработкой местного сырья; но слово «местный» у нас может относиться к кругу радиусом в 1000 км и более, а потому способы получения обогащенных продуктов из низкопроцентного сырья имеют для нас больше значения, чем за границей.

В основе способов обогащения лежит извлечение фосфорной кислоты из низкопроцентного материала, переведение его в водный раствор, в то время как главная часть примесей (песчаные и глинистые частицы) остается нерастворимой 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 содержит гипса, и содержание P_2O_5 в нем очень высокое (напр. 40%).

Точно так же и второй путь (осаждение) приводит к высокопроцентным продуктам, независимо от того, из какого материала исходят, но только конечный продукт не будет уже называться суперфосфатом, ибо в нем фосфорная кислота не является воднорастворимой; 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, извлечения фосфорной кислоты, применяется серная кислота, удобная не только по своей дешевизне, но и потому, что она дает с кальцием мало растворимый 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 избежания 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 благодаря расходу на топливо, так и требуемой особой аппаратуре. Вторая реакция, которой заканчивается производство двойного суперфосфата, происходит 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) берут какие угодно фосфаты, то для второй реакции предпочитают более чистые и легко разлагаемые материалы, как напр. костяную муку (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.

---

[1] Первые опыты, произведенные в нашей лаборатории Кочетковым, показали, что если работать по нормам обычным на Западе, то наши фосфориты (костромской, вятский, смоленский) отдают в раствор (при 20-процентной серной кислоте) от $^2/_3$ до $^3/_4$ P_2O_5; затем обнаружено, что при непрерывном перемешивании массы можно повысить полноту извлечения до 98%. Наиболее удачно решение задачи дано было последующими работами Казакова, 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.

Что касается действия двойного суперфосфата на растения, то при выравнивании дозы растворимой P_2O_5 нельзя ожидать различия между суперфосфатами (кроме случаев, когда присутствие $CaSO_4$ в простом суперфосфате играет положительную роль, напр. при одновременном внесении аммиачных солей на почвах, бедных кальцием, где важно создать противовес преобладанию иона аммония или калия, вносимых с удобрениями).

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 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 дифосфат 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 последнем остается $CaCl_2$, за малоценностью не используемый) и *сушится осторожно*, чтобы сохранить свойства свежеосажденного фосфата (не удалить кристаллизационной воды).

Преципитат может содержать 30—35% (и выше) фосфорной кислоты, главной его частью является двухзамещенный фосфат $CaHPO_4 . H_2O$. хотя и нерастворимый в воде, но хорошо растворимый в лимоннокислом аммиаке и усвояемый растениями; введение излишнего количества извести приводит 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 «лимонно-растворимости».

Помимо количества извести и скорости применения известкового молока, свойства продукта зависят еще от температуры осаждения и температуры сушки; имеющиеся в продаже преципитаты не равноценны, поэтому многие из опытов с преципитатами неизвестного происхождения давали результаты, не подлежащие обобщению.

---

[1] От латинского praecipitare, французского precipiter — осаждать.

[2] Или тонко измельченным мелом.

По ряду соображений оказывается удобным соединять в одном месте производство двойного суперфосфата и преципитата, так как тогда является 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.

Кроме приготовления обогащенных продуктов путем специальной затраты для экстракции серной (иногда соляной) кислоты, иногда можно комбинировать это производство с другими так, чтобы не производить новой траты кислоты; отметим несколько таких случаев.

1) На некоторых химических заводах получается отбросная серная кислота значительной крепости, которая вполне пригодна для переработки фосфатов по различным методам. Далее, на пороховых заводах скопляется 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, что и было затем достигнуто в работах, произведенных в нашей лаборатории. Выяснилось, что, если обрабатывать фосфорит крепким раствором бисульфата и затем подсохшую смесь через несколько дней обрабатывать водой, то удастся извлечь фосфорита 96—99% от всей фосфорной кислоты; затем преципитирование идет обычным путем с помощью $Ca(OH)_2$, причем в растворе остается нейтральный $NaSO_4$, уходящий в сточные воды.

2) Другой случай, когда производство осажденного фосфата было бы уместно и осуществимо без особых расходов на кислоту, — это при производстве «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 $Ca(NO_3)_2$; таким образом напрасно тратится энергия кислоты, которую можно было бы использовать следующим образом: раствор азотной кислоты идет сначала на разложение фосфорита, вытяжка, содержащая фосфорную кислоту и $Ca(NO_3)_2$, по отделении от нерастворенного остатка осаждается известковым молоком. Осажденный фосфат отделяется от раствора $Ca(NO_3)_2$, тогда последний сгущается и дает поступающий в продажу продукт — норвежскую селитру. Теперь, когда есть дешевый аммиак, осаждение можно вести при помощи его, причем в растворе получается смесь $Ca(NO_3)_2$ и NH_4NO_3 (к этому способу мы еще вернемся ниже).

3) Если располагают водяной силой, то возможно приготовление преципитата без постоянной затраты какой бы то ни было кислоты; при этом пользуются электролитическим способом Пальмера, именно подвергают электролизу раствор хлорноки слого натра ($NaClO_4$) 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 [содержащий кроме того $Ca(ClO_4)_2$] раствор направляется навстречу катодной (щелочной) жидкости, количество которой регулируется так, чтобы при смешении получилась лишь слабо щелочная реакция; тогда выпадает в осадок вся фосфорная кислота в виде белого мелкокристаллического осадка двухкальциевого фосфата (преципитата); осадок отделяется, промывается и сушится, раствор же, содержащий $^1/_3$ кальция взятого фосфатом в виде $Ca(ClO_4)_2$, смешивается с остатком катодной жидкости, причем выпадает большая часть извести в виде $Ca(OH)_2$ (оставшаяся часть удаляется введением CO_2), а в растворе регенерируется $NaClO_4$, и он возвращается опять в аппарат. Таким образом в этом изящном способе только электрическая энергия затрачивается 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. Некоторая разница

в пользу суперфосфата может получаться вследствие того, что 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 $CaHPO_4$. Но если позаботиться о хорошем смешении с почвой, то действие преципитата и суперфосфата выравнивается, а на почвах ненасыщенных различие может даже складываться в пользу преципитата, так как при нем избегается всякое подкисление раствора, а на почвах песчаных во влажном климате отпадает риск вымывания, связанный с внесением растворимых форм P_2O_5. Также при местном удобрении (напр. под клубни картофеля) преципитат безопаснее суперфосфата. В итоге *преципитат, будучи на севере несколько лучше, а на юге несколько уступая суперфосфату* (в связи со сказанным о распределении), *близок к равноценности с суперфосфатом* (кроме случаев неправильного приготовления, напр. сушки при повышенной температуре).

В работах НИУ находим следующие данные относительного (в процентах) прироста урожаев от преципитата и суперфосфата для разных почвенных зон (на фоне сульфата аммония и калийной соли) [1].

	Подзолы	Серые лесные суглинки	Черноземы		
			Деградированные	Мощные	Обыкновенные
Суперфосфат	23	70	58	19	24
Преципитат	32	62	65	17	18
Фон (NK)	22	48	23	8	2

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 (в кг)	411	419	273
(Хлопок-сырец) то же в % . .	24,2	24,5	16,9

Но для окончательного установления среднего соотношения нехватает многолетних данных.

(Кроме того, см. данные географической сети НИУ ниже, стр. 191).

5. ТОМАСОВ ШЛАК

Это фосфорное удобрение получается в качестве отброса 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 80-х годов 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.

[1] Общие средние для опытов с различными растениями.

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 прибавляется к сплавляемому металлу известь (CaO) для связывания образующейся при окислении фосфора P_2O_5.

Процесс окисления совершается при вдувании воздуха. Сперва окисляется Si, потом Mn, C, а при 1800—2000° P сгорает в P_2O_5, которая 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 до плавления	3%	1,3%	1,5%	2,5%	0,2%
Сталь из того же чугуна содержала :	0,4	следы	0,76	0,02	0,03

Полученный в данном случае шлак содержал (в процентах):

SiO_2	12
Окислы Fe и Mn	11
P_2O_5	16
CaO и Mg	54

Состав шлака изменяется в зависимости от состава чугуна, от количества извести, примеси к ней и 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 1884/85 г.) 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

[1] «Your enemi, our «friend Phosphorus», т. е. «ваш (металлургов) враг, наш (земледельцев) друг — фосфор», — эти слова Томаса указывают, что он предвидел двоякое значение своего открытия.

почвах, хотя часто на других почвах для равного эффекта с суперфосфатом нужно было вносить шлака в 1½ раза больше. Однако на песчаных и торфяных почвах даже равные количества могут давать тот же или даже больший эффект. Так, при опытах на бедной песчаной почве под Парижем Грандо получил такие результаты:

	Урожай	
	Картофеля	Пшеницы
Азот и калий, без P_2O_5	8 830 кг/га	24 кг/га
N, K и суперфосфат	26,210 »	44 »
Преципитат	23,210 »	43 »
Томасов шлак (a)	27,885 »	43 »
Томасов шлак (b)	20,230 »	40 »

Большой эффект шлака сравнительно с суперфосфатом на песчаной почве объясняется тем, что такая почва не имеет достаточно извести для нейтрализации кислой фосфорнокислой соли, поэтому последняя не может перейти в полурастворимую форму и вымывается или же вследствие кислой реакции неблагоприятно действует на корни и тем понижает эффект удобрения. Томасов же шлак кислой реакции не имеет, и почвенной водой напрасно не уносится.

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 ч. P_2O_5:

В томасовом шлаке (a)	58%
» » (b)	51%
» » (c)	36%
В фосфоритах разного происхождения	6—10,9%

При оценке томасова шлака обращают внимание: 1) на содержание P_2O_5; 2) степень размола (чем мельче, тем лучше); большая часть частиц шлака должна проходить через сито № 100, диаметр отверстий которого равен приблизительно 0,17 мм; 3) растворимость шлака в лимоннокислом аммиаке или 2-процентной 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, напр. Вагнер, считают степень растворимости шлака в водном растворе лимоннокислого аммиака хорошим показателем степени усвояемости P_2O_5 удобрения растениями. В опытах Вагнера это подтверждается следующей серией относительных чисел.

Растворимость	100	85	81	72	73	76	39	48	42	45	38
Удобряющее действие	100	80	72	72	66	63	40	38	38	31	30

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 напр. градация по растворимости P_2O_5 разных шлаков, совпадающая (допустим) с усвояемостью для хлебов, не обнаружит этого совпадения для люпина, гречихи и пр.; это обстоятельство не учитывали прежде. Еще более сильным является влияние почвы, так на торфянистых почвах эффект выше, чем растворимость в 2-процентной 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, затем в условиях Западной Европы оно имеет практическое значение как указатель степени чистоты шлака, определением которой пренебрегать нельзя, вследствие встречающейся иногда на Западе фальсификации томасова шлака путем примешивания к нему фосфорита, P_2O_5 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-процентной 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, строение которой изображается формулой $O{=}P{-}OH$ ($-OH$, $-OH$) и которое может связать только три атома кальция, но это известковая соль дифосфорной кислоты такого строения: $O\langle^{P(OH)_4}_{P(OH)_4}$. Приходя в соприкосновение с водой при внесении в почву, тетракальциевый фосфат должен распадаться, отщепляя избыток CaO (который поглощается почвой) и образуя свежеосажденный 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 кремневой и фосфорной кислоты, состава $4Ca_3(PO_4) + 3Ca_2SiO_5$ (растворимость около 85%), 3) кристаллы гексагональной системы, напоминающие апатит (состав не вполне определен, ввиду трудности выделения), растворимость низкая.

Эти исследования позволили установить связь растворимости P_2O_5 в томасовом шлаке с наличностью кристаллов первого и второго ряда, причем оказалось возможным искусственно повысить количество кристаллов второго типа за счет третьего (труднорастворимого), 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 ч. $Ca_3(PO_4)_2$, вследствие образования $CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4)_2$.

[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.

Ввиду разной 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 наблюдается очень часто при удобрении северных лугов, почва которых часто отличается кислыми свойствами (сопоставление томасова шлака с другими удобрениями по данным НИУ приведено ниже).

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 1928 г. (в тысячах тонн).

	Суперфосфат	Томасов шлак		Суперфосфат	Томасов шлак
Соедин. штаты . .	4 072	18	Польша	208	277
Франция	2 013	737	Чехо-Словакия . .	249	178
Франция в 1913 г.	1 935	—	Голландия . . .	261	442
Италия	1 312	105	Япония	871	—
Германия	750	2 467	Англия	453	309
Германия в 1913 г.	1 637	2 419	Все страны в сумме	12 500	5 080
Испания	663	47			

Как видно, наибольшее количество шлака применяет Германия, а так как после войны для нее трудно приобретать сырье для суперфосфата, то доля суперфосфата в снабжении Германии снизилась, а потому доля томасова шлака относительно поднялась настолько, что на шлак приходится около 77%, а на P_2O_5 шлака—около 80% от всего снабжения страны фосфатом. Франция, получившая после войны руды Лотарингии, стала на второе место по применению шлака, не снижая применения суперфосфата. В мировом применении фосфатов на томасов шлак приходится около 29%, на суперфосфат — 71%.

У нас имеются значительные возможности для получения в будущем томасова шлака, в меру развития металлургии в направлении переработки фосфористых руд, главные месторождения которых находятся на *Керченском полуострове*; к ним примыкают Таманское, Хоперское и Липецкое месторождения (имеются указания и на другие месторождения, ближе еще не исследованные). Количество шлака будет зависеть от того, насколько в металлургии будут использованы фосфористые руды. Чем больше будет дано томасова шлака, тем меньше, потребуется серной кислоты для суперфосфатного производства, и тем меньше будет загружен транспорт перевозкой хибинского сырья. Пока имеется Керченский завод, способный дать около 100 000 т шлака в год, а затем решена постройка гораздо более крупного завода в Мариуполе (Азовсталь), который должен давать около 1 миллиона 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 продавать 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 с значительным содержанием фосфора» (*Любавин*, Техническая химия). Усвояемость P_2O_5 в образцах мартеновских шлаков с Урала по нашим предварительным опытам оказалась довольно хорошею, а так как для подзолистых почв Уральской области нужна также и известь, то *применение низкопроцентных шлаков, помимо обогащения почвы фосфором, может еще заменять и известкование*.

6. 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 особенных соединений, которые 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) фосфоритов (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

$$Ca_3Na_2P_2O_9 \text{ (или } Ca_3K_2P_2O_9) + CaSiO_3;$$

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 напр. 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- 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 мож-

но перерабатывать и не столь высокопроцентное сырье (напр. 20—23% P_2O_5), а 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 является, как и в случае суперфосфатного производства, хибинская апатитово-нефелиновая порода*, но в тех ее разностях, которые не столь 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) проведено было 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, производство которой у нас пока еще недостаточно развито, поэтому весьма интересным являются пути использования щелочей, содержащихся в нефелине («нефелиновые» хвосты получаются в Хибиногорске при обогащении породы апатитом, помимо того по близости 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 переходят 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. Термофосфаты для кислых почв нашего севера явятся удобрением более подходящим, чем суперфосфат, кроме фосфора они будут содержать некоторое количество калия, и 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 она восстанавливается до

свободного фосфора, который возгоняется и может быть уловлен как таковой, или окислен и уловлен водой (производство фосфорной кислоты), или продукты окисления могут быть уловлены мелом; так могут получиться 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 возгонке фосфора в доменных печах (способ Брицке), при благоприятном исходе которых можно было бы из низкопроцентного курского саморода 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 Хибиногорске, а затем должен быть создан крупный завод в Кандалакше, где будет использована энергия реки Нивы. Таким образом Северный комбинат в его трех звеньях (Хибины, Монча-Тундра, Кандалакша) может давать не только апатитовый концентрат для суперфосфатных заводов юга и термофосфаты для удобрения почв севера, но еще и «сверх-фосфаты» для дальнего транспорта (Сибирь, Дальний Восток) и экспорта, он же явится источником щелочей (в связи с получением металлического алюминия и нефелина) и серы (в связи с переработкой железных руд Монча-Тундры), не говоря о ряде других ценных ископаемых, не имеющих прямого отношения к производству минеральных удобрений.

7. КОСТЯНАЯ МУКА

Ко́сти представляют также довольно видный источник фосфорной кислоты для сельского хозяйства; размолотая кость была одним из первых (если не самым первым) продажным концентрированным удобрением, хотя лишь в 1769 г. Scheele и Gahn 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 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 30-х 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

[1] Так, при разложении технически чистой фосфорной кислотой апатитового концентрата получается тройной суперфосфат с 48—49% воднорастворимой P_2O_5, а при улавливании окислов фосфора мелом в опытах Брицке получались продукты с содержанием до 60% воднорастворимой P_2O_5 в форме как однокальциевого фосфата, так частью и свободной H_3PO_4, в пределах сохранения продуктом хороших физических свойств.

Органическая часть состоит главным образом из жира и оссеина (дающее клей вещество с 18% N).

Наилучше фосфат, жир и оссеин могут быть разделены в костях следующим образом: жир извлекается бензином (или сероуглеродом, эфиром), зольные вещества растворяются в кислотах; можно извлечь из костей минеральные вещества HCl, при этом остается мягкий остов кости из органического вещества, оссеина; оссеин, развариваясь в воде при нагревании, дает желатину (клей). Но в жизни существуют 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. Простой, но грубый способ получения измельченного фосфата 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 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 операция обжигания не является безразличной для качества удобрения: усвояемость P_2O_5 костяной золы значительно меньше, чем у необожженной кости; в лимонной кислоте напр. растворялось P_2O_5 (в процентах):

В костяной муке	В костяной золе (из той же муки)
17,7	7,2
18,1	8,0
17,8	6,2

Из 100 частей P_2O_5 растворялось (при хорошем измельчении) в случае костяной муки 74—93%, после же озоления 32—43% [1]. Конечно в костяном угле растворимость не столь низка, как в костяной золе, но все же она ниже, чем 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.

[1] В одном из наших опытов прокаливание влияло на усвояемость фосфата кости следующим образом:

Урожай	
Без P_2O_5	1,24
Костяная зола	9,26
Костяная мука	31,14

Остановимся несколько на этих подготовительных процессах, чтобы составить себе понятие о самых продуктах.

Извлечение органических веществ 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 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 парки 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, поэтому часто ниже расцениваемая. Однако нужно заметить, что чем полнее удалены клей и жир, тем костяная мука будет относительно богаче фосфорной кислотой.

Теперь чаще употребляется для получения жира экстракционный способ, при котором жир извлекается бензином; последний отгоняется и вновь употребляется на экстракцию; обезжиренная кость пропаривается для удаления бензина, после чего 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 является возможность организовать производство костяной муки дешевле, нежели когда она является единственным поступающим в продажу продуктом.

Для обработки костей употребляют также и химические агенты — кислоты и щелочи.

Нередко на кости, лишенные предыдущими обработками части органического вещества, действуют серной кислотой для получения костяного суперфосфата; так как кость легко разлагается серной кислотой, то ее переработка возможна даже на заводах кустарного типа (но так как на целом ряде почв кость 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 [1], извлекающей зольные вещества; мягкий остов кости будет состоять из оссеина, который при нагревании с водой дает лучшие сорта клея (желатину). Солянокислый экстракт нейтрализуют

[1] В отличие от преципитатного производства из фосфоритов, где можно брать серную кислоту, здесь непременно нужна соляная, ибо при действии на неизмельченную кость серной кислоты образовалась бы корка гипса, мешающая проникновению кислоты вглубь, да и оссеин был бы загрязнен отложением в нем гипса.

$Ca(OH)_2$ 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 изменяется в следующих пределах (в процентах).

	N	Жир	P_2O_5
Сырая кость содержит	3—5	8—10	15—20
Кость вареная (не под давлением) . .	3,3—4,3	6—8	18—22
Пареная мука	4	4	20—24
Обесклеенная мука	0,7—1,2	1—2	29—34

Энгельгардт и Ильенков предложили хозяйственный способ обработки костей щелочами. При обработке костей КОН 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 совсем удобные для домашнего употребления, вследствие чего рекомендуется такой способ: в непроницаемый для воды резервуар (кадку или яму, выложенную досками или кирпичом) накладываются грубо измельченные кости и пересыпаются гашенной известью; смесь поливается раствором поташа, реагируя с которым $Ca(OH)_2$ освобождает КОН. Смесь по временам смачивается водой и недели через 2—3 перекладывается так, чтобы лежащие вверху кости легли вниз; еще через 2—3 недели получается мягкая творогообразная масса. На 12 пудов костей берут 2 пуда $Ca(OH)_2$ и 1 пуд поташу, растворенного в 20 ведрах воды (Энгельгардт).

Рекомендуют 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.

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 внесение удобрений сопровождать 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 г) .	19,2	8,3	3,9	1,7	0,9

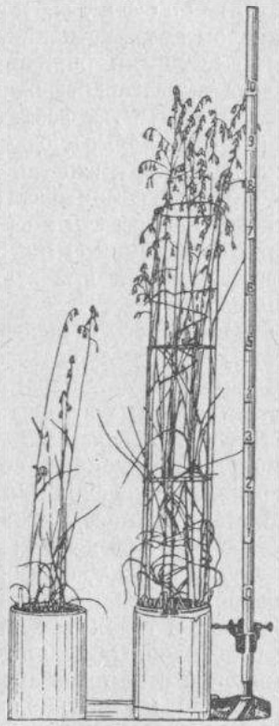
Будучи чувствительна к подавляющему влиянию извести, костяная мука в то же время чрезвычайно отзывчива и к обратным влия-

ниям; так, в нейтральной среде (чистый песок) переход от одного источника азота к другому сказывается резко на поведении костяной муки.

	Без фосфора	Костяная мука		Растворимый фосфат	
		$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3
Урожай овса (в г)	1,67	3,3	36,2	36,0	23,6

(См. рисунок 18.)

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, сказывавшиеся не только в данных опытах разных авторов, но и такие факты, что напр. 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. Соответственно этому у нас условия *благоприятные для применения костяной муки имеются в районе подзолистых почв и деградированных черноземов*, южнее 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.



$Ca(NO_3)_2$ NH_4NO_3

Рис. 18. Влияние источника азота на использование фосфата костей (песчаные культуры).

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 (стр. 191).

8. О СРАВНИТЕЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФОСФАТОВ, ДОСТАВЛЯЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ, И ОБ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРИТНОЙ МУКИ

Все разнообразие форм фосфатов, встречающихся в удобрениях, может быть сведено к трем группам по их отношению к растворителям, хотя и состоящим иногда из неоднородных в других отношениях.

1) Растворимые фосфаты (разумеется растворимость в воде): сюда относится типичная составная часть суперфосфата как простого, так и двойного, кислый, однозамещенный фосфат $Ca(H_2PO_4)_2$ (конечно, растворима в воде и свободная H_3PO_4, в небольших количе-

ствах встречающаяся в суперфосфатах); эти формы сполна усвояемы для растений, поскольку они в почве не переходят частично в соединение с железом и подвергаются вторичным изменениям.

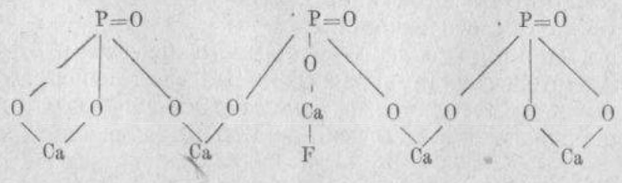
2) Полурастворимые фосфаты, т. е. растворяющиеся в лимоннокислом аммиаке (так называемый реактив Петермана) и усвояемые растениями в меру этой растворимости; сюда относятся два типа соединений: а) двухзамещенный или двухкальциевый фосфат $Ca_2H_2(PO_4)_2$ или $CaHPO_4$, главная составная часть преципитата, сполна растворяющаяся в реактиве Петермана (при правильном приготовлении); б) тетракальциевый фосфат томасова шлака (и искусственных тетрафосфатов) и те двойные соединения с кремнекислотой, от присутствия которых зависит доля «лимоннорастворимой» P_2O_5 в шлаках и тетрафосфатах.

3) Фосфаты, не растворимые ни в воде ни в лимоннокислом аммиаке и не усвояемые непосредственно или плохо усвояемые главными растениями полевой культуры (зерновыми хлебами); сюда относится безводный (напр., 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, это так называемое апатитовое ядро [2], встречающееся не только в самих 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 60-х годах фосфориты использовались с успехом для коренного улучшения вересковых пустошей в Бретани (Landes), правда, при внесении очень больших количеств. У нас еще в 60-х годах, 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 80-х 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

[1] Свеже приготовленный 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] Что касается строения апатитового ядра, то оно изображается такой формулой:



почв или в свойствах фосфоритов; хотя ставилось большое количество полевых опытов, но довольно бессистемно, и когда в 1895 г. издан был большой том по сводке этих опытов, определенных выводов сделать не удалось [1].

С 1896 г. начаты были *вегетационные опыты по фосфоритному вопросу* автором настоящей книги, в целях расчленения его на отдельные части, а именно:

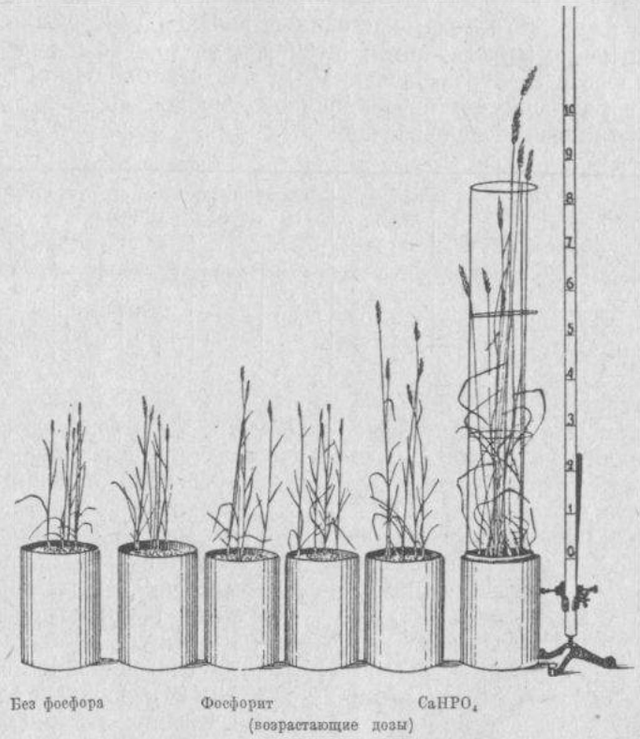


Рис. 19. Опыт с пшеницей (песчаные культуры).

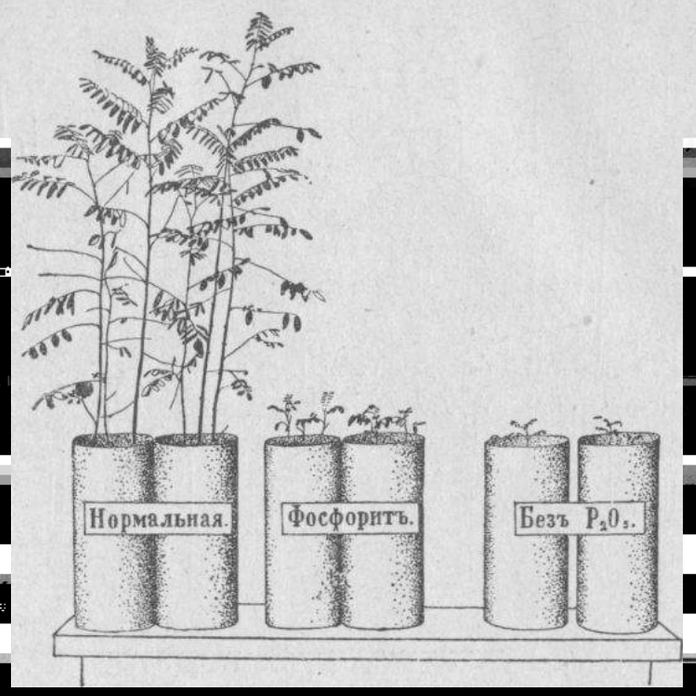
1) как относятся растения сами по себе к фосфоритам; 2) какова роль почвы как посредника между удобрением и растением в данном случае; 3) какую роль играет природа фосфорита и 4) сопутствующие удобрения.

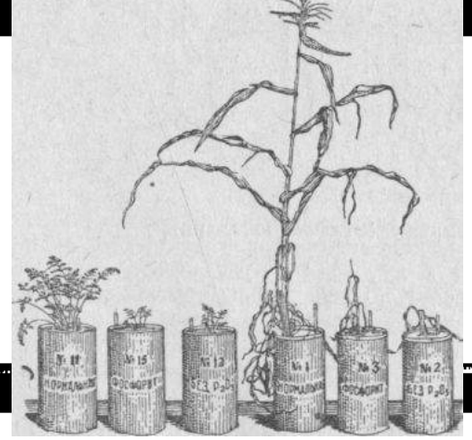
Чтобы исключить сначала влияние почвы и учесть *роль самого растения*, были применены культуры в чистом кварцевом песке, промытом кислотой (и водой) для удаления последних следов P_2O_5.

Опыты эти показали, что хлебные злаки сами по себе почти совсем не используют P_2O_5 фосфорита независимо от происхождения последнего, например:

[1] Труды комиссии по отделу искусственных удобрений ИМОСХ 1895 г., под ред. Яновского.

Источник P_2O_5	Растворимая фосфорная кислота	Фосфориты			
		Смолен-ский	Костром-ской	Рязан-ский	Подоль-ский





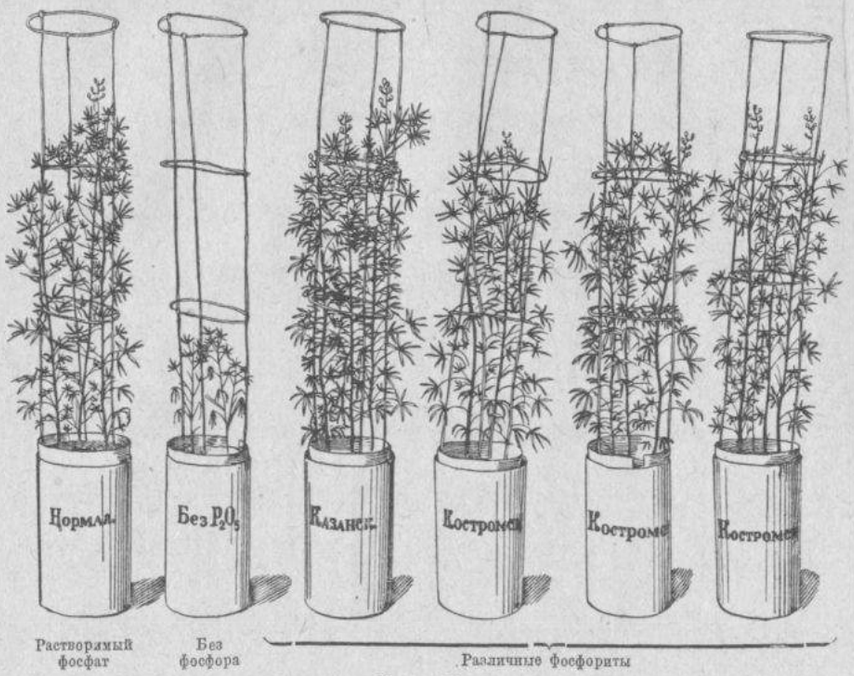


Рис. 22.

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.

	По фосфориту		По растворимой P_2O_5	
	горох	овес	горох	овес
Урожай в граммах на сосуд	30,0	10,1	57,0	42,0
P_2O_5 в урожае на сосуд в миллиграммах	47	14	147	136

Однако результаты для люпина и гороха не подлежат обобщению для всего семейства бобовых; так, напр. *клевер сам по себе вовсе не обладает способностью разлагать фосфорит* (о роли почвы будет говориться ниже).

Из растений других семейств гречиха и горчица также отличаются значительной усвояющей способностью, 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.

	Без P_2O_5	Фосфорит в количестве (кратном)			
		1	4	8	10
Вес урожая в граммах .	2,0	9,5	13,5	16,8	18,6

(См. рисунок 23.)

В сельскохозяйственной литературе раньше неоднократно встречались попытки установить коэфициенты использования фосфорной

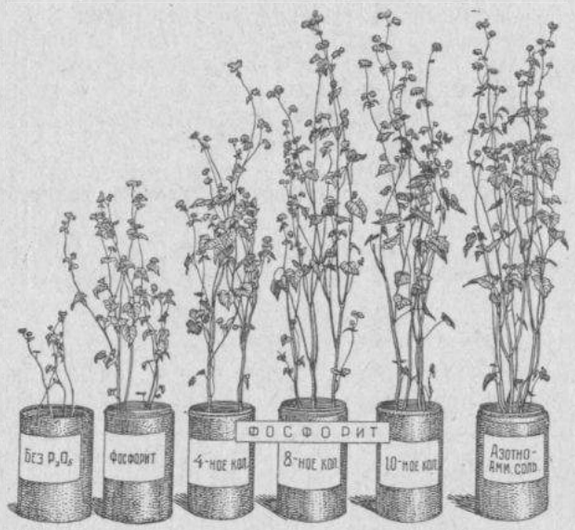


Рис. 23.

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, напр., вообще утверждать, что фосфорная кислота такого-то фосфорита используется в 4 раза хуже, чем P_2O_5 суперфосфата (т. е. что коэфициент использования равен 25%); можно устанавливать эти нормы, лишь оговорившись 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 продажных 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.

То же относится к другим растениям, корневая система которых обладает слабой растворяющей способностью, как это показывают, напр., следующие данные опыта с табаком в песчаных культурах.

Зола [1]	45,04
Томасов шлак	35,35
Кость	25,92
Фосфорит	5,03
Без P_2O_5	0,67

(См. рисунок 24.)

Напротив, для люпина все фосфаты будут почти равноценны, и при графическом изображении кривая быть может приблизится к совершенно горизонтальной линии; кривая для других растений должна расположиться между ними. Примерными могут служить следующие величины урожаев (урожай по суперфосфату равен 100).

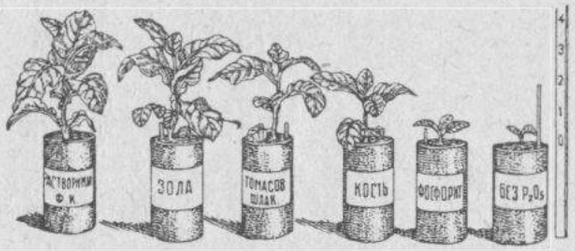


Рис. 24.

Относительная доступность фосфатов для разных растений (без участия почвы) (в процентах) видна из следующих данных:

Культуры	Без P_2O_5	Фосфорит [2]	Костяная мука	Томасов шлак	Суперфосфат
Для хлеба	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, картофель, лен, для которых успех или неуспех удобрения фосфоритной мукой зависит целиком от свойств почвы, а не самого растения.

Это было обнаружено нами одновременно с выяснением отношения различных растений к фосфориту, а именно, параллельно с песчаными культурами мы еще в том же 1896 г. провели опыты с *почвами разных типов: так как вегетационный опыт позволял поставить все почвы*

[1] Выщелоченная водой.

[2] Здесь разумеются фосфориты внутренних областей (Московской, б. ЦЧО) и им подобные; но подольский фосфорит и апатит труднее переходят в усвояемые формы.

в условия одинаковой влажности, температуры и освещения, то влияние климата здесь было исключено; вот результат первого опыта в этом направлении.

Урожай яровой ржи

Почва	Без удобрения	С фосфоритом	Повышение урожая (в процентах)
Чернозем	5,65	5,80	+ 3
Супесь	3,55	4,40	+ 24
Подзол (Петровско-Разумовская ферма)	3,30	10,75	+ 226
Заболоч. 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. 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) (в процентах).

Без фосфорита	Фосфориты		
	Подольский	Смоленский	Кинешемский
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 этим позднейшими опытами доказана была возможность применения даже апатитовой муки на кислых торфяниках).

В итоге подзолистые почвы и моховые торфяники способны в сильной степени сближать действие различных фосфатов, как видно из другого опыта на той же подзолистой почве (Петровско-Разумовское).

Без фосфора	100
Фосфорит	166
Костяная мука	190
Растворимая P_2O_5	202

Если же 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 он следует после клевера, или в 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)
Томасов шлак	177,1
Фосфорит [1]	184,9
Навоз (36 т)	189,1

Так как без клевера или залежи фосфорит не действовал, то отсюда возникло прежнее утверждение, будто «без травополья минеральные удобрения вообще не действуют».

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 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 действует 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 80-х годах прошлого столетия, получили должное объяснение, и теперь, как только промышленность будет давать азотистые удобрения, применение фосфоритной муки (как и других фосфатов) на подзолистых почвах не будет ограничено только клеверищем и залежью.

Но помимо разъяснения наблюдений Энгельгардта, дальше достигнуто было и существенное расширение зоны применения фосфоритной муки; именно работами Лебедянцева на Шатиловской станции было доказано, что не только подзолы и торфяники, но и та широкая кайма переходных почв, которая характеризует *северную часть черноземной полосы* (деградированные и выщелоченные черноземы б. Тульской, Орловской и смежных губерний), *тоже обладает способностью разлагать фосфорит;* приводим данные урожаев ржи в среднем за 9 лет (в центнерах с га).

Без удобрения	16,9
Фосфорит	21,9
Суперфосфат	21,3
Навоз	21,6
Фосфорит и навоз	23,4

Для выравнивания действия фосфорита с суперфосфатом и в этом районе достаточно двойной дозы P_2O_5 в фосфорите (90 кг/га вместо 45).

Можно сказать, что новая «Лебядянцевская» зона применения фосфоритной муки по очередности стоит даже впереди раньше выявлен-

[1] В фосфорите было дано больше P_2O_5, чем в шлаке.

[2] Опыты НИУ (см. примеры ниже).

ной «Энгельгардтовской» зоны фосфоритования, т. е. подзолистых почв севера, так как при относительном богатстве почв азотом паровые поля в зоне деградированного чернозема можно удобрять *фосфоритной мукой независимо* от развития клеверосеяния и от применения азотистых удобрений; затем этот район имеет гораздо более высокий процент пашни и более густое население, чем лежащая к северу подзолистая полоса, и достаточно устранить фосфорный минимум паровых полей, чтобы поднять урожаи ржи (удобрение яровых и в этом районе более связано с вопросом об азотном минимуме, чем для озимых).

Что касается вопроса о *механизме разложения фосфорита известными видами почв*, то несомненно, что главная роль здесь принадлежит *обменной кислотности*, т. е. почвенные кислоты (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 с хорошим смешением последнего.

Если обменная кислотность почвы достаточно резко выражена (напр. 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 быть выше его, так как кальцием его смягчается избыточная кислотность. 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 со включением и гидролитической кислотности 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 натра, для которого pH лежит около 8,3.

Поэтому, если обменная кислотность слабо выражена (pH в солевой вытяжке выше 4,9), то для априорного суждения о способности почвы реагировать на удобрение фосфоритом можно судить по степени насыщенности ее основаниями (при условии недостатка P_2O_5 в ней) по указанному масштабу. Если известна сумма поглощенных оснований (a) и степень ненасыщенности или бощая кислотность, включая и гидролитическую (b), то отношение $\frac{a}{a+b}$, выраженное в процентах, является до известной степени мерилом способности почвы разлагать фосфорит. По имеющимся данным [1] можно думать, что почвы, у ко-

[1] Опыты Голубева в нашей лаборатории.

торых это отношение равно 85% (и выше), не обладают способностью разлагать фосфорит и будут слабо на него реагировать; если же отношение равно 70% (и ниже), то разложение фосфорита идет достаточно энергично, чтобы двойная доза фосфоритной муки заменяла суперфосфат (если конечно в то же время почва бедна фосфорной кислотой); между 70 и 85% насыщенности получается промежуточное решение. Однако для уточнения этих соотношений желательно увеличить число подобного рода данных, тем более, что кроме этого соотношения важна еще абсолютная величина поглощающего комплекса, как напр. в случае песчаных почв поглощающий комплекс очень мал и, несмотря на достаточно выраженную ненасыщенность (напр. 70%), может случиться, что абсолютная величина гидролитической кислотности у этих почв так мала, что ее не хватит для освобождения достаточных количеств P_2O_5 из фосфорита, в то время как в деградированном черноземе при большей относительной насыщенности, но и при большем развитии поглощающего комплекса, остаточная (гидролитическая) кислотность может быть так велика, что по абсолютным размерам ее будет вполне достаточно для разложения фосфорита, и эффект будет полный (опять-таки в случае ясно выраженной потребности в фосфоре).

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 лабораторной обстановке.

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. 180).

Но при переходе к почвам такие соотношения сохранятся только для очень бедных песчаных почв, при том 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, напр., расположить *фосфаты* в порядке их усвояемости, на вертикальной — *растения* в порядке по энергии усвоения ими P_2O_5 из мало растворимых 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.

Однако и такая схема не охватывает еще затрагиваемых явлений сполна; именно, 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 одна и та же почва может то реагировать на фосфорнокислое удобрение, то относиться к нему совершенно безразлично, смотря по тому, какое растение мы возьмем для опыта.

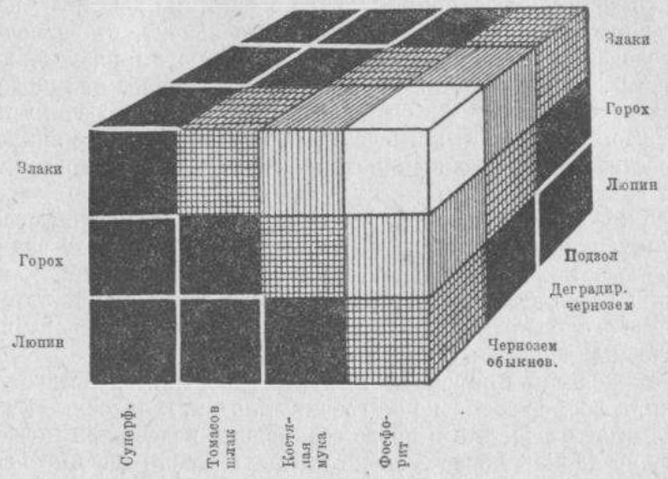


Рис. 25. Схема действия фосфатов в зависимости от свойств растения, почв и минеральных удобрений.

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	Тимофеевка	31
Горох	87	Озимая рожь	32
Гречиха	65	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 не хватит этой пищи, тогда проявится способность люпина использовать фосфорит.

Вот пример разного отношения гречихи и злаковых к фосфорному удобрению на черноземе (одна и та же почва).

Пшеница		Гречиха	
Без фосфора	Растворимая P_2O_5	Без P_2O_5	Растворимый фосфат
4,7 г	28,0 г	18,7 г	19,0 г

Вот этот 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 (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 фосфорной кислоты, но ее много в элементах «богатства почвы». Фосфорит в этом случае действует слабо или не действует вовсе на хлеба, потому что он им не доступен, а на гречиху и люпин потому, что эти растения и в почве находят готовый запас аналогичных мало растворимых соединений и не нуждаются в удобрении (черноземы, давно находящиеся в культуре).

3. На хлеба действуют как фосфорит, так и растворимые фосфаты, 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 аммиака в качестве источника азота в песчаные культуры существенно изменяет условия использования фосфатов*, делая даже фосфориты материалом доступным для 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 опыта: если, взявши в качестве источника P_2O_5 фосфорит, постепенно во взятом ряде сосудов изменять источник азота, переходя от селитры или $Ca(NO_3)_2$ к смеси селитры и аммиака и к сернокислому аммиаку, 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.

Источник азота	$NaNO_3$	$\frac{3}{4}$ $NaNO_3$ + $\frac{1}{4}$ $(NH_4)_2SO_4$	$\frac{1}{2}$ $NaNO_3$ + $\frac{1}{2}$ $(NH_4)_2SO_4$	$\frac{1}{4}$ $NaNO_3$ + $\frac{3}{4}$ $(NH_4)_2SO_4$	$(NH_4)_2SO_4$
Урожай овса на фосфорите (вграммах)	6,2	22,0	20,5	19,9	1,42
% P_2O_5 в урожае	0,09	0,30	0,57	0,92	1,46
Абсолютное количество P_2O_5 в урожае (в миллигр.)	6,5	66,0	116,8	176,6	24,1

(См. рисунок 26).

Как видим, растения голодавшие от недостатка фосфорной кислоты, при селитре, по мере введения аммония обильно ее воспринимали;

Рис. 26.

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 (см. рисунок 27).

[1] В присутствии корней растений.

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 ц/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

Интересно было бы испытать рядовое внесение такой смеси (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, и эти последние при сплошном внесении играют защитную роль по отношению к фосфориту, мешая его разложению остаточной кислотой сульфата.

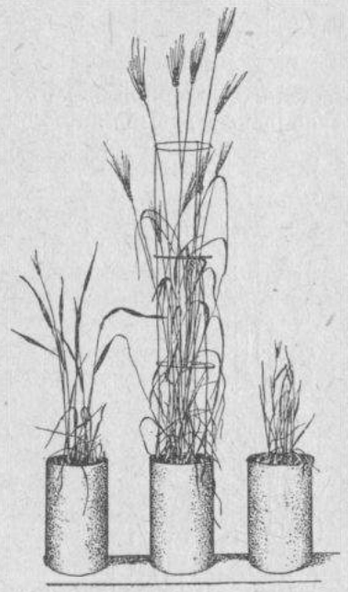


Рис. 27. Влияние NH_4NO_3 на использование фосфорита злаками (песчаные культуры).

Однако, если одни из сопутствующих удобрений, как *соли аммония, способны повышать действие мало растворимых 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: малоотзывчивыми к внесению извести являются одно- и двукальциевый фосфат (следовательно суперфосфат и преципитат), а также томасов шлак; наоборот, весьма чувствительны к присутствию избытка извести трехкальциевый фосфат, кость и фосфориты (см. табл. на стр. 189).

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, напр. 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, 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 $Ca(HCO_3)_2$. Потому нужны опыты на почвах, богатых известью, по сравнению различных фосфатов.

I. Фосфаты, малочувствительные к внесению $CaCO_3$

	0	1/4%	1/2%	3/4%	1%	$CaCO_3$
$Ca(H_2PO_4)_2$	20,7	19,5	25,7	25,7	23,2	(гречиха)
$CaHPO_4$	18,4	16,3	18,5	18,2	22,5	(ячмен)
	21,8	—	25,7	24,9	21,2	(пшеница)
Томасов шлак	22,7	21,4	25,1	23,1	25,5	(ячмень)
	23,6	23,7	25,3	22,2	18,4	(гречиха)

II. Фосфаты, очень чувствительные к извести

	0	1/4%	1/2%	3/4%	1%	$CaCO_3$
$Ca_3(PO_4)_2$	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)

(См. рисунок 29).

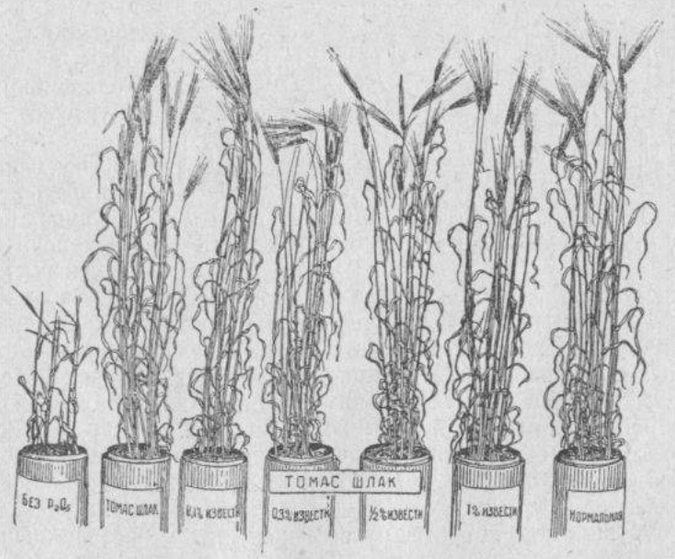


Рис. 28. Влияние возрастающих доз $CaCO_3$ на использование P_2O_5 томасова шлака (песчаные культуры).

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, в которых наряду с суперфосфатом, преципитатом и томасовым шлаком можно применять и мало растворимые 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 естественного 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 напр. в Дании процент заизвесткованной площади чрезвычайно велик. При сильно развитой промышленности, дающей большие массы дешевых удобрений универсального действия, конечно там мало стимулов отыскивать отдельные остатки мало затронутых культурой подзолов, чтобы внести фосфоритную муку, которую часто нужно везти издалека, если нет местных фосфоритов (напр. из Африки в Данию и Голландию).

Рис. 29. Влияние возрастающих доз $CaCO_3$ на использование P_2O_5 фосфорита гречихой (песчаные культуры).

Другое дело у нас: ненасыщенность, неизнаваженность неизвесткованных подзолистых почв велика; используя их скрытую кислотность, мы можем разлагать фосфориты, не тратя серной кислоты; продукция фосфатов универсального действия (суперфосфата и шлака) у нас еще очень мала, эти фосфаты должны быть направлены в районы почв насыщенных (типичные черноземы европейской части Союза и Сибири, лёссовые почвы Средней Азии); далее, мы богаты низкопроцентными фосфоритами как раз в районах почв, реагирующих на фосфориты (смоленские, брянские, калужские, рязанские и другие фосфориты), поэтому *поле для использования фосфоритной муки у нас чрезвычайно обширно, в отличие* от Западной Европы.

В будущем конечно и мы будем переходить к растворимым фосфатам, так как еще Энгельгардт заметил, что на приусадебных землях, более окультуренных, действие фосфоритной муки ослабевает. Но значит ли это, что после приведения в культурное состояние имеющейся теперь посевной площади роль фосфоритной муки закончится? Никоим образом. Если в пределах б. Московской губ. имелось лишь около 25% посевной площади, а в Костромской, 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 (а потом еще и синтетическими азотистыми удобрениями)*, громаден, даже если иметь в виду пока только европейскую часть РСФСР, не говоря еще о Сибири.

Приведем среднее из значительного числа данных географической сети НИУ для озимой ржи, в которых фосфорит вносили в цару (без других удобрений).

Виды почв	Урожай без удобрения (в центнерах)	Прибавка (в процентах)	
		суперфосфата	от фосфоритной муки (двойная доза)
Подзолистые почвы	12,3	40	37
Деградированные черноземы	14,4	25	29
Мощные черноземы	17,5	22	8

Кроме того приведем еще средние данные для опытов с картофелем, в которых различные фосфаты сравнивались на фоне азотнокалийного удобрения.

Сравнительное действие различных фосфатов (прирост урожая картофеля в ц/га) [1]

Виды почв	Суперфосфат	Преципитат	Шлак	Кость	Фосфориты	
					I	II [2]
	1) Фон: $(NH_4)_2SO_4$ и калийная соль					
Подзолы	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					
Подзолы	31,1	26,9	22,8	13,7	7,3	22,4
Серые лесные земли	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

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

[1] Средние урожаи (в ц/га) без фосфора (NK) были таковы:

	Подзолы	Серые лесные земли	Деградированные черноземы	Мощный чернозем
По аммиаку	123,3	149,2	112,6	198,8
По селитре	120,8	150,7	123,5	192,7

[2] I—45 кг, II—90 кг P_2O_5.

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 $(NH_4)_2SO_4$.

Так как при движении к югу действие фосфорита ослабевает и так как с юга (от Мариуполя) будет итти встречная волна томасова шлака (кроме суперфосфата, который Константиновка, Одесса и Винница дадут свекловичным полям), то рационально применение фосфоритной муки развивать именно там, где ему положено начало Энгельгардтом (подзолы) и Лебедянцевым (деградированные черноземы), где не только фосфоритная мука в пару под рожь дает наилучшие результаты (даже без внесения азотистых удобрений), но где и самые залежи низкопроцентных фосфоритов так широко распространены, где фосфоритование не только поднимет урожаи ржи, но еще усилит и фиксацию азота воздуха клевером и люпином, чем будет способствовать поднятию урожаев вообще, а все это вместе позволит свободнее маневрировать подвижным «техническим» азотом и фосфором растворимых концентрированных продуктов, направляя их под хлопчатник и свеклу и под новые и старые «лубяные» и масличные культуры.

При замене растворимых фосфатов трудно растворимыми большое значение приобретает *степень измельчения их*, так как для успешного хода реакции между твердыми телами (почвенные ацилоиды и фосфориты) необходима большая поверхность соприкосновения.

Для фосфоритной муки контролем измельчения служит сито № 100 с отверстиями 0,17 мм. Более грубые частицы остаются недеятельными; более тонкий размол может быть еще более эффективным, но тогда сильно возрастет стоимость размола. В опытах НИУ за 1927—1930 гг. проводилось сравнение в разных почвенных зонах трех видов помола:

1) грубый — 0,5—0,17 мм; 2) нормальный — 0,17—0,08 мм 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.

9. ДЕЙСТВИЕ ФОСФАТОВ НА РАСТЕНИЯ

Общее влияние фосфора на ход развития растений является обратным азоту: недостаток фосфора дает замедление в прохождении отдельных стадий 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 и высокой растворимости		Суперфосфат
I. Число колосьев на сосуд к 1 июля	6	8	12	41	47
II. Число колосьев в конце опыта . .	48	65	68	84	92
I в процентах к II	12,5	12,5	17,6	48,8	51,1

Ускорение развития проявлялось параллельно усвояемости фосфата. На делянках бессменной культуры в поле, 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, и нередко бывает, что на черноземе на той стадии истощения, когда хлеба еще не реагируют, 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.

[1] Эти личинки, выводясь из яйца, положенного вверху влагалища верхнего листа, опускаются вниз и питаются молодыми зернами невыколосившегося ячменя. На участках же, удобряемых суперфосфатом, ко времени появления личинок колосья вышли из влагалища, и потому в них зерно осталось неповрежденным.

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 (в процентах):

	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, которые имеют два ящика и два ряда 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 требуются для достижения того же эффекта меньшие количества удобрения, чем при сплошном внесении; так 1,5 ц/га суперфосфата позволяют обычно достигнуть полного эффекта, тогда как при разбросном внесении удобрения потребовалось бы не менее 3 ц; даже 1 ц 20-процентного суперфосфата оказывает весьма значительное действие при рядовом внесении.

Что касается причин этого преимущества рядового внесения суперфосфата, то нам более вероятным кажется следующее объяснение: при рядовом способе суперфосфат не смешивается со всей массой почвы, следовательно не соприкасается с большими количествами соединений извести, железа и глинозема, 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. Быть может, и самая форма распределения не безразлична для растений, т. е. имеет значение нахождение запаса растворимой P_2O_5 на пути распространения корешков в самую первую стадию развития растения.

Однако по мере продвижения истощения чернозема и улучшения снабжения суперфосфатом и у нас выявляются *недостаточность одного только местного внесения удобрения* и необходимость внесения достаточных доз фосфата в виде основного удобрения, вносимого сплошь. В Германии считают, что если имеют возможность внести под свеклу 300 ц навоза и желают гарантировать урожай в 300 ц, то нужно дать сверх того еще 60 кг/га P_2O_5 в виде суперфосфата или шлака, чтобы свекловица заведомо была с избытком снабжена фосфором, и тогда «идущий за свеклой овес может обойтись без внесения фосфатов».

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 разные фосфаты до фосфорита включительно (см. таблицу на стр. 191), что для сахарной свеклы, приуроченной к черноземy, необычно (кроме зоны деградированного чернозема). Но при культуре картофеля по навозу вообще можно не добавлять фосфатов, так как усвояющая способность картофеля больше, чем у свеклы, а потому и потребность в непременном внесении растворимой P_2O_5 меньше.

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

O	14,8	NP	13,2
N	14,5	NK	13,6
P	13,5	KP	15,7
K	16,3	NKP	13,5

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 (в процентах):

Содержание бобовых в смеси трав

Без удобрений	2,8
Фосфорная кислота	45,2
Азот	1,8
Калий	9,2

Ботанический анализ смеси в этом опыте произведен был 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 мало растворимых 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 ц/га):

	Болотные	Заливные	Низинные	Суходольные луга
Прибавка от суперфосфата	5,1	5,7	5,1	17,9
» » 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 Кепуа	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 компостом из мохового торфа с навозом, наблюдается 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 мало растворимых фосфатов, не только потому, что в первый год они менее используются, но еще и потому, что вносятся обычно в больших 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 б. Воронежской губ. (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 удобр.	Без удобрения	С удобр.
Урожай (в центнерах с гектара)	122,5	166	108	142
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/га).

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 ц/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	64,4	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 одним севооборотом, а переходит и на следующий; примеры такого длительного эффекта были даны Энгельгардтовской опытной станцией. 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.

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.

Калий распространен в природе больше, чем фосфор, и содержание его 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. При выветривании горных пород и разрушении силикатов калий отчасти вымывается (в виде углекислого и кремнекислого калия) и уходит в море (оттуда калий Стассфурта и Соликамска), отчасти же остается в почве в различных формах, в воде трудно растворимых, но частью легко усвояемых для растения, как калий в поглощающем комплексе, и в значительной степени в остатках от неполного разрушения калийных минералов, которые служат резервом для постепенного образования усвояемых для растения форм калийных соединений.

В поглощающем комплексе находится обычно только небольшая часть почвенного калия, гораздо большая часть его находится в форме, извлекаемой соляной кислотой, но и этим также нельзя ограничиваться, так как значительная часть калия в остатках от неразрушенных силикатов не растворяется в соляной кислоте (может быть переведена в растворимые соединения путем сплавления с содой).

Так в наших черноземных почвах часто может находиться лишь $0{,}05\%$ калия в поглощающем комплексе, но $0{,}2—0{,}5\%$ K_2O в солянокислой вытяжке при валовом содержании калия в $1—2\%$; в подзолистых почвах, которые гораздо беднее всеми питательными веществами, в поглощающем комплексе калия иногда почти не содержится, но солянокислая вытяжка может обнаружить $0{,}1—0{,}2\%$ K_2O.

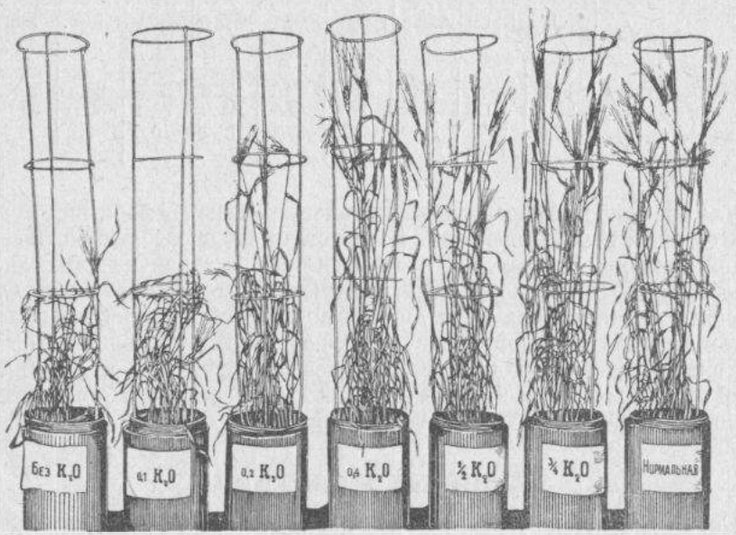


Рис. 30. Влияние возрастающих доз калия (от нуля до нормы) на рост хлебов (песчаные культуры).

В общем замечается связь между содержанием глины в почве и богатством их калием: так при исследовании почв Швеции обнаружилась в среднем такая закономерность (в процентах):

	Пески	Супески	Легкие суглинки	Тяжелые суглинки	Глины
K_2O (по HCl)	0,08	0,11	0,14	0,20	0,26
Глина (по Al_2O_3)	0,3	1,7	4,3	6,8	11,2

(См. рисунок 31.)

Однако солянокислая вытяжка не передает оттенков усвояемости, и опыт показывает, что например в данной серии почв, если взять глинистую почву и легкий суглинок с одним и тем же содержанием калия в $0{,}20\%$, то для глины это будет означать потребность в калийном удобрении (так как это ниже средней нормы), а для суглинка —

отсутствие этой потребности (так как $0{,}20\%$ для легкого суглинка — это выше средней нормы); очевидно связные почвы труднее отдают свой калий растениям (если выразить в процентах ежегодное накопление усвояемых форм), а легкие суглинки «не богаты, но тароваты». Оттенки усвояемости калия (кроме показаний растения) лучше, чем соляной кислотой, улавливаются слабыми кислотными вытяжками, о которых будет сказано позднее.

Бедностью калием отличаются кроме песчаных и сильно оподзоленных почв также моховые торфяники, но суглинки и глины, чернозем и лесс богаты калием в гораздо большей мере, чем фосфором.

Кроме богатства названных почв калием круговорот веществ в хозяйстве складывается более благоприятно для калия, чем для фосфор-

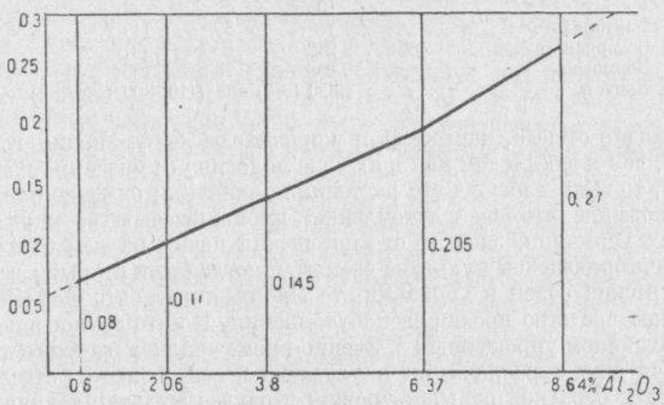


Рис. 31.

ной кислоты, вследствие иного распределения по органам растения, именно: *калия больше содержится в соломе, чем в зерне* (в процентах):

	K_2O	
	Зерно	Солома
Овес	0,42	0,97
Рожь	0,54	0,80
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.

Поэтому потребность в калийных удобрениях обычно наступает позднее, чем потребность в фосфоре и азоте. Однако благополучный баланс по калию далеко не всегда означает, что нет надобности вносить калийное удобрение, ибо на бедных калием почвах (подзолах

и супесках) баланс этот сводится при том низком уровне урожаев, который обусловливается общей бедностью этих почв, и если мы хотим поднять урожаи на таких почвах внесением азота и фосфора, то на них потребность в калии может проявиться одновременно, и в этих условиях придется учесть, что вообще урожаи уносят калия больше, чем фосфора, причем между отдельными культурами в отношении потребления калия существует значительное различие. Так при германском уровне урожаев вынос отдельными культурами калия, фосфора и азота выражается следующими величинами (многолетние средние):

	K_2O	P_2O_5	N
	(в килограммах)		
Пшеница	82	36	86
Рожь	105	46	69
Картофель	166	37	113
Сахарная свекла	232	69	201
Кормовая »	253	73	183
Капуста	320 (560)	85 (140)	300 (и более)

Как видно отсюда, картофель и корнеплоды берут калия гораздо больше, чем хлеба, и так как в их золе половина (и более) приходится на K_2O, то Либих назвал эти растения калийными; он даже высказал предположение, что «свеклоутомление», проявлявшееся во многих хозяйствах Германии, зависит от истощения почвы калием благодаря часто повторяющейся культуре свеклы, и 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 усвояет 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. Что некоторые из «калийных» растений отличаются способностью при тех же условиях

[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 бывают заболевания листьев, именно появление на них бурых пятен, затем отложение сахара в корне идет плохо, но эти явления совсем не похожи на то свеклоутомление, которое вызывается нематодами, и применение калийных солей для борьбы с этим заболеванием было неудачным.

заимствовать больше калия из почвы, чем другие, встретилось между прочим в опытах Вагнера при культуре разных растений на одной и той же почве; из общего запаса калия (100%) на одной и той же почве взяты были при этом разными растениями такие относительные количества K_2O (в процентах):

Свекловица	12,1	Люцерна	7,7
Картофель	10,7	Рожь	6,9
Горох	8,5	Лен	6,5
Овес	8,1	Пшеница	6,2
Клевер	8,0	Ячмень	5,2

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 же с навозом, 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 слюда, нефелин и др.; 3) зола, имеющая большее значение у нас, чем на Западе.

К а л и й н ы е с о л и. Первыми были открыты залежи калийных солей в Стассфурте в Германии, и долгое время Германии принадлежала монополия снабжения калием мирового сельского хозяйства; после войны стали разрабатываться залежи в Эльзасе, отошедшем к Франции, и в восточной Галиции, которая вошла в состав Польши, 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 40-х годах добыча остановилась вследствие кажущегося истощения запасов соли, но геологи настояли на пробном бурении; при этом, пройдя слой соленосных глин, наткнулись снова на мощную толщу основных (первичных) отложений поваренной соли, а раньше известные ее слои оказались вторичными. Тогда добыча соли возобновилась, но приходилось снимать верхние слои этого первичного отложения, окрашенные в красноватые тона, 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	1900 г.	3 037
1870 »	288	1910 »	8 160
1880 »	668	1920 »	11 386
1890 »	1 279	1929 »	13 329

Из этого количества около 94% идет на нужды сельского хозяйства, и лишь около 6% потребляет химическая промышленность.

Первые опыты применения калийных солей 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 в 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, и тогда применение стассфуртских солей стало общим правилом в Германии.

До войны 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 Стассфурте, 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 заставило обратить внимание на этот вопрос. В 1916 г. акад. Курнаков показал, что образец красной соли, добытый при бурении одной из скважин еще в 1907 г. и сохранившийся у одного из старых работников соляного дела, представляет собою 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 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 кв. км). Это уже обнаружило грандиозность размеров залежей и «спокойное залегание» пластов в отличие от Стассфурта, где пласты наклонны и быстро уходят на значительную глубину. По химическому составу отложений соликамские залежи характеризуются господством хлористых солей, тогда как в Стассфурте представлены и хлористые и сернокислые соли. Главными калийными минералами для Соликамска являются карналлит и сильвинит.

К а р н а л л и т о в а я з о н а 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; благодаря примеси микроскопических чешуек железного блеска карналлитовые слои часто окрашены в красный или оранжево-красный цвет, содержание K_2O в них колеблется чаще всего около 16—17%.

Для залегающей глубже с и л ь в и н и т о в о й з о н ы характерно присутствие кристаллов KCl (сильвина), но опять-таки они тесно перемешаны с каменной солью, и эта смесь образует породу, называемую с и л ь в и н и т о м, в которой соотношение между KCl и NaCl непостоянно (mKCl+nNaCl). Окраска слоев сильвинита меняется от темнокрасного («сургучного») до светлорозового цвета. Мощность рабочих 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, 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).

В отличие от Соликамска, где пока найдены только хлористые слои, в других месторождениях встречаются также и соли серной кислоты; так стассфуртские копи доставляют кроме карналлита еще к а и н и т, для которого характерно соединение $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$, но вследствие примеси NaCl обычно каинит содержит около 13—15% K_2O. Кроме каинита встречается п о л и г а л и т ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2H_2O$), сильно представленный в техасских калийных залежах Северной Америки. В морской воде представлены как хлористые, так и сернокислые соли, и вопрос о том, что случилось с сульфатами при образовании соликамских отложений, требует выяснения; возможно, что сульфаты еще будут найдены (если они не исчезли при каких-либо вторичных процессах, имевших место уже после выделения солей из морской воды).

После уяснения вертикального расположения калиеносных пластов оставалось еще неясным, каково же протяжение залежей в горизонтальном направлении. После нескольких бурений у Соликамска буровые работы были переброшены 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 кв. км, и общие запасы K_2O в соликамском месторождении в границах, до сих пор имеющихся, измеряются гигантской величиной—в *16 млрд. т* K_2O, что превосходит не только запасы Стассфурта, но и вместе взятые запасы Германии,

Франции (Эльзас), Польши (восточная Галиция) и Испании и других до сих пор известных месторождений на земном шаре.

Кроме бассейна Камы калийные соли найдены еще в Средней Азии в Керкинском районе; кроме того в Урало-Эмбинском районе также отмечено присутствие калия.

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 соляными массами, отложенными в Стассфурте и Соликамске. Необходимо допустить, что в этих бассейнах испарялись все новые и новые массы соляной 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 Карабугазском заливе, который соединен с Каспийским морем мелководным проливом, в этом проливе существует одностороннее течение, — причем из Каспия в Карабугаз вливаются большие массы воды (18 куб. км в год), потому что сильное испарение (под влиянием сухих и горячих ветров, проходящих через пустыни 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 Карабугазе 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 названных 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, тем более что сообщение с океаном в таких полуизолированных бассейнах может то прекращаться, то вновь восстанавливаться, и если отложения солей покрылись сверху глинистой прослойкой, то при следующем наступлении моря 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 соляных отложений зависит от сухости климата, как в пустынях Средней Азии и Южной Америки (Чили).

Другой «моделью» будущего Стассфурта является Мертвое море, в которое приносятся р. Иорданом 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 рапе 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. В настоящее время начата добыча калийных солей из воды Мертвого моря английской компанией.

После открытия и изучения условий залегания карналлита и сильвинита предстояло решить нелегкую задачу — овладеть калийными солями и построить рудник. Здесь имеются свои трудности, так как над калийными солями залегают водоносные породы (мергеля, плывуны и пр.) и нужно (в отличие от угольных копей) пройти шахту, не допуская доступа воды к соленосным пластам. Все эти трудности теперь преодолены, первый сильвинитовый рудник в Соликамске готов и будет давать 1,5 млн. т сырых солей ежегодно; кроме того начато строительство второго такого же рудника на Чуртане (близ Березников) для комбинирования калия с азотом и фосфором (см. ниже главу о сложных удобрениях), и третьего — карналлитового — недалеко от Соликамска для снабжения будущего крупного

карналлито-магниевого комбината (для получения металлического магния и хлористого калия из карналлита).

Трудности в борьбе с водой при проходке шахт через водоносные горизонты преодолевались в Соликамске несколькими путями, а именно: 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 одевается чугунной крепью (массивными полукольцами, тюбингами) с водонепроницаемой прокладкой из свинца. Если следом 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° (последнее требуется, если нужно замораживать соленосные воды); этот способ разработан в Германии, и для его осуществления приглашены были немецкие специалисты. Третий способ, предложенный одним из наших инженеров, состоял в замене цементации глинованием, т. е. накачиванием в скважины (тоже под давлением) полужидкой глиняной массы с последующим свертыванием глины раствором хлористого кальция и закреплением портландским цементом в целях образования пробки на путях проникновения воды в шахту. Комбинация этого способа с дополнительной цементацией позволяет сэкономить на количестве цемента, необходимом для прохождения каждого метра шахты через водоносные горизонты.

Кроме создания и оборудования рудника со всеми приспособлениями для добычи и транспорта построены мельница для измельчения солей и обогатительная фабрика, которая будет готовить из сырых солей 40-процентную соль как более пригодное для дальнего транспорта калийное удобрение и хлористый калий, необходимый для химической промышленности и для приготовления сложных удобрений (концентратов). 40-процентная соль готовится путем смешения хлористого калия с сырыми солями (у нас — с сильвинитом или карналлитом). Можно думать, что второй путь будет лучше не только потому, что магний карналлита может влиять положительно как питательное вещество, которого может недоставать в бедных почвах, но и потому, что на таких почвах магний явится более сильным антагонистом (компенсатором) одностороннего обогащения раствора калием.

1. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Можно думать, что первое время калийные соли у нас, как и в Германии, будут применяться преимущественно на почвах, от природы бедных калием, т. е. сильно *оподзоленных*, *песчаных и торфяных*, и лишь постепенно, по мере того как не только фосфаты, но и азотистые удобрения найдут широкое применение, и урожаи будут подняты, так же и на лучших суглинках, черноземах и сероземах Средней Азии будут находить все возрастающее применение и калийные удобрения.

Но почвы, бедные калием, как подзолы, песчаные почвы и верховые болота, одновременно бедны и известью и часто содержат в поглощающем комплексе значительные количества обменного водорода. Отсюда — возможность, особенно при внесении низкопроцентных калийных солей, некоторых побочных неблагоприятных воздействий, способных уменьшить, а иногда и парализовать положительные действия от внесения самого калия. Наиболее заслуживают быть отмеченными два обстоятельства: 1) если почвы содержат поглощенный водород, способный к обмену, то никакое другое удобрение не вызывает этого обмена в такой степени, как низкопроцентные калийные соли, потому, что для внесения нормальной дозы калия в этом слу-

чае приходится вносить большую дозу солей, а тогда вся сумма внесенных оснований (K, Na, Mg) участвует в вытеснении поглощенного водорода; от *этого почвенный раствор обогащается ионами водорода, т. е. усиливается его кислотность*, а повышение кислотности сверх известного предела может вредить растениям (притом клеверу и льну больше, чем овсу); от этого нередко наблюдалось в прежних опытах, что на подзолистых почвах эффект от парной комбинации удобрения (NP) был выше, чем от полного удобрения (NPK); поэтому на таких почвах применению калийных солей (а 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); 2) при частом 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 и калием может наступить *ухудшение физических свойств почвы*; известкование и в этом случае является средством предотвращения такого явления, но ввиду дороговизны известкования следует не 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 $CaSO_4$ [1], двойному суперфосфату и аммофосу, применение фосфоритной и костяной муки при почвах ненасыщенных и т. п.; 3) так как с калийными солями (особенно с низкопроцентными) вносятся *большие количества хлора*, вообще ненужного для растений, а в некоторых случаях действующего неблагоприятно на качество урожая, то следует вносить калийные соли не перед самым посевом, а *заблаговременно*, даже с осени, если почва обладает достаточной поглотительной способностью; тогда 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.

Кроме подобных условий, всегда сохраняющих свое значение, нам приходится *учесть временные особенности*, при которых впервые большие количества калия поступают на наши поля, — мы разумеем факт опережения калийной промышленностью запоздавшего строительства азотной промышленности; нам предстоит в ближайшие годы часто применять калий без «технического азота», а значит искать для внесения калия таких угодий и таких культур, которые обеспечены азотом независимо от азотной промышленности.

[1] Попутно 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, вносимых с удобрениями или под влиянием удобрений, переходящих в раствор из поглощающего комплекса, как ионы калия, натрия, аммония и водорода.

Сказанное усиливается еще и тем обстоятельством, что пока азотная продукция мала, она пойдет преимущественно не туда, куда пойдет калий. Так калий нужен прежде всего в зоне подзолистых почв, песков и болот, а азот в течение 3—4 ближайших лет должен итти преимущественно в Среднюю Азию (под хлопчатник). Точно так же азот навоза не является непременно проводником для калия (как это имеет место для фосфора), так как навоз содержит калия не меньше, чем азота (да еще в более усвояемой форме); нитратный азот черноземных полей большей частью еще не требует дополнения калием для своего использования (кроме некоторых районов свеклосеяния).

Поэтому на ближайшие 3—4 года наилучшее применение калийные соли найдут там, где при недостатке калия вопрос об азоте разрешается положительно независимо от азота «технического», а такие случаи мы имеем на *полях, занятых клевером, люцерной и зерновыми бобовыми, на осушаемых болотах и мелиорируемых лугах*; далее культуры, идущие по клеверищу, тоже в известной мере получают остатки азота клевера (поскольку этот азот не использован уже тимофеевкой), затем, если лен и картофель начнут получать хоть сколько-нибудь технического азота (например с 1935 г.), то и независимо от клевера они явятся потребителями калийных солей.

Но если мы проследим хотя бы вкратце отношение отдельных культур к калийным удобрениям, то увидим, что поле для их применения все-таки и теперь уже чрезвычайно велико. *Луга* представляют в большинстве случаев очень 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/га берет около 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:

	Без калия ц/га	Прибавка абс. ц/га	Калия %
Болотные луга	19,8	13,2	67
Низинные »	17,6	6,3	36
Заливные »	24,8	4,3	17
Суходольные луга	16,4	5,3	32

При совместном внесении калия с фосфором эффект от калия конечно 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 потребить всю годичную продукцию первого Соликамского рудника. Нужно не упускать из виду, что, давая калий лугам, мы тем самым даем его постепенно и полям (в виде навоза), при этом поля получат калий уже освобожденным от большей части примесей (хлористых солей Na и пр.), которые будут вымываться из почвы лугов как менее поглощаемые, чем калийные соли.

К л е в е р. Все сказанное о лугах в значительной степени приложимо к клеверу, который уносит больше калия, чем хлебные злаки. Характерные наблюдения по действию минеральных удобрений на клевер в подзолистой зоне принадлежат еще Энгельгардту, который писал 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» (1892). Так же как и на лугах, здесь 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 само по себе, а вытеснение обменного водорода). В ряде опытов (б. Пермская, Костромская, Нижегородская, Калужская губернии) от калийных удобрений получались приросты в 10—16 ц клеверного сена на гектар без того, чтобы была разница в действии между 30—40-процентной калийной солью и 13-процентным каинитом. В недавних опытах Горьковской станции испытание разных доз сильвинита (на фоне фосфоритной муки) дало такие результаты:

Внесено сильвинита (ц)		1,5	3	6
Прибавка урожая клев. сена	абс. (ц/га)	16	20	17
	%	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 серадella, как одно из немногих кормовых бобовых, способных расти на песчаных почвах.

З е р н о в ы е б о б о в ы е. Из этой группы растений сильнее всех реагируют на калий люпины: 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/г. 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 песков, 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).

Л е н 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; лен не является растением, чувствительным к форме калийного удобрения, и есть даже указания, по которым сырые соли несколько превосходят по действию 40-процентную соль и хлористый калий, что может быть объяснено полезным влиянием магния в карналлите и каините. 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 отдельных частях нечерноземной полосы замечается неодинаковость действия калийных солей; так в сводке по опытам НИУ получились такие средние величины (в процентах):

Прибавки урожая льняной соломы

	От одного калия	От калия на фоне NP
Северо-восток подзол. зоны	0,8	0,5
Централ но-промышленная область	2,1	1,4
Белоруссия и Западная область	2,9	4,7

К о н о п л я хорошо реагирует на калий при одновременном внесении азота и фосфора, наиболее сильно на оподзоленных почвах, как видно из следующих средних цифр (в центн. с га) (геогр. сеть НИУ):

Прибавка от K (на фоне NP)

Подзолистые почвы	11,4
Серые лесные земли	3.6
Деградированный чернозем	6,3
Черноземы	3,4

Как и в случае льна, конопля реагирует на сырые соли не хуже, чем на высокопроцентные, иногда даже лучше.

К а р т о ф е л ь является типичным «калийным» растением, обычно хорошо реагирующим на калийное удобрение (если он не удобряется непосредственно навозом), причем на песчаных почвах калий для картофеля может оказываться даже в первом минимуме; но в то же время *картофель чувствителен к форме вносимых калийных удобрений*, именно он обнаруживает снижение крахмалистости от хлористых солей, поэтому применение низкопроцентных солей (как карналлита, каинита, а также и сильвинита, если он содержит большую примесь NaCl) является нежелательным для картофеля, если доро-

жить 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 (в процентах):

Каинит	−2,2
40-процентная соль	−1,3
K_2SO_4	+0,2
Сернокислый калий и магний	+0,3

При этом 1 кг калия оплачивался в приросте урожая так:

Картофеля (кг)	23	35	35	36
Крахмала (кг)	1,0	3,9	5,6	6,0

В опытах Казанской станции (1929) наблюдались такие различия в содержании крахмала (в процентах) (на фоне NP):

Без калия	19,7
KCl	19,5
K_2SO_4	19,9
40-процентная соль	19,5
Сильвинит	18,2
Зола	20,1

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 деятельнее низкопроцентных; на бедных основаниями почвах встречается и обратное.

Так в среднем из опытов НИУ имеем такие приросты урожая картофеля (в центнерах с 1 га) (на фоне NP):

	KCl	K_2SO_4	40% соль	Сильвинит
Подзолы	17,5	16.6	19,3	26,1
Чернозем	14,3	13,8	14,5	10,7
Болотные почвы	68,5	53,7	—	31,6

Можно думать, что на подзолах не очень кислых 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 лучше низкопроцентные соли непосредственно под картофель вовсе не применять. Из этого однако не следует, что их нельзя использовать вообще в картофельном хозяйстве: их можно вносить в пару под озимь, предшествующую картофелю; тогда калием будет обогащаться навоз (через солому озимых) и будет обогащаться почва, хорошо поглощающая калий, а хлористые соли будут вымыты дождями за тот почти двухгодичный срок, который пройдет между внесением калийных солей и посадкой картофеля. В конце концов внесение в любом клину севооборота, удаленном от картофеля (например клеверном), 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 котором 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, так как для кормового картофеля также важен не валовой урожай, а и крахмальные эквиваленты, для столового картофеля способность развариваться и вкус также связаны с содержанием крахмала. Избыток хлора понижает развариваемость картофеля; при сравнительной оценке в Англии высший балл получил картофель, удобренный K_2SO_4, по развариваемости, цвету и запаху в вареном виде; за ним очень близко шел KCl (но некоторые клубни после охлаждения обнаруживали потемнение), хуже всего был картофель по каиниту, 40-процентная соль занимала среднее положение между KCl и каинитом.

Сахарная свекла является таким же калийным растением, как картофель, но так как она обладает большей усвояющей способностью по отношению к калию почвы, чем картофель, так как она не попадает на такие бедные почвы и удобряется навозом более регулярно, то действие калийных солей на сахарную свеклу обычно менее рельефно, чем на картофель. У нас свекловица является культурой черноземных почв, которые пока еще не бедны калием (кроме районов с почвами переходного характера), поэтому считалось, что при правильном применении навоза обычно нет четкой реакции на калий; но совершенно другое получается, если навоз не вносится (или его слишком мало), а вносится только азот и фосфор, — 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 *чернозем обнаружил резкую реакцию* на *калий*, тогда как раньше, при навозе, заметного действия калия не проявлялось. Таким образом в уплотненных севооборотах чем больше будет испытываться недостаток навоза, чем больше будут входить в употребление азотистые и фосфорнокислые удобрения в целях поднятия урожаев выше современного уровня, тем более будет проявляться потребность и в калийных удобрениях на черноземах.

Но кроме этого опыты последних лет вообще обнаружили большую отзывчивость на калий северных черноземов, чем до сих пор это было известно (в среднем на них получается 19 ц прироста от калия против 5 ц на типичных черноземах).

Что касается формы калийных удобрений, то прежние опасения относительно понижающего влияния примесей хлористого натрия в низкопроцентных солях на доброкачественность свеклы не во всем подтверждаются и имеются даже случаи лучшего действия сильвинита по сравнению с сернокислым калием. Видимо, ботаническая близость свекловицы к некоторым растениям солончаковой флоры способствует тому, что она переносит примесь NaCl к калийным солям гораздо лучше, чем картофель. Однако на деле для нас этот вопрос о форме калийных удобрений решается условиями транспорта, так как перевозить хлористый калий и 40% соль на дальние расстояния гораздо легче, чем сильвинит.

Кормовые корнеплоды, поскольку их культура заходит и в нечерноземную полосу, могут проявлять на почвах, не столь богатых калием, большую отзывчивость, чем сахарная свекла, культивируемая в черноземной полосе.

Вот пример такой значительной отзывчивости из опытов Горецкой опытной станции (на среднеоподзоленном суглинке в ц/га):

Культуры	Без удобр.	NP	Прибавка против NP					
			от сильвинита			от 40% соли		
			3 ц	4 ц	6 ц	1,5 ц	2 0 ц	3 0 ц
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

Здесь первые две дозы были большей частью продуктивными, третья была уже избыточной.

Насколько действие калия является сопряженным с одновременным внесением азота (при одновременном обеспечении фосфором), показывают следующие данные одного опыта с кормовой свеклой в Ротамстеде.

При дозе азота (кг на акр)	0	43	92
Урожай корней: без калия (т на акр)	4,0	6,5	9,1
» » с калием (т на акр)	4,7	14,0	23,5

(См. рисунок 32.)

Табак потребляет много калия, но еще больше, чем в случае картофеля, противопоказуются здесь богатые хлором калийные соли, не только низкопроцентные, но 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 оттуда — 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 и поэтому тот же самый

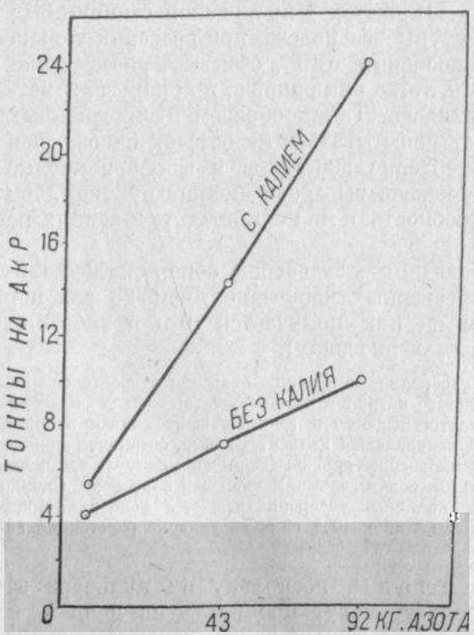


Рис. 32.

сорт табака в зависимости от удобрения может дать продукт весьма различного качества. Поэтому для 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 еще раз и на примере табака можно убедиться, что по растению нельзя установить нормы удобрения, так как почва играет доминирующую роль, и например на Кубани вопреки всему западноевропейскому опыту, калийные удобрения оказались менее важными для табака, чем фосфорные.

Подсолнечник уносит много калия, но так как пока он возделывался в районе богатых черноземов, где удобрения вообще мало применялись (например Кубань), то достаточных материалов по вопросу о действии калийных солей на подсолнечник еще не накопилось (хотя имеются ясные указания, что при бессменной культуре подсолнечника в районе Воронежа содержание калия в золе падало вместе с падением урожаев).

Зерновые хлеба. Применение калийных солей под хлеба может иметь место в районах наибольшей дешевизны этих солей. Если опыт Германии показывает, что рожь и овес чаще реагируют на калийные соли, чем пшеница, 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.

При культуре ячменя калийное удобрение считается особенно желательным, если ячмень культивируется в качестве пивоваренного ячменя.

В наших условиях, пока 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.

Сами же хлеба (пока им не дают азота) оплачивают калий не так хорошо, как лен, картофель и клевер, как видно из следующего сопоставления (сводка Балашова).

Внесение 1,5 ц 30-процентной соли даст такой прирост урожая:

Рожь	0,75—1,15 ц/га	Лен (солома)	3 ц/га
Овес	1,5 ц/га		(+ 0,6 ц семян)
Ячмень	1,85 ц/га	Клевер (сено)	12 ц/га
Картофель	12 ц/га		

Однако эти цифры не окончательные; они выведены из опытов, в которых «технический» азот или вовсе не применялся или приме-

[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.

нялся в ничтожной форме; достаточно сказать, что в Германии, несмотря на то, что почвы заправлены калием гораздо сильнее, чем наши, прибавка от внесения калия под ячмень составляет от 2,5 до 4,5 ц зерна и от 2 до 6 ц соломы на гектар. Поэтому в будущем, когда хлеба будут получать азот, и у нас оплата калия хлебами повысится.

2. 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, а особенно нефелиновая порода с берегов Белого моря, доставленная нам проф. Федоровым в 1905 г., оказалась содержащей калий в весьма усвояемой форме; вот несколько данных из наших опытов 1906—1907 гг. (песчаные культуры, урожай в граммах):

		Без K_2O	Полевой шпат	Слюда	Нефелин. порода	KCl
Гречиха	1906	2,5	—	—	16,0	19,4
	1907	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

Теперь когда в районе Хибин обнаружены целые горы из нефелиновой породы, а кроме того в большом количестве получаются «нефелиновые хвосты» (в тонко измельченном виде), как отход при обогащении апатитовой руды, то для развивающегося земледелия на Кольском полуострове и в Карелии нефелин является дешевым источником калия, свободным как от хлоридов, так и от сульфатов, к тому же еще способным нейтрализовать кислотность моховых болот, а именно болота на севере являются основным фондом для создания культурных площадей; на них создается кормовая база для развития молочного хозяйства, а не на минеральных почвах, слишком мало развитых («карликовые подзолы») и трудно поддающихся культуре. Вегетационные опыты, произведенные на Хибинской опытной станции, дали в 1930 г. такой результат (в граммах):

	NP	То же плюс			
		Калийная соль	Нефел. (однокр.)	Нефелин (10-кр.)	Полевой шпат
Луговой торф	8,9	98,1	64,6	135,7	8,1
Моховый	0,3	0,9	45,2	96,2	0,3

На моховом торфе нефелин выполняет двойную роль — служит источником калия и нейтрализует кислотность, свойственную таким торфяникам. 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 гольцы, по р. Июсу в Минусинском районе, 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.

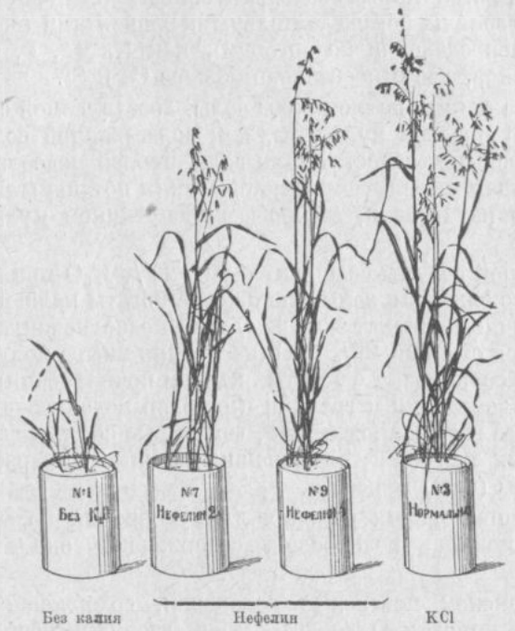


Рис. 33.

3. ЗОЛА КАК КАЛИЙНО-ФОСФАТНО-ИЗВЕСТКОВОЕ УДОБРЕНИЕ

Обычно золу рассматривают как калийное удобрение, так как она содержит значительные количества калия (6—40% K_2O) 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; очень часто золу применяют в количествах, рассчитанных 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 кисл. (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 содержатся Mg и другие основания в небольших количествах, а из кислот представлены кроме фосфорной прежде всего угольная, затем кремневая (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 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 приводят 25% K_2O, для подсолнечника это содержание колеблется от 15 до 40% K_2O (последняя цифра получена при анализе золы подсолнечника с богатых калием почв Кубани). Таким образом в золе соломы ржи и гречихи и стеблей подсолнечника мы имеем материал более высокопроцентный, чем сырые соли, а главное, вместо нежелательных примесей содержащий важные для растений (P_2O_5) или для почвы (CaO) вещества.

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-процентная 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 «отзол» 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 [1] табак дал такие результаты:

[1] При внесении всей питательной смеси (кроме фосфатов) в растворимой форме и при равной дозе P_2O_5 в разных источниках.

Урожай (в граммах)

P_2O_5 в виде				
Выщелоч. золы	Томасова шлака	Костяной муки	Фосфорита	Без P_2O_5
45,0	30,3	25,9	5,1	0,7

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 г) (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, являющейся топливом в степных местностях, 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.

Вот состав одного образца торфяной золы (по Мюнцу) (в процентах)

K_2O	0,05 (чаще до 1%)
P_2O_5	0,13
$CaCO_3$	91,1
$CaSO_4$	2,55

То же относится к золе каменного угля. Если и получается иногда хороший результат от внесения больших количеств золы такого состава, то его скорее приходится отнести на счет соединений Ca.

При применении золы (невыщелоченной) нужно различать 3 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 4 ц/га 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—5 т золы на гектар, что уместно для многих почв нечерноземной полосы, часто оподзоленных и заболоченных т. е. бедных основаниями или прямо кислых (но при таких боль-

ших количествах, когда имеется в виду больше всего внесение кальция, экономичнее брать выщелоченную 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 солонец» характеризуется присутствием углекислых щелочей). Но, как выяснили 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 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 (б. Смоленской губ.) нам пришлось наблюдать полезное действие золы при 50 ц по расчету на гектар (опыт произведен в сосудах, при оптимальной влажности):

	Без удобр.	Зола 3	6	12	25	50 ц/га
Урожай на сосуд (в граммах)	22,5	30,6	35,5	40,1	42,9	57,3

Только при невозможно высоких дозах золы удалось впоследствии наблюдать проявление вредного действия золы; вот пример из опытов 1917 г.:

	Без удобр.	Зола[1] 60	120	250	400	500	600	800 ц/га
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 Тимирязевской с.-х. академии с количеством золы до 70 ц/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, причем 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 сжигают не только лес, росший на месте, но еще привозят древесный материал со стороны, чтобы увеличить количество золы, видя в ней «соль земли».

Но например на юго-востоке с золой конечно пришлось бы быть гораздо более осторожным, так как там почва изобилует солями, а климат способствует тому, что почвенный раствор имеет значительную концентрацию, а нередко и наклонность к щелочности; но в этих условиях обычно и нет надобности удобрять золой; для промежуточных районов полевой опыт должен установить местные нормы (отметим в качестве предварительного указания, что в вегетационном опыте и для черноземных почв начало вредного действия золы лежит за пределами хозяйственно возможных норм).

До войны у нас имел место такой факт: через Новороссийск мы вывозили поташ, добытый из золы подсолнечника, а через гавани Балтийского моря ввозили калийные соли из Германии, между тем непереработанная зола подсолнечника на Кубани содержит 30% калия (K_2O), поэтому неясно, почему для удобрения псковского или смоленского льна следовало везти 30-процентную соль из Стассфурта, а не золу с Кубани: кроме равной ценности по содержанию калия эта зола содержит другие полезные составные части (P_2O_5 и CaO) и не содержит тех нежелательных примесей ($NaCl$, $MgCl_2$), которые содержатся в стассфуртских солях и которые ухудшают строение почвы благодаря вытеснению извести.

[1] Зола смешанных дров.

Что касается количества золы в Союзе, то по некоторым подсчетам (включая золу соломы и кизяка, идущих на отопление) получается в год около 1,5 млн. т, что отвечает годовой продукции первого соликамского рудника. Но трудность лежит на пути собирания золы, превращения ее в однородный рыночный продукт и придания ему транспортабельной формы.

Для севера, где золу можно применять на местах, значительная часть трудностей отпадает; для юга имеется опыт поташных заводов, которые умели скупать золу, руководясь в конце концов содержанием калия в ней (выходом поташа, который опытные скупщики для данного рода золы и данного района определяют довольно верно наглаз); остается трудность вопроса о транспорте высокопроцентной южной золы (соломенной, гречишной, подсолнечной) на север, в районы оподзоленных почв, нуждающихся в калийном удобрении (а также в извести и фосфоре); но мыслимо, что например путем приготовления *брикетов* удастся придать золе транспортабельную форму, не требующую дорогостоящих мешков (которые от золы скоро портятся); для северных почв эта *зола явилась бы ценным удобрением как потому, что она позволяет дать растениям калий, одновременно уменьшая кислотность почвенного раствора* (а не увеличивая его, как это могут делать калийные соли), *так и потому, что в этой форме очень удобно дать калий картофелю, не вводя в почву хлористых соединений.*

Сложные удобрения (концентраты двойного и тройного действия)

Вопрос о сложных удобрениях связан, с одной стороны, с задачей удешевления транспорта (а в некоторых случаях даже и производства удобрений), с другой же стороны, он должен быть рассмотрен с точки зрения потребления удобрений на местах.

С точки зрения транспорта, особенно при дальних расстояниях, является нецелесообразной перевозка большого количества баласта, 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 которыми 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 — баласт; это конечно не точно, потому что растение воспринимает не азот, а аммиак или азотную кислоту, и 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 для почв Средней Азии является баластом, а для подзолов он имеет ценность и т. д.).

Если в данном случае мы имеем дело только с ненужным анионом, то в случае «сырых» калийных солей, кроме хлора, связанного с ка-

лием, мы имеем еще примеси ненужных солей, как NaCl. Если мы не только избавимся от этих примесей путем дробной кристаллизации, но еще скомбинируем калий или аммоний не с случайными анионами, а с необходимыми для растения, то мы избавим транспорт от напрасной загрузки и часто выиграем и в применении удобрения, устранивши необходимость вводить в почву хлор из-за того, что мы хотим ее удобрить калием.

Отсюда возникает целесообразность производства *парных комбинаций,* вовсе не содержащих ненужных апионов и катионов, а только два необходимых элемента, как например КЖ)3, КН2Р04, NH4H2P04; тогда транспорт будет иметь дело с товаром, на 100°/о состоящим из необходимых для растений составных частей, тогда как смеси селитры с калийной солыо или сульфата аммония с суперфосфатом содержат много ненужных, а часто прямо нежелательных компонентов.

тетической мочевины), то тогда будет возможно исправить отношение N : P в аммофосе без всяких трудностей со стороны гигроскопичности продукта смешения прибавкой карбамида. 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 (напр. «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, который устранялся введением $CaSO_4$ (конечно это относится или к почвам недостаточно богатым кальцием или к рядовому внесению, когда создается местный перевес иона NH_4 над ионами Ca).

В некоторых случаях производство парных комбинаций NP (тип «азофос») 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 тем, чтобы вместо непосредственной ее нейтрализации кальцием или аммонием произвести сначала разложение фосфорита 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 дешевого аммиака, теперь же разрабатывается в НИУ следующий вариант этого способа: если разлагать фосфорит азотной 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 $CaHPO_4$, но 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 получение аммонизированного суперфосфата, причем главным мотивом является удешевление связывания аммиака (без затрат на серную кислоту), но продукт конечно не может быть высокопроцентным ни по азоту, ни по P_2O_5.

Так как связывание аммиака происходит за счет $Ca(H_2PO_4)_2$ (не считая небольших количеств H_3PO_4, которые могут содержаться в суперфосфате), то в результате получается образование фосфата аммония, с одной стороны, и двухкальциевого фосфата; при большом количестве введенного аммиака может образоваться и трехкальциевый фосфат. 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%.

Другие парные комбинации (KP, NK) не имеют того значения, как комбинации 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 баласта парной комбинации этого типа является KNO_3, о возможности производства которой в Березниках 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 хлористый калий-аммоний (смесь KCl и NH_4Cl) [1] как побочный продукт содового производства. Как выше было отмечено, при производстве соды по Сольвею из NaCl с участием NH_4HCO_3 получится 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 и KCl, которая при простом выпаривании 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 $N : K_2O = 1 : 2$[2]; при внесении 45 кг азота вносится на гектар около 180 кг хлора.

[1] Французское название этого удобрения «потазот», к сожалению проникшее в нашу литературу, имеет рекламный характер, так как умалчивает о главном его компоненте—хлоре, кроме того французское слово «potasse» (калий) не отвечает нашей химической терминологии, поэтому нужно признать перенесение этого термина к нам очень неудачным, и если название хлористый калий-аммоний является слишком длинным, то нужно создавать свои сокращения, однако с отметкой всех трех компонентов этой смеси, т. е. азота, калия и хлора (например «азкахлор»).

[2] Таков французский фабрикат; но есть возможность сузить это соотношение.

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 $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4NO_3. Если NH_4Cl может с успехом применяться на черноземных почвах (под свеклу и другие культуры) при сплошном внесении, а также на лессовых почвах под хлопчатник, то большею частью эти почвы еще не нуждаются в калийном удобрении; поэтому лучше на них применять хлористый аммоний, чем смесь его с KCl. Под картофель применение такой смеси, как NH_4Cl + KCl, 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, которым этот «высокопроцентный концентрат» (по хлору) переносился бы без ущерба для качества урожая (нужно надеяться, что производство соды будет постепенно переходить к использованию Na_2SO_4 вместо NaCl, и таким образом количество хлора в азотистых удобрениях будет уменьшаться за счет увеличения количества SO_4), а последнее является уже меньшим злом.

Другой случай комбинирования азота с калием предвидится в случае переработки нефелина на алюминий путем обработки его азотной кислотой; при этом в раствор переходят Al, K и Na в виде нитратов (в осадке SiO_2), при нейтрализации отделенного раствора аммиаком выпадает глинозем (сырье для 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 (напр. для рядкового 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, и 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 удобрения. 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 элементы второй очереди, 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 в первую очередь зависит от рода почвы и в меньшей степени от рода растения.

[1] Здесь опускаются подробности, связанные с освобождением глинозема от соединений железа.

У нас тоже нередко думают, что разница в удобрении хлопчатника в Средней Азии и свеклы на Украине зависит от растения, между тем на деле, если бы мы передвинули культуру свеклы в Среднюю Азию, а хлопчатник например на Кубань с ее мощным черноземом, то от этого потребность почв в азоте в Средней Азии не уменьшилась бы, а на Кубани не стала бы больше, чем теперь. Другой пример: табак по всем западноевропейским опытам очень отзывчив на калий и мало отзывчив на фосфор, на почвах же Кубани он оказался чрезвычайно благодарным по отношению к фосфатам и не повышает урожаев от калийного удобрения. Основной фон дается в первую очередь почвой, и только во вторую очередь влияет особенность растения, причем это влияние с качественной стороны не во всех культурах одинаково выражено (у табака, свеклы, картофеля сильнее, чем у хлебов, хлопчатника, кормовых трав и пр.).

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 свой отпечаток и т. д. Поэтому такой массовый переход на сложные удобрения, как в США, нельзя признать целесообразным, *должна быть сохранена также и возможность маневрирования на местах*; но в районах, где применение всех трех удобрений является обычным, возможно значительную частьудобрений дать в виде тройной комбинации, *однако не путем смешения простых удобрений, а 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, что 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, 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; *такова культура овощей*, где важны помимо урожая еще и вкусовые особенности. Если же эта культура ведется под стеклом, то отсутствие хлористых (и вообще ненужных солей) во вносимых удобрениях приобретает особое значение, ибо при этом нельзя рассчитывать на вымывание ненужных солей осенними и зимними осадками,

о которых 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[1]

Но так как на деле приходится говорить о наибольшей концентрации, возможной при наименьших затратах производства, то известное участие баласта 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) $(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$[2]
5) $NH_4NO_3 + CaHPO_4 + K_2SO_4$[3]
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 «лейненской селитры», которая на три четверти представляет «лейненский аммиак»). В данном случае удобным общим обозначением для концентратов тройного действия независимо от того, какую форму азота они содержат, является термин «а з о ф о с к а», 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, приложимы специализированные названия продуктов, для которых характерна какая-либо одна форма азота, а именно, 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».

[1] Не касаемся здесь вопроса о гигроскопичности NH_4NO_3, для обезвреживания которой находят различные пути.
[2] Германский тип «нитрофоска».
[3] Французский стандарт.

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 именем азофоска. Но помимо названия также и по существу нитрофоска является детищем коммерчески заинтересованных трестов, и это наложило отпечаток на ее состав, который определился вовсе не агрономическими соображениями, а согласованием интересов трех 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 в послевоенное время получился дефицит фосфора, так как по валютным соображениям приходится 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 основных недостатков навоза*. 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 нитрофоска соотношение N:P:K близко к их соотношению в том или ином растении, так как мы вносим удобрение вовсе не 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, «медленнее 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 — на 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 он или не нужен; в ней дается недо-

статочно 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. Прежде всего для промышленности важным является 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 питательное вещество, например $NH_4NO_3+CaHPO_4+K_2SO_4$), поэтому для промышленности чаще всего важно установить, какие соли нужно готовить, а дальше уже простым смешением можно получить разные типы удобрений. При этом производство отдельных солей (аммофоса, амселитры, KNO_3 и пр.) может даже итти в разных местах сообразно местонахождению источников сырья и энергии, а смешение по разным типам может быть организовано в местах потребления. Если бы например в районе Алма-Ата пришлось применять азот из Кузбасса, фосфор из Актюбинска и калий из Керкинских месторождений, то было бы целесообразно доставлять концентраты в Алма-Ату и там их смешивать в том или ином соотношении сообразно особенностям отдельных почвенных разностей и потребности местных культур. 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, имеют азотный завод и поблизости залежи фосфоритов, можно не только производить отдельно аммофос и хлористый калий, но смешивать их в определенном отношении по заказу отдельных районов, тяготеющих к Березникам.

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 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, и 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, потому что например

суперфосфат содержит гипс, и кальций гипса может играть роль антагониста аммония, если почва очень бедна кальцием. Такой вред удобрений, в состав которых входил аммофос, наблюдался в Америке на легких почвах при удобрении хлопчатника.

Что касается вопроса, который иногда ставят агрономам представители промышленности, сколько будет требоваться сложных удобрений того или другого типа (парных комбинаций или полного удобрения типа азофоска), то ответ на этот вопрос в ближайшие годы *будет зависеть от темпов развития самой химической промышленности*, в особенности от того, как скоро будет изжито отставание азотной продукции от производства калийных солей и фосфатов.

Пока это отставание резко выражено и пока предстоит чуть ли не всю азотную продукцию направлять в Среднюю Азию ввиду исключительного положения хлопчатника в ряду всех других технических культур, то мы будем иметь дело с резким несовпадением районов применения азота и калия, так как последний пойдет прежде всего в район оподзоленных почв, где азот клеверов, торфяных болот и заболоченных лугов (по мере их мелиорации) послужит фоном для применения калия, чаще всего совместно с фосфором; на этом уровне развития химической промышленности не придется говорить о значительном развитии удобрений типа азофоска, так как для Средней Азии потребуется преимущественно парная комбинация (NP) (также и для свекловичного района, хотя и при другом отношении N:P); для севера же калий и фосфор пойдут чаще в виде более дешевых простых удобрений.

По мере же развития азотной промышленности, по мере того как явится возможность давать азот льну и картофелю, а затем и хлебам подзолистой зоны, значение тройной комбинации будет возрастать, но все-таки и тогда она будет играть для подзолистой зоны хотя и видную, но не исключительную роль, и 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.

Уже из того обстоятельства, что продукция фосфатов по подсчетам потребности в удобрениях, сделанным Наркомземом Союза, должна значительно превысить азотную и калийную продукцию (в согласии с опытом всего земного шара), 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 («азофос» и «азофоска», реже NK); для калия будет преобладать участие в двойных и тройных комбинациях, но

иногда он может действовать и при применении в отдельности (низовые болота).

С большим приближением эти соотношения могут быть изображены следующей схемой (см. рис. 34), 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 комбинации (смотря по тому, насколько в проекции на горизонталь будут совпадать или не совпадать между собой отдельные отрезки этих линий).

Тогда 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

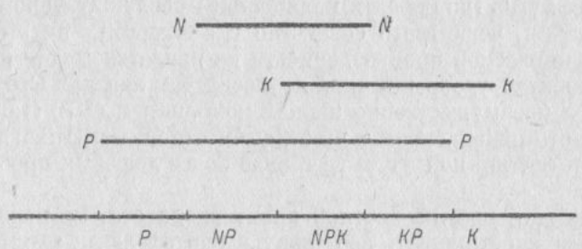


Рис. 34.

Средней Азии, где будет преобладать отношение N : P, близкое к единице, и где часто найдут применение концентраты (амселитра и сульфат аммония с аммофосом или с преципитатом, двойным суперфосфатом), с другой стороны, сюда будут относиться мало оподзоленные суглинки севера, на которых при близком к равенству отношении азота к фосфору часто будут применяться не столь концентрированные, более дешевые формы удобрения; третий случай — это свекловичный район, где будет требоваться та же комбинация NP, но при ином соотношении (N<P).

Следующий участок, на котором проектируются отрезки всех трех линий, отвечает вначале меньшему, а впоследствии большему участию типа азофоска, который должен найти применение прежде всего при культуре льна и картофеля в оподзоленной зоне, при культуре конопли в зоне деградированных черноземов, а затем по мере развития азотной промышленности он найдет применение и при культуре хлебов в нечерноземной полосе, а затем будет внедряться и в те части черноземной полосы, где проявится отзывчивость на калий (и на азот под яровые культуры).

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.

[1] Когда эти размеры будут согласованы с потребностями земледелия.

Относительная длина отрезков будет меняться по мере развития химической промышленности и под влиянием изменения в соотношении культур технического, пищевого и кормового значения.

ПОЛНЫЕ УДОБРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

1. НАВОЗ

Навоз является, с одной стороны, самым важным источником азота, фосфора и калия как по громадным абсолютным их количествам, в нем содержащимся, так и по их дешевизне, также и 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 (что особенно важно) повысить поглотительную способность и буферность почвы, чем одновременно создается лучший фон и для применения минеральных удобрений.

Но, с другой стороны, навозное удобрение является и самым трудным из удобрений не только в отношении распределения в пределах каждого хозяйства (вследствие его низкопроцентности и потому громоздкости), но в особенности с точки зрения рационализации приемов приготовления и применения навоза, которое при современных 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. При нормальном состоянии скотоводства в Союзе ежегодно получается около 500 млн. т навоза[1] при среднем содержании азота в 0,5%, что отвечает 2,5 млн. т азота; вся азотная промышленность земного шара дает около 2 млн. т связанного азота, т. е. меньше чем содержится в навозе, получаемом в пределах Союза. Но если по западным данным при условиях обычного хранения на гноище без особых мер ухода (но все же без стекания навозной жижи и без просыхания навоза) потери азота за 6—7 месяцев легко достигают 30%, и нужны особые меры, чтобы снизить их до 10—15%, то у нас при обычной утечке навозной жижи и часто встречающемся просыхании навоза они наверное достигают 50%.

Допустим дальше, 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, тогда, 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

[1] Здесь имеется в виду подсчет по количеству скота, но так как у нас не везде навоз собирают, а часть собираемого идет на топливо и саманные постройки, да еще при плохом хранении имеют место большие потери, то количество фактически применяемого навоза значительно меньше.

значит буквально пустить на ветер 240—300 т азота, что отвечает продукции 8—10 азотных заводов типа Березников.

Точно так же и количество калия, содержащегося в навозе (2,4 млн. т K_2O), превышает раз в 10 современную продукцию Соликамского рудника, причем калий навоза не только не сопровождается нежелательной 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 составляет около 1 млн. т P_2O_5 (фосфор навоза отличается высокой усвояемостью). Конечно малоподвижный источник питательных веществ, как навоз, не может заменить «технического азота», фосфора и калия, которые легко могут быть переброшены на любой фронт, где угрожает прорыв, 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, лен и пр. в отличие от хлебов и кормовых трав.

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, а 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, а потому небрежное отношение к навозу будет означать также и небрежное отношение к азоту Березников и Бобриков, фосфору Кукисвумчорра и калию Соликамска, несущим накладные расходы по эксплоатации и созданию дорого стоивших комбинатов.

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, а 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. 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 жилких 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 Стомана 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 2,90%.

Точно так же для зольных веществ:

Золы в корме	6,95%
» » извержениях	14,00%

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 ч. жидких и 1 000 ч. твердых извержений рогатого скота содержится:

	Жидк.	Тверд.
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; тогда дается больше N и P в пище, и средними являются такие данные (в процентах):

	N	P_2O_5	K_2O
Твердые выделения	0,40	0,28	0,1
Жидкие	1,60	0,15	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, 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% (к 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	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	78%	азота 0,4%
» лошадей	»	»	»	78%	» 0,7%
» овец	»	»	»	68%	» 0,9%

Другая составная часть навоза — п о д с т и л к а — играет двоякую роль: от нее требуется обеспечение чистоты и мягкости ложа для скота, с одной стороны, и, что для нас здесь более важно, 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.

Материал для подстилки употребляется крайне различный; в преобладающем числе случаев употребляется для подстилки 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 может она 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 ч.	удерживает	180—280	ч. 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 (см. по возр. торфяника)		удерживает	500—700 и даже	1 000	» »
Мох				300	» »

Стружки и опилки как материал, содержащий мало азота (около 0,2), должны уступать соломе с точки зрения внесения в навоз элементов пищи растений; напротив того, торф существенно повышает содержание азота в навозе.

Местами при недостатке соломы прибегают, как например в Швейцарии, 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 их 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 его 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 [illegible]).

Вот содержание азота, фосфорной кислоты и калия в некоторых видах подстилки (в процентах):

Удобрения	Солома хлебов	Солома бобовых	Лиственная подстилка	Торф
Азот	0,3—0,9	1,2—2,0	0,8—1,4	1,0—2,0
Фосфорная кислота	0,2—0,3	0,3—0,4	0,2—0,3	0,1—0,3
Калий	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), и 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 $1 : {}^1/_5$ 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 в сутки.

Торф употребляется на подстилку в разных формах. Наибольшей способностью поглощать воду обладает моховый 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 иногда устилают пол конюшни кирпичами формованного торфа, сверху покрывая их соломой, или дробят торф на торфяных мельницах (или корнерезках, жмыходробилках). 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 ч. 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 навоз полуперепревший; средние цифры состава такого навоза, которыми можно пользоваться для приблизительных расчетов, для смешанного навоза таковы (в процентах):

Воды	75
Азота	0,5
P_2O_5	0,2
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.

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 Леммермапу для времени пребывания животных в стойлах считать, что на 1000 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 $\frac{a}{2}$, 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 из данного корма $\left(\frac{a}{2} + b\right)4$.

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 наглаз, а потому точные вычисления количества свежего навоза не имеют особого значения. Баталин пользуется в данном случае переваримостью отдельных составных частей корма: зола корма 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 переваримых 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 непереваримых 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 в год.

Принимают, что 1 куб. м весит (в килограммах):

Свежий навоз	300—400
Уплотненный навоз	700
Полуразложившийся навоз	800
Влажный, разложившийся навоз	900

Изменения в составе навоза. Первым процессом, наступающим непосредственно после выделения экскрементов, является аммиачное брожение мочевины, т. е. превращение ее в углекислый аммиак, легко диссоциирующую и летучую соль.

$$CO\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix} + 2H_2O = CO\begin{matrix}ONH_4\\ONH_4\end{matrix} = (NH_4)_2CO_3$$

Это брожение представляет поэтому источник крупных потерь азота в навозе; 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
Отложено животными в мясе	10,2
Выделено в молоке	10,0
Найдено в навозе	41,6
В навозной жиже	6,5
Потеря	31,7

Как крайний случай приведем следующий пример из опытов 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 обходиться без подстилки, причем азот жидких выделений большей частью теряется).

Что брожение мочевины действительно в значительной мере зависит от температуры и среды, показали опыты тех же авторов; у них при брожении мочевины:

При	2° С	потерялось	азота	237 мг
»	11° С	»	»	469 »
»	20° С	»	»	704 »
»	30° С	»	»	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 конюшнях. Но вместо серной кислоты употребляют с большим удобством 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 серноаммиачную 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 потреблять гипс, именно углекислые щелочи (K и Na), точно так же образующие $CaCO_3$ и соответствующую соль H_2SO_4; поэтому всегда приходится прибавлять излишнее количество гипса для удержания 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 рекомендуют употреблять калийные соли, содержащие $MgSO_4$ или $MgCl_2$ и действующие таким же образом. Однако имеются наблюдения, что каинит способен вызывать воспаление кожи 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 (войлочный торф, торфяной порошок, формованный или не формованный, а только высушенный торф), кладут слоем на пол стойла, а потом кладут подстилку, причем меняют или добавляют только солому, не трогая торфа, реже сменяют и то и другое, иногда настилая под животными солому, располагают измельченный торф в прикрытых решотками углублениях на пути движения жижи по склону пола к канавке, 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 достигнет 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.

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 смешивались 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 края 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.).

Но вот что нашел французский агрохимик Дегерен при анализе газов, извлеченных с помощью аспиратора из разных частей такой кучи (в процентах):

	На поверхности кучи	В середине кучи	В глубоких слоях
CO_2	21,6	31	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 на 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 (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° С, 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 объясняют 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:

Род 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	35	50	65	40	20	18	18	17	16
» 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° С. Собранные газы и навоз после опыта были анализированы; получено CO_2—4,217 куб. см, метана — 4,557 куб. см, следовательно почти равные объемы, как и следует по уравнению, ранее приведенному.

Углерода содержалось в навозе 12,6 г, а в продуктах собрано 4,7 г, 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 подвигается вперед и процесс гумификации.

Значительность количества выделяющегося в навозной куче метана можно показать, извлекая газ из внутренних частей навозной кучи и применяя его в лаборатории (после очистки от CO_2) так же, как и светильный газ (1 куб. м навоза может за время разложения дать 16 кг метана по теоретическому подсчету, фактически получали его от 10 до 100 куб. м).

Принято думать, что главным материалом для метанового брожения служит клетчатка, но могут служить для этой цели другие вещества (крахмал, пентозаны, жирные кислоты, даже белки).

В ряде случаев отмечено, что пентозаны (или общее — гемицеллюлозы) разлагаются быстрее клетчатки; например в одном опыте через $4^1/_2$ месяца убыль органического вещества вообще и пентозанов в частности выражалась такими цифрами (в процентах):

	При 35° С		При 15° С	
	аэробн.	анаэробн.	аэробн.	анаэробн.
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.

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'a* 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 опытов лабораторных не всегда можно переносить непосредственно на процесс разложения навоза на гноище вследствие различия в условиях согревания и охлаждения массы, вентиляции и пр.

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 (и 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 общераспространенные способы «хранения» навоза.

Так в одном опыте бралась смесь экскрементов лошади 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 закрыт был 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 ч. азота аммиака осталось только 15; 40,7 ч. аммиачного азота улетучились, а 44,7 ч. перешли в органическое вещество [1].

В другом случае опыт с разложением в искусственной обстановке (при повышенной температуре и щелочной реакции) тянулся три 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 органическое соединение?

Здесь играют роль как причины биологического характера, так и чисто 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:

$$RC\begin{matrix}\diagup O\\ \diagdown H\end{matrix} + H_2NR' = R\cdot C\begin{matrix}\diagup N\cdot R'\\ \diagdown H\end{matrix} + H_2O\,.$$

При этом получаются темноцветные соединения, подобные гумусу, и они участвуют в той смеси органических веществ, которые окрашивают навозную 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 80-х годах Тарховым, что если приготовить

[1] Так как в прежних опытах не определялся поглощенный аммиак, то количество «азота в органических соединениях» часто преувеличивалось.

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, происходят ли в навозе потери азота иным путем, кроме улетучивания аммиака (и потерь в воде навозной жижи, если не устранено ее стекание на сторону или просачивание через дно колодца). Одно время интересовались вопросом, не происходит ли в навозе д е н и т р и ф и к а ц и я (см. сказанное в общей части, стр. 70). Но чтобы могла итти денитрификация, ей должно предшествовать образование нитратов, однако 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 жиже эти бактерии развиваться не могут* (Niklewski); хотя твердые составные части навоза не содержат веществ, 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 земляной или торфяной покрышкой, их может содержаться заметное количество. В массе же навоза только тогда может быть много нитратов, если навоз смешивается с землею 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 других причин (например по мнению некоторых авторов потери азота при гниении 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 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 выделения свободного азота и углекислоты. Так в одном опыте после прибавки KNO_3 было в газах, выделенных из колбы:

	CO_2	N	CH_4
Через 10 дней	75	25	0
» 20 »	53	46	0
» 30 »	47	49	3
» 60 »	45	0	54

[1] Вот данные по распределению азота в некоторых образцах навоза, анализированных Меркером:

	Всего N	N нераств. органич. соед.	N амидный	N аммиака	N нитратов
1-й анализ	0,548	0,364	0,017	0,157	0,004
2-й анализ	0,730	0,454	0,037	0,225	0,018

Следовательно метановое брожение временно прекращалось под влиянием того кислорода, который бактерии брали из селитры, а после того, как разлагалась селитра и потреблялся кислород ее, опять начиналось 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. Дегерен 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 колбу, содержащую нормальный навоз и помещенную в водяную баню, при 50° С потери азота в 10—15% сверх того азота, который выделен был в виде аммиака и уловлен серной кислотой.

Подобные наблюдения относительно выделения свободного азота при аэробном разложении сделаны также и другими авторами. Ehrenberg 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 нитритов 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), который сравнивал содержание общего азота и аминокислот в образцах навоза при заражении нитритными бактериями (в условиях сильного разжижения жидких выделений) и без такого заражения; вот примеры из этой работы:

	При заражении	Без заражения	
Количество аминного азота в пробе	(1) 0,18%	19,6%	от всего азота
	(2) 0,05%	16,4%	

Одновременно уменьшалось количество аммиака, который переходил в азотистую кислоту, а затем эта кислота, совместно с аминной группой гуминовых кислот, разрушалась с выделением свободного азота; поэтому через 11 месяцев общее количество в образце, зараженном нитритными 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: $C_6H_{10}O_5 + H_2O = 6CO_2 + 6H_2O$). 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, который три одинаковых порции свежего навоза поместил в разные условия разложения, а именно: 1) в куче под крышей, 2) в куче, но на открытом воздухе, 3) тоже на открытом воздухе,

но в виде слоя небольшой толщины. Результат был следующий (по расчету на 1 000 кг исходного веса):

	1		2		3	
	Вес	Колич. N	Вес	Колич. N	Вес	Колич. N
В начале опыта	1 000	6,43	1 000	6,43	1 000	6,43
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	41,6	—	74,3	—	65,6	—
Потеря азота	—	14	—	30	—	64
Потеря сухого вещества	34,6	—	46,8	—	41,5	—

Так как вначале навоз содержал 66,2% воды, то конечные цифры показывают потерю воды от испарения при хранении под крышей, 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 причиняла вымыванием растворимых составных частей навоза, что особенно сильно сказалось в случае третьем, причем потери азота превысили потери сухого вещества.

Но если не останавливаться на таких крайних случаях, то как правило при хранении навоз относительно обогащается азотом и зольными веществами, как это видно например из следующих данных (Holdefleiss) (в процентах):

	Навоз свежий	Навоз, лежавший 7 мес.
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 организм травоядных; однако повышение процентного содержания азота и зольных веществ имеет только относительное значение, и 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 гемицеллюлоз), которые могут производить отрицательное действие на азотное 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 различить четыре главных случая хранения навоза: 1) хранение под скотом («навоз глубоких стойл» в Германии), 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 в Германии (даже в крупных хозяйствах) для овец, коз и недоящегося 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» (Tiefstalldunger), 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 жижа 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):

	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

[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 гноище занимал последнее место.

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	На 100 ч. 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 риск 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 при правильном разложении углеводов 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 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 средине 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.

Обычно требования к устройству гноища 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.[1]

Значительно больше делается для создания непроницаемого дна (бетон, асфальт, кирпичная кладка, в крайности — вымащивание дна гноища булыжником на глине и пр.) и устройства колодца для собирания жижи. Но даже при безупречно устроенном гноище хранение навоза может быть плохим, если он выбрасывается из стойла как попало, без применения дальнейшего ухода. Тогда получается неровная (а значит излишне увеличенная) поверхность, солома и экскременты остаются не перемешанными, могут чередоваться влажные и сухие участки, разложение идет неравномерно, проникновение воздуха вызывает потери.

Совсем иное получается, если заботятся о том, чтобы сейчас же по выгрузке *равномерно распределить и уплотнить навоз, тогда сухая солома* вдавливается в богатые водой экскременты, пустоты исчезают, доступ воздуха возможно ограничивается, создается атмосфера, насыщенная углекислотой, и потери азота уменьшаются. 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). Считают, что на голову крупного скота нужно 3 кв. м площади гноища, если укладка не идет выше 1,5 м и навоз не остается на гноище больше 3 месяцев.

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, при уплотнении 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 земляную покрышку и промазку глиной наружной стенки готовой кучи (Германия). Если в навозе много жижи, которую хотят удержать от стекания, то прибегают к введению в навоз торфа или в качестве подстилающего слоя

[1] Однако устройство крыши над гноищем полезно только в том случае, если заботятся 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.

или в виде также и чередующихся с навозом прослоек. Также применяют торф для прикрытия кучи сверху в целях поглощения выделяющегося аммиака и защиты кучи от высыхания.

В качестве меры к более быстрому установлению анаэробного брожения и создания атмосферы, насыщенной углекислотой, было предложено Дегереном 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 Шнейдевинда (в Германии) 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, Шнейдевинд 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, применять 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	0,034	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; таким повышением концентрация раствора подавляет развитие микроорганизмов, однако в этом случае прекращается и перепревание такого «соленого» 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 следует испытать внесение в навоз суперфосфата (или бисульфата, раствора фосфорной кислоты и пр.) *после перепревания*, чтобы избежать потерь аммиака при распределении 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 особенных случаях, когда прибегают к сушке навоза (см. ниже), введение суперфосфата может быть средством сохранения навоза от потерь аммиака при сушке.

Приготовление «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 (или 90 см) и оставляют лежать до тех пор, пока он не разогреется до 60°, на то 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 лежит совсем в других обстоятельствах, чем это хотели видеть пропагандисты этого 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 этот обычный навоз, 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 де-

нитрификации 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), что среди этих опытов не было ни одного, который бы удовлетворял 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 равных 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 наиболее обстоятельные опыты по сравнению способа Кранца с другими приемами хранения проведены были в НИУ[1] 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. наблюдалось (в процентах):

	Соломенная подстилка		Торфяная подстилка	
	Потеря сухого вещества	Потеря азота	Общая потеря	Потеря 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 предв. разогр.)	11,4	13,5	7,8	1,2

Кроме наименьших потерь навоз плотной укладки оказался наиболее богатым аммиачным азотом, содержание которого является повидимому меркой доступности азота навоза в первый год по его внесении; так, если исходное количество азота принять за 100, то после 4-месячного хранения на общий азот и отдельные формы приходилось (в процентах):

[1] Мамченков и Ромашкевич. Под руководством Перитурина. Рациональные способы хранения навоза. Труды НИУ, вып. 97, 1933 г.

	Общий	Азот белков и гуминов	Азот аммиака	Остальные формы	N аммиака в % от налич. 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	93,7	56,0	38,5	4,2	39,0

Если взять среднее из 5 опытов, проведенных НИУ за три года, то потери азота и сухого вещества для трех видов навоза выразятся такими цифрами:

	Потери сухого вещества	Потери азота	Относительные величины для потерь азота
I. Обыкновенный навоз	32,6	31,4	4,1
II. Навоз по Кранцу	24,6	21,6	2,8
III. Навоз плотной укладки	9,2	7,7	1,0

Таким образом *потери азота при плотной укладке были в четыре раза меньше, чем при рыхлой, и почти в три 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 % от веса навоза	
	Соломенная подстилка	Торфяная подстилка
Навоз обыкновенный (рыхлая укладка)	10,5	4,3
«Горячий навоз»	5,1	3,4
Навоз плотной укладки	1,9	0,6

Таким образом навоз плотной укладки очень хорошо удерживает жижу, превосходя в этом отношении не только обыкновенный, но и «горячий навоз» и 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 вывозки и распределения ее по полю.

Очевидно «горячий» навоз отдает жижу главным образом в течение первого периода (рыхлой укладки) вследствие того, что в одних мес

тах 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 Фрувирта различие в этом отношении оказалось не столь значительным: так из 300 семян, заложенных в навоз, при вывозке его было найдено неразложившимися:

	В случаях		
	Raphanus raph.	Galium aparine	Vicia villosa
«Горячий навоз»	241	300	165
«Холодный навоз» . . .	260	300	162
Из них всхожих (а) . . .	0	0	0
Из них всхожих (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 своб. и углекисл. NH_3	Азот связан. NH_3	Азот нитратов	Сумма минерального азота
Соломенный рыхлый	2,35	1,752	0,346	0,152	0,0016	0,499
Соломенный «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 своб. и углекисл. NH_3	Азот связанный 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	4,2
» «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	49,9	1,4

О потерях фосфора при хранении навоза. При учете превращений фосфора в навозе 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.

Особые приемы хранения навоза и его компонентов

Отдельное хранение жидких выделений

Ввиду того 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, как для сохранения азота жидких выделений, 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 которых избегается потеря 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 внося 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 труднее бороться с потерями аммиака, но и та часть аммиака, которую нам удается предохранить от улетучивания, может входить в состав органического вещества, и таким образом вместо хорошо усвояемого аммиачного азота могут получаться труднее усвояемые формы азотистых соединений.

Способ Сокслета дает превосходные результаты на опытных станциях при тщательном выполнении основных заданий: но для этого жижа не должна применяться поверхностно; она должна тотчас по распределении быть запахана; она не должна далее применяться на поле, сохранившем жнивье, — это дает большую поверхность испарения, и особенно при ветре в теплую погоду потери аммиака могут быть громадными. Нужно, чтобы жижа непосредственно впитывалась землей при выходе из распределителя; точно так же не следует применять жижу малыми порциями в несколько приемов, — при применении сразу больших количеств потери аммиака будут меньше.

В Германии этот способ был испытан и в хозяйственном масштабе, причем выработаны как способы возможно быстрого отделения жидких извержений от твердых из соломы, 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 ложатся 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, притом, если следовать мысли Сокслета, не Sphagnum'а, богатого углеводами, а разложившегося торфа, богатого 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 Леммермана и Висмана 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 в течение 44 часов (может быть стоит испытать еще один вариант — поглощение аммиака жижи серной кислотой, поставленной в плоских сосудах над жижей при изоляции всей системы от окружающего воздуха).

Применение смеси экскрементов без подстилки

В экстенсивных хозяйствах с развитым овцеводством встречается способ внесения удобрения, называемый т о л о к о й. 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 кв. метр; 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.

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,

[1] При применении формалина не только подавляется бактериальная деятельность, но химически связывается аммиак (с образованием гексаметилентетрамина).

которое особенно велико в такой обширной стране, как наша, и 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, где азот навоза чрезвычайно ценен, до южных черноземов, где или важен только фосфор навоза, или навоз вообще еще не применяется и идет только на топливо (в виде кизяка). Сообразно сказанному, самая мысль о сушке родилась в условиях черноземной полосы — такое предложение сделано проф. Егоровым в Харькове. Кроме того, что при хорошей обработке пара азот на черноземе местами еще не нужен (по крайней мере для озими), здесь выступают еще такие соображения: при том плохом хранении навоза, которое является обычным у нас, 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, у нас обычно навоз еще теряет много азота, будучи разбросан по полю, так как он не тотчас запахивается: в сухую погоду при ветре (особенно для открытых полей в черноземной полосе) навоз высыхает; тогда в особенности становится вопросом, 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, тогда не только мы уменьшим общие потери азота, но еще в четыре раза уменьшим массу, подлежащую вывозке в поле (так как навоз содержит в среднем 75% воды).

Однако тогда встает на пути вопрос, как же быть с тем обстоятельством, что высушивание остановит разложение и в почву попадут неперепревшая солома и твердые извержения. 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 вовсе не являются подходящим фоном для испытания действия навоза как источника азота, ибо вследствие обильного накопления нитратов на них и селитра часто не действует, и вполне возможно, что при известных дозах навоза, при заблаговременном внесении в пару, при громадной аэрации чернозема сравнительно с печерноземом, при повышении биологической деятельности и пониженной потребности почвы во внесении азота со стороны (но при достаточной потребности в фосфоре) 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 к 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 применением кислот и кислых солей (фосфорная кислота, бисульфат, суперфосфат), но и 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 последующим связыванием его теми или иными примесями.

Кроме облегчения в четыре раза работы по возке навоза, сушка дала бы возможность пользоваться измельченным навозом, что облегчило бы *механизацию его внесения* в крупных хозяйствах.

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 они в то же время легко поддаются определению, то некоторые авторы предлагают судить о степени разложения соломы по содержанию пентозанов. Так в одном из опытов наблюдались такие изменения 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 только 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). Вводить фосфаты и калийные соли ради успешного развития микроорганизмов повидимому не нужно, так как в соломе содержится достаточно для этой цели калия и фосфора, притом в хорошо усвояемой форме.

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 сточными (канализационными) водами. Наибольшую трудность представляет равномерное промачивание всей массы соломы. Для облегчения смачивания и 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 и после ее впитывания вспрыскивается 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°), после чего 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 фосфорную кислоту, входившую 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 этом оказалось, что влияние 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 также 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 рода растения (например культуры поздней уборки, как картофель, допускают более широкое отношение N:C в навозе, чем культуры, ранее созревающие).

Тем не менее на почвах нечерноземных и для картофеля может проявляться отрицательное действие избытка углеводов в удобрении.

---

[1] Неизрезанная солома или нарезанная слишком крупно (например на 20 см) обнаруживает затем явления стекания жидкости и образование сухих мест в массе компоста, отчего получаются гнезда неразложившейся, но заплесневелой 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.

Возьмем пример из опытов Леммермана с картофелем, в которых вносилось 6 т (по расчету на сухое вещество) соломы и искусственного навоза разной степени разложения.

	Без удобрения	При внесении в поле добавочного количества азота		
		20 кг/га	40 кг/га	60 кг/га
Урожай картофеля без органического удобрения	140 ц	177 ц	220 ц	242 ц
Прибавка против неудобр. солома неразложившаяся:	—58	—41	—11	—4
Прибавка против неудобр. искусствен. навоз (месяц компостирования)	—23	+22	+36	+69
То же через 6 мес. компостирования	+6,7	+33	+64	+77

Здесь действие соломы было резко отрицательным, а искусственный навоз только через 6 месяцев разложения обнаружил переход отрицательного действия к положительному; добавление азота вызывало перемену знака и для одномесячного компоста.

У нас с искусственным навозом имеются опыты НИУ на двух видах почв — суглинистой (I) и песчаной (II) 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.

	Без соломы	Солома сухая (10 *т*)	Солома компостир. без добавок (10 *т*)	Солома компостиров. с мочевиной и фосфоритом
I	100	97	127	129
II	100	103	168	225
	То же на фоне азота и фосфора, внесенных в поле			
I	127	132	158	—
II	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 фосфорита дала больший эффект, чем солома, компостированная с мочевиной и фосфоритом.* Зависело ли это от потери части азота мочевины при хранении

[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):

компоста, его вывозки и заделки 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 проведены были вегетационные опыты, а с картофелем — полевые) (в процентах):

	Без соломы	Соломенная резка	Солома, компостир. без добавок	Солома, компостир. с мочевиной и фосфоритом
I	100	50	65	188
II	100	36	57	210
	То же на фоне азота и фосфора			
I	186	125	203	—
II	211	108	208	—

Здесь замечаются следующие отличия от опыта с картофелем: 1) солома, как свежая, так и перепревшая, действовала отрицательно, притом не только в отсутствии 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.

Не раз высказывалось предположение, что метод приготовления искусственного навоза будет интересен для крупных зерносовхозов, где получаются большие избытки соломы, не находящей применения вследствие отсутствия (или малого развития) животноводства в ряде таких хозяйств, благодаря чему иногда наблюдается сжигание избыточной соломы. Однако, как общая мера этот путь не может быть использован, потому что наиболее крупные зерносовхозы расположены в степных районах, где навоз еще больше не применяется или потому, что он не действует, или потому, что действие его недостаточно велико, чтобы компенсировать труд по приготовлению и главное

Прибыль или убыль нитратов в почве (в % от начального количества)

Солома	То же с добавкой $(NH_4)_2SO_4$ до содержания азота				
с 0,45%N	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, подлежащей разложению.

по вывозке навоза. Поэтому вопрос о приготовлении искусственного навоза может иметь преимущественно интерес там, где почвы уже более истощены и где навоз дает поэтому значительный эффект, но почему-либо животноводство недостаточно развито, чтобы солома могла быть «переработана в навоз» под ногами животных.

В степных же местностях, где навоз не применяется, солома должна конечно не сжигаться, а например итти на приготовление бумаги, которая так нужна Союзу [1].

Применение неперепревшей соломы в качестве удобрения

Попытки такого использования соломы делались неоднократно или под влиянием соображений об убыточности скотоводства, или вследствие невозможности использовать солому на подстилку для скота и для получения навоза по другим причинам. 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 (Уральской области) поле наблюдались такие приросты урожая от внесения соломенной резки (18 т) на последовательные культуры (трехлетнее среднее):

Приросты урожая (в ц/га)

Озимая рожь	1,9
Овес	4,9
Клевер первого года	6,3
» второго »	7,5
» третьего »	7,4

Цифры показывают, что овес, а особенно клевер, дали гораздо большие приросты, чем рожь. Нужно сказать, что на бобовых, имеющих свой источник азота, не зависящий от количества нитратов в

[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 на местах может 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 высокосортной бумаги из рисовой соломы).

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 иногда 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 имела место такая комбинация в первом году, то в следующие годы должно взять верх положительное действие. В сводке Балашова «Навозное удобрение» (1929) находим такое сопоставление результатов применения соломы на разных опытных станциях:

	Действие	Последействие		Действие	Последействие
Драбовская	—	+	Полтавская	+	+
Плотянская	—	+	Менделеевское оп. поле	+	+
Одесская	—	+	Чишминская станция	+	+
Шатиловская	—	+	Киевская	+	+

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, составивши набор яровых культур из зерновых бобовых — гороха, вики, чечевицы, конских бобов, фасоли (смотря по климатическим и почвенных условиям); тогда вероятно и в первый год и в последующие наблюдалось бы только положительное действие соломы.

Вывозка навоза и заделка

При вывозке следует в каждый воз 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; на Западе 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 (о механизме нагрузки и других операций см. ниже).

Для большей равномерности распределения навоза поле, подлежащее удобрению, предварительно л е ш а т, 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, и 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 типичная картина пестрого поля, на котором темной зеленью и пышным ростом выделяются места бывших куч, остальная 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 пронизываются воздухом, уносящим аммиак.

Если же почему-либо вывозка навоза должна быть произведена тогда, когда запахать его нельзя (например поле занято растениями), то рекомендуется складывать навоз с краю поля в большие кучи, которые подстилаются и прикрываются 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 с вторичной нагрузкой и возкой, хотя и на малые расстояния).

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 сохраняются без изменения до весны, так что потерь не происходит, а при таянии снега кучи остаются 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 или (при дожде) избыточное удобрение мест, где лежали кучи; но на Полтавском опытном поле не наблюдалось заметных различий между зимней и ранней весенней вывозками навоза (см. «Итоги работ за 20 лет» XII, 312).

Нередко рекомендовалось прежде при вывозке навоза на паровое поле разбрасывать навоз по полю сейчас же и оставлять его 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 может сказываться 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 в чистом пару почва накопляет так много нитратов, что внесение азота вообще излишне, нужен больше всего фосфор, а особенно важно сбережение 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, и каждый раз запахивание оказывалось лучшим приемом; вот примеры:

	Навоз тотчас запахан	Навоз оставлен лежать на поверхности
Кукуруза на зеленый корм	78 000 кг	71 600 кг
	87 000 »	58 000 »
Картофель	202 гкл	188 гкл
	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 вспаханы при вывозке	Вспашка производилась через месяц при заделке навоза
Навоз оставлен в кучах	20 ц зерна	13 ц зерна
» разбросан по поверхности	26,5 ц »	20 » »
» тотчас вспахан	30,5 ц »	—

И здесь непосредственная запашка дала лучшие результаты, нежели оставление навоза разбросанным на значительный срок; так как опыт проведен в условиях довольно засушливого климата, то в действие навоза, разбросанного по поверхности, могло входить положительное влияние мертвого покрова, поэтому оставление в мелких кучах дало еще меньший урожай, чем разбрасывание.

На Тульском опытном поле 2-недельное 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—16%	17—22%	22—27%

Затем в полевых опытах, проведенных в 15 пунктах, производился учет урожая при запашке навоза через разные сроки; отно-

сительная 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
Через 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 скважности, как черноземы и лессовидные суглинки; так на Полтавской опытной станции заделка навоза в пределах от 12 до 20 см не оказывала еще заметного влияния, и 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, а не какие-либо 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 большом количестве осадков заделка должна быть более мелкая, чем в сухом климате. 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).

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, 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, причем 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, калия (и кальция) имеется ряд косвенных воздействий на растения через посредство почвы. Остановимся 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 столетия много опытов и 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 зато «последействие» в случае навоза является более длительным, чем в случае селитры, поэтому навоз вносят один раз в несколько лет, селитру же нужно вносить чаще. Однако последующие работы показали, что на каждом шагу встречаются значительные отклонения от среднего коэфициента, данного Вагнером. Так другой германский агрохимик Меркер, предпринявши в 90-х годах исследование значительного ряда образцов навоза, взятых из различных хозяйств, нашел такие отклонения от величины вагнеровского коэфициента:

	Число образцов						
	7	10	5	8	7	3	5
Коэффициент использования азота	60%	45%	36%	25%	14%	3%	— 13,8%

Таким образом образцы разного происхождения оказали весьма различное действие, причем иногда действие это было даже отрицательным.

Меркер пытался установить связь коэфициентов использования 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 (в процентах):

Коэфициент использования азота

Овечий навоз	48
Конский навоз	29
Коровий »	26

Если же, не различая происхождения, расположить образцы в порядке по содержанию азота, то чем образчик содержит больше N, тем больше коэффициент его использования.

	Коэффициент использования
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.

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:

	Прирост урожая
При удобрении мочой	+ 55,0
» » лошадиным калом	— 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 культурах 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, начиная с 0,25% и до 1% от веса почвы (что отвечает приблизительно 7,5—30 т/га); вот полученные результаты:

Урожай ячменя (в граммах на сосуд)

Без соломы	16,2
0,25%	10,0
0,5%	6,6
1% от веса почвы	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 указывают, 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 Шнейдевинд наблюдал отрицательное действие соломы и кала в полевом опыте; при этом солома, внесенная весной под яровое, понижала в течение двух лет урожай 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 чернозем) 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 экскрементах 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 одного опыта (в процентах):

Разрушение нитратов под влиянием:	Свежего	Бывшего в термостате
конского навоза	100	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 микроорганиз-

мами, как бактериями и грибами, образующими белковые вещества за счет углеводов соломы и азота нитратов. Таким образом это есть главным образом временная убыль нитратов; когда избыток углеводов исчезнет, начнется обратный переход белкового азота отмирающих организмов в аммиак и нитраты.

Таким образом отклонения от среднего коэффициента, 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; также 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, потому что одинаковое абсолютно количество навоза 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 недавних опытах НИУ было прослежено действие навоза как азотистого удобрения в связи с содержанием в нем аммиачного азота, причем 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[1] аммиак.

Так в опытах НИУ 1930 г. имеем такие соотношения для овса, если весь азот навоза принять за 100 (в процентах) (см. табл., стр. 271).

Отсюда видно, что образцы навоза с большим содержанием аммиачного азота дали также и лучшее действие, причем 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 HCl 0,05-норм.), которая раньше не учитывалась, показывает, что прежнее представление о растворимости «гуминовокислого аммиака» вообще приводило к неправильным выводам; очевидно смотря по количеству связанного ацидоидами аммиака и по составу одновременно входящих других катионов (кальций 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.

		Обыкновенное хранение	По Кранцу	Плотная укладка
I. Торфяная подстилка	Усвоено азота	29,0	28,3	35,3
	Содержалось в навозе аммиачного N	29,9	35,7	39,1
II. Соломенная подстилка	Усвоено азота	21,3	16,1	18,7
	Содержание азота NH_3	23,2	23,0	32,9

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 необходимый для своего развития азот заимствовать из растворимых соединений почвы, и это уменьшало количество азота, доступного растениям, по сравнению с неудобренными делянками.

Но в случае 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 так же хорошо усвояются, но нормально накопления нитратов не происходит (кроме случаев соприкосновения с земляной покрышкой или стадии очень длительного разложения), и, как сказано выше, оно 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 здесь часто встречаются более высокие цифры усвояемости, чем для минеральных удобрений, например для фосфорной кислоты — до 50—60% 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. Для Германии в опытах Шнейдевинда 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) (табл. на стр. 272).

Отсюда видно, что калий и фосфор навоза усвояются лучше, чем К и Р минеральных удобрений (или же К не хуже), но азот гораздо хуже.

	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

Приведенные коэффициенты относятся однако к условиям, благоприятным для использования навоза, именно к умеренным дозам (18 т) и навозу очень высокого качества; при больших дозах (36 т) и менее благоприятных условиях получаются например такие проценты использования для навоза:

N	P_2O_5	K_2O
22,2	28,7	47,6

Зависимость использования P_2O_5 от дозы навоза в вегетационных опытах НИУ отражается следующим образом:

Дано P_2O_5 на сосуд	KH_2PO_4	Навоз (соломен. подстилка)		
		Обыкновенный	По Кранцу	Плотный
0,250	44,8%	34,4%	55,6%	43,6%
0,500	31,2%	26,0%	34,2%	25,6%

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 очень высокой.

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 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 ненужными 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?

Исследований, дающих ответ на этот вопрос, пока немного; в частности по вопросу о конечном использовании азота навоза имеются систематические опыты, проведенные почти в течение 30-летнего 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., датские опыты велись в четырехпольном севообороте норфолькского типа (пропашное, яровое, клевер, озимое) при двух вариантах этого севооборота [1] на каждой почве (в итоге 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 четыре года) и в тех минеральных удобрениях [2], с которыми должно было сравниваться 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 позднее при повторении севооборота к действию вновь вносимого навоза должно присоединиться последействие от предыдущих внесений, поэтому

[1] В одном случае пропашной клин был занят свеклой, в другом — картофелем.

[2] Доза минеральных удобрений согласовалась не со средним составом навоза, взятым из справочника, а с составом действительно применяющегося навоза, а именно: в год на гектар давалось 40 кг N, 29 кг P_2O_5 и 37 кг K_2O.

в итоге действие навоза должно бы выравняться с действием минеральных удобрений, если только весь азот навоза постепенно (хотя бы например за 10 лет) переходил в усвояемые формы.

Если бы в конечном итоге азот навоза (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).

Периоды	1894—1901	1902—1909	1910—1917	1918—1922
Урожай овса (в центнерах с гектара)				
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 гектара)				
Без удобрения	48,0	38,7	26,9	40,2
Навоз	58,5	54,8	41,1	66,4
Минеральные удобрения	61,1	64,3	45,8	73,0
Урожай ржи (зерно) (в центнерах с гектара)				
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 гектара)				
Без удобрения	266	93	123	81
Навоз	436	429	411	344
Минеральные удобрения	489	478	554	524

Таким образом при выравнивании количеств N, P и K действие навоза оказалось ниже действия минеральных удобрений, несмотря на большую продолжительность опыта и возможности суммирования действия новых порций навоза с последействием длинного ряда раньше внесенных порций. Необходимо было выяснить причины этого явления, что и было сделано в Аскове.

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 селитрою. 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):

	Минеральное удобрение	Навоз
При подсчете для всех растений	15	38
То же, за исключением клевера	18	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, а кроме того 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].

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 оказывалось, что *навоз 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%

[1] Но 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 влияния азота (путем внесения селитры на всех делянках), то ясно, что например для калия получились бы гораздо более высокие цифры.

эффекта от полного их количества. При 12-летних опытах на двух опытных станциях в Дании наблюдались такие приросты урожаев [1]:

	Количество питательн. веществ в удобрении					
	Минеральные удобрен.			Навоз		
	1/2	1	1 1/2	1/2	1	1 1/2
Приросты урожая	12,7	19,2	22,4	6,6	11,5	15,2
	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 (как видно ниже).

На основании этих опытов автор отчета (Иверсен) предлагает такой способ оценки питательных веществ в навозе для датских условий: взявши 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. 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 в каждом случае выведены были следующие общие (точные лишь для местных условий) правильности (рис. 35).

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. 36); 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 к 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

[1] Центнеры на гектар за год для средней продукции всего севооборота в пересчете на зерновые эквиваленты по принятому в Дании способу (см. выше). Единица удобрения — 10 т навоза на гектар.

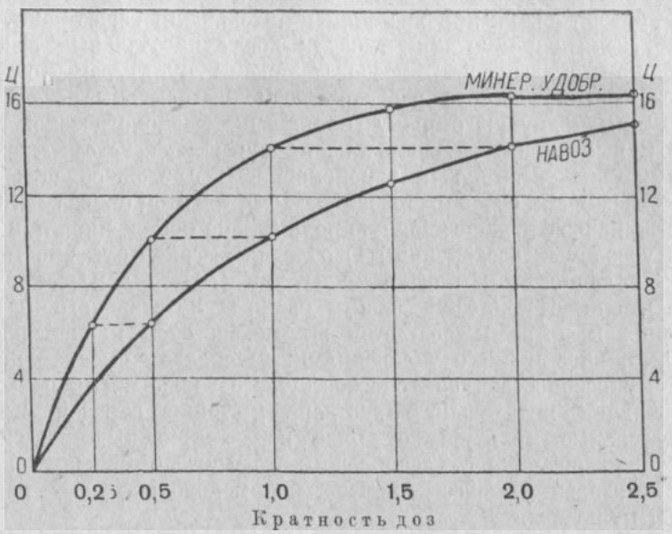


Рис. 35. Сравнение действия навоза и минеральных удобрений при условии выравнивания количества питательных веществ (датские опыты).

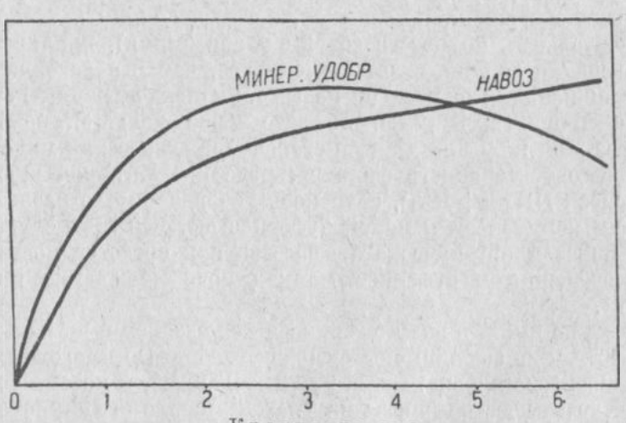


Рис. 36. Схема действия равных доз питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях (однократная доза — 10 т навоза на 1 га).

резерв постепенно приходящих в действие питательных веществ: так например Шнейдевинд получил в опытах с сахарной свеклой такие результаты:

Без удобрения	200 ц навоза	300 ц навоза	200 ц навоза + минер. удобр.
335 ц	438 ц	461 ц	482 ц

Сказанным объясняется, *почему так ценят именно эту комбинацию с навозом при такой интенсивной культуре*, как огородная и в частности культура овощей под стеклом, где требуется совершенно иной уровень снабжения растений питательными веществами. 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* (а закономерности в этой области только в последнее время стали разрабатываться), и в этом случае гуминовые вещества навоза играют двоякую роль (кроме постепенности в отщеплении усвояемых соединений): 1) обладая высокой буферностью благодаря наличности как основных груши (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, чем то, каким довольствуются растения полевой культуры.

В полевых условиях при меньших дозах питательных веществ эти благоприятные влияния органических веществ навоза труднее поддаются учету; нужно ожидать, что в условиях жаркого климата, с сильным испарением, при почвах, богатых солями (или при внесении значительных количеств солей с удобрениями), влияние органических веществ должно сказаться сильнее, чем в областях достаточного увлажнения, где вред от повышения концентрации почвенного раствора проявляется реже, но зато чаще является возможность сдвига реакции в ту или другую сторону, при внесении минеральных удобрений одностороннего состава (вроде предлагаемой промышленностью смеси $NH_4Cl + KCl$), если почва обладает мало развитым поглощающим комплексом и малой буферностью, и в этих случаях внесение с навозом органического вещества как средства повысить емкость поглощения и буферность таких почв может иметь большое значение [1].

Если же не иметь в виду очень бедных подзолов и песчаных почв, то в известных до сих пор опытах (если говорить о многолетних опытах в полевой обстановке) трудно найти данные, в которых влияние органического вещества навоза на урожай нашло бы цифровое выражение, и вообще постановка такого опыта в поле является нелегкой задачей, то такого отражения нельзя искать в упомянутых выше датских опытах, это следует уже из того, что вопреки ожиданиям на делянках с навозом даже при большом сроке опыта ограничивающим фактором оказалась меньшая усвояемость азота навоза по сравнению с азотом селитры.

[1] Так в опытах НИУ на фоне органического вещества лен переносил гораздо лучше удобрение потазотом, чем без такого фона (эти данные были получены в зоне подзолистых почв).

Нередко в литературе встречается утверждение, будто влияние органического вещества в навозе выявлено упоминавшимися на стр. 73 опытами с бессменной культурой ячменя на Ротамстедской станции в Англии, но данные этих опытов не годятся для такого сопоставления потому, что там имело место обратное по сравнению с датскими опытами обстоятельство, именно при чрезмерно большом количестве навоза (35 т ежегодно) было дано недостаточное количество азота в селитре (54 кг), которое и ограничивало высоты урожаев, что видно как из расчета вообще возможного урожая ячменя при данной дозе азота, так и из другого ряда опытов внесения $(NH_4)_2SO_4$ под пшеницу, в котором растения реагировали резко положительно на повышение дозы азота не только до двойной, но и до тройной нормы. В данной же серии опытов (с ячменем) не было других доз азота в селитре, как 54 кг/га, в навозе же давалось ежегодно 175 кг азота, поэтому из данных опытов (с ячменем) *нельзя делать никаких выводов о размерах влияния органического вещества навоза* [1].

Полное выравнивание питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях мы находим только в датских опытах, однако, как было выше отмечено, они выявили в то же время нечто новое, что препятствует сделать вывод о роли органического вещества. Именно, если прежде можно было думать, что путь выравнивания количеств питательных веществ (N, P, K) в навозе и растворимых удобрениях позволит определить по разности влияния органического вещества на урожаи, то датские опыты показали, что этим путем нельзя получить ответа вследствие того, что *азот навоза даже через долгие промежутки не достигает по действию уровня азота селитры, что до датских опытов было неизвестно.*

Подчеркиваем это обстоятельство, потому что 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 не пригодны для учета использования азота навоза вследствие чрезмерных доз навоза, достигавших 35 т/га ежегодно; использование азота не могло быть нормальным, так как урожаи уносили около 60 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 использовании азота, наоборот, они ставят навоз в невыгодное положение, так как например для 50-летнего периода (1861—1914) 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 унавоженных делянок с остальными).

[1] Более близкие количества азота (161 кг в аммиачной соли и 175 кг в навозе) давались в другой серии ротамстедских опытов, произведенных с озимой пшеницей; эти опыты почему-то не цитируются так часто, как опыты с ячменем, может быть потому, что их результаты противоречат ходячим представлениям (урожаи по минеральному удобрению в течение 40 лет превосходили урожаи на навозе); мы остановимся на этих цифрах ниже.

По сравнению с ротамстедскими даже более краткосрочные опыты, которые организовал Вагнер в ряде хозяйств, ставят навоз в более выгодное положение, так как в них избегнута ненормальность ежегодного внесения таких доз навоза, какие обычно вносятся раз за все время севооборота; кроме того эти опыты проведены в севообороте, однако они отличаются от датских не только меньшей продолжительностью, но отсутствием полной выравненности в количестве питательных веществ и даже отсутствием постоянства в количестве навоза, вносимого за отдельные ротации того же севооборота; тем не менее эти данные представляют больший интерес для оценки питательных веществ навоза, чем ротамстедские; вот пример для одного хозяйства (Ernsthofen):

Культуры	Урожай					
	За 1-ю ротацию		2-ю ротацию		3-ю ротацию	
	Навоз	Мин. уд.	Навоз	Мин. уд.	Навоз	Мин. уд.
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	—	—[1]	23,8	37,0	20,4	29,4

При этом за 2-ю и 3-ю ротации в навозе (800 ц) было дано больше азота и других питательных веществ, чем в минеральных удобрениях (100 кг/га в год против 57), в 1-ю же ротацию несколько меньше (50 кг). В итоге в навозе за 12 лет было дано в полтора раза больше азота, чем в селитре [2], но урожаи даже в 3-й ротации были по минеральным удобрениям раза в полтора выше, чем по навозу (а именно в 3-й ротации действие навоза должно было бы приближаться к действию минеральных удобрений, если бы последействие от навоза, внесенного за 1-ю и 2-ю ротации, было значительным). В итоге общая продукция за 12 лет составила по навозу 421 ц/га, а по минеральному удобрению 764 ц/га (для суммирования взято сухое вещество свеклы и картофеля).

Такие опыты Вагнером были проведены в 20 хозяйствах; результаты для остальных хозяйств были близкие к приведенным для Ernsthofen. При меньшей точности и длительности эти опыты в общем все же подобны по результатам датским опытам в том отношении, что они доказывают для 3-й ротации отсутствие полного использования азота раньше внесенного навоза (а датские опыты доказали это для семи ротаций), а также подтверждается и датский тезис, что действие минеральных удобрений равняется действию двойного количества питательных веществ навоза (в Ernsthofen было даже большим).

Итак ни ротамстедские, ни датские опыты не только не дают цифрового выражения для учета влияния органического вещества на урожай растений, но даже из них трудно вывести и качественное заключение относительно характера этого влияния, потому что фактором, определяющим различие между урожаями по навозу и *минеральным удобрениям*, оказался в этих опытах *азот навоза*, который в ротамстедских опытах дал превышение (вследствие в $3^1/_2$ раза большего количества азота в навозе), а в датских опытах он же вызвал пониженный эффект навоза, так как при выравнивании общего количества усвоение азота навоза даже за 30 лет было неполным.

Но дальше обнаружилась и еще одна трудность на пути учета роли органического вещества навоза путем сравнения его действия с действием минеральных удобрений, именно: *минеральные удобрения сами являются фактором обогащения почвы органическим веществом*; так например (по данным Бера) в одном опыте после 15-летней культуры без удобрений почва содержала 48 т органических веществ на гектар,

[1] В 1-ю ротацию здесь был клевер.

[2] Доза селитры была постоянной за все время опыта (57 кг азота ежегодно), навоза же было дано за первое четырехлетие 400 ц, а за второе и третье — по 800 ц.

при культуре же с минеральными удобрениями — 68 т. При этом не следует думать (как это часто встречается), что только многолетние травы способствуют накоплению органического вещества в почве; так озимая рожь оставляет в почве около 5 т корневых остатков [1].

Поэтому если урожай хлебов при минеральных удобрениях может вдвое превышать урожай без удобрения, то ясно, что и количество корневых остатков будет в этих двух случаях весьма различным, а потому минеральное удобрение может вызывать обогащение почвы органическими веществами при любом растении, и хотя клевер оставляет в почве в 1,5—2 раза больше остатков, чем рожь, зато в датском опыте площадь под клевером была втрое меньше, чем площадь под рожью и другими культурами, вместе взятыми; поэтому последние могли оставить в сумме больше органического вещества, чем клевер.

Поэтому, когда утверждают, что в датских опытах влияние органического вещества навоза потому не сказалось положительно, что на сравниваемых делянках с минеральными удобрениями (как и на навозных) в севооборот входил клевер, то утверждение это является совершенно произвольным. Конечно датский опыт должен быть повторен в разных вариантах, что делается между прочим на Долгопрудном опытном поле НИУ, притом в двух севооборотах: один — с травами, другой — без них; за первое трехлетие результаты совершенно совпадают с датскими независимо от того, входят ли в севооборот травы или нет. Конечно трехлетний срок недостаточен, но против 40-летнего срока вряд ли может быть выставлено подобное утверждение, а такой 40-летний период внесения если не совсем равных, то очень близких количеств азота в навозе и минеральных удобрениях мы находим в одной из серий ротамстедских опытов, именно в опытах бессменной культуры озимой пшеницы (данные первой серии, относящиеся к ячменю, приводились выше, стр. 73, но там вносились только 54 кг в селитре и 175 кг в навозе). Здесь мы имеем среди ряда комбинаций следующую, представляющую для нас интерес (в центн. на га):

	1852—1859	1860—1867	1868—1875	1876—1883	1884—1891
Урожай пшеницы по навозу (175 кг N ежегодно) . . .	34,8	35,7	35,4	28,5	39,3
Урожай по сульфату аммония (161 кг N ежегодно) на фоне PK	36,6	39,7	36,0	32,2	38,2

Если этот опыт, как и опыт с ячменем, не пригоден для установления коэфициента использования азота навоза благодаря ненормально высоким дозам (35 т навоза ежегодно), то он пригоден как пример успешной культуры без внесения со стороны органических веществ в течение достаточно долгого времени. Но при этом остается неизвестным, в чем причина такого результата, в том ли, что на почвах с хорошо развитым поглощающим комплексом, достаточно насыщенным кальцием, органическое вещество навоза вообще не имеет того значения, какое ему приписывают (экстраполируя от наблюдений над почвами с мало развитым поглощающим комплексом), или его отсутствие было компенсировано действием органического вещества корневой массы; так как количество органического вещества почвы конечно сильно возрастает и на делянках с чисто минеральным удобрением при высоком уровне урожаев, то это не есть опыт культуры без органического вещества вообще, из него нельзя сделать какого-либо общего заключения о влиянии самого органического вещества, ибо последнее создавалось самими растениями, что и мешает считать в данном случае и других, ему подобных, органическое вещество навоза испытуемым фактором (Differenz-Düngung) [2].

[1] По определениям, произведенным в Германии в 80-х годах, когда урожаи составляли около $^2/_3$ от современной высоты.

[2] Мы взяли данные за 40 лет, а не за 90 (ибо в 1933 г. ротамстедским опытам исполнилось 90 лет), так как старые схемы 1843 г. при их применении в течение столь долгого времени ведут к побочным неблагоприятным последствиям благодаря тому, что в момент

Итак задача учесть положительную роль органического вещества навоза при дозах его, обычных в полевой обстановке, не поддается разрешению путем простого сравнения действия на урожай навоза и соответственного количества питательных веществ в минеральных удобрениях [1]. Иначе обстоит дело при одновременном внесении с навозом больших доз минеральных удобрений, какое принято в садово-огородных культурах; там роль органического вещества навоза как разностороннего буфера выступает с ясностью, как это было отмечено выше. Тем не менее датский опыт и в полевой обстановке заслуживает повторения в иных климатических и почвенных условиях, например на богатых солями почвах Средней Азии, где может играть роль еще одна сторона, именно возможность давать в органическом веществе (навозе, жмыхе, корневых остатках люцерны) значительные количества азота без того повышения концентрации раствора, какое вызывается удобрением аммиачными солями и селитрой и без обогащения почвы ненужными анионами и катионами.

закладки опытов (1843) не было известно многое, что известно теперь, и попутно с главной целью (внесение вместе с азотом необходимых для растений минеральных веществ) получился невольный опыт по влиянию изменения состава поглощенных катионов на свойства почвы и урожай растения. Дело в том, что в состав «минерального удобрения» были тогда включены и ненужные соли, как Na_2SO_4, что вместе с ежегодным внесением $(NH_4)_2SO_4$, $MgSO_4$ и K_2SO_4 должно было способствовать обеднению почвы поглощенным кальцием и кроме того сдвигу реакции в кислую сторону, так как ежегодная обработка почвы $(NH_4)_2SO_4$ превращается в обработку ее H_2SO_4 вследствие вмешательства как культурного растения, так и микроорганизмов почвы, потребляющих аммиак или обращающих его в азотную кислоту. На делянке же с навозом не только отсутствовало внесение натрия, отсутствовало обогащение почвы ионом SO_4, вносившимся с Na_2SO_4, $(NH_4)_2SO_4$ и $MgSO_4$, но еще ежегодно вносились значительные количества кальция в золе самого навоза. Поэтому можно только удивляться превосходным свойствам ротамстедской почвы (обилию поглощенных оснований, высокой буферности и пр.), позволившим ей в течение почти полустолетия выносить этот опыт по вытеснению кальция из поглощающего комплекса без снижения урожаев против навоза, да и через 75—90 лет снижение это было все еще не очень значительным, тогда как на почвах с не столь развитым поглощающим комплексом и более бедных основаниями действие $(NH_4)_2SO_4$ через 15 лет может стать отрицательным (см. приведенные на стр. 111 данные опытов в Вобурне).

[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 трудно растворимые, то автором была высказана мысль (1927), 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 пожнивно 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; при этом следует испытать различные, в том числе наименее желательные комбинации удобрения, например с избытком физиологически кислых солей; тогда может быть удастся учесть влияние органического вещества не только там, где вносятся особенно большие количества удобрений (садово-огородные культуры), но и в полевой обстановке.

Применение навоза в разных зонах Союза; размеры его действия

Если взять данные о количестве фактически собираемого навоза (что не совпадает с подсчетом по количеству скота ввиду иного отношения к навозу на юго-востоке, чем в подзолистой полосе) и ограничиться только европейской частью Союза, то по названным зонам имеем такие данные (1926—1927 гг.) [1].

Зоны	Подзолистая	Лесостепная	Степная	Юго-восточная
Собирается навоза на голову (т/га)	6,3	5,0	3,4	2,1
Общая масса собираемого навоза (тыс. т)	135,072	81,396	62,545	1,630
Процент использования навоза на удобрение	99	87	25	4
Посевная площадь (тыс. га)	17 412	26 225	32 275	837
Собирается навоза на гектар посевной площади (т)	7,8	3,1	1,9	1,9
Применяется на гектар (т) [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, так как потребность в навозе в зоне давно распаханной лесостепи ясно выражена. В степной полосе мы имеем дело уже с резким снижением доли навоза, идущей на удобрение; большая часть его здесь сжигается на топливо ввиду острой потребности в последнем и менее выраженной потребности почвы в удобрении. Наконец на юго-востоке навоз применяется в сущности только на поливных землях, преимущественно на огородной культуре, большая часть его сжигается и еще большая просто не собирается.

Главная масса навоза (около $52^0/_0$) вносится в паровом клину под озими, около $21^0/_0$ идет под яровые и $27^0/_0$ потребляют приусадебные культуры (огороды, конопляники). Но встречаются местные исключения: так на севере сильно удобряют яровые, и например в области Коми только $4^0/_0$ от применяемого навоза идет под озимь, главным же образом удобряют навозом ячмень, имеющий там большое пищевое значение («северная пшеница») и занимающий $68^0/_0$ посевной площади, то же относится к другим районам крайнего распространения земледелия на севере, но южнее (например в Шенкурском районе) уже много навоза берет и озимый клин. В крупных чертах распределение навоза между озимым, яровым и приусадебным клином таково (см. табл. на стр. 284).

При этом в подзолистой зоне удобряется $55^0/_0$ паровой площади, в лесостепи — $7{,}4^0/_0$ и в степной — $1{,}0^0/_0$.

Размер действия навоза также весьма различен

[1] Статья Кирьянова «Удобрение и урожай», 1929, № 2.

[2] Так как в эту среднюю цифру вошли сады, огороды и конопляники, то по ней нельзя еще судить об обеспеченности навозом полевых посевов.

Зоны	Озимый клин		Яровой клин		Приусадебный клин	
	% от всего навоза	Обеспечено 1 га	% от всего навоза	Обеспечено 1 га	% от всего навоза	Обеспечено 1 га
Подзолистая	66,6	13 т	21,6	3 т	11,8	26 т
Лесостепная	44,3	3 »	20,3	1 »	34,9	10 »
Степная	18,9	0,3»	17,0	0,15 »	64,1	5 »
Юго-восток	—	0 »	0	0 »	100,0	9 »

по разным почвенным зонам и даже на том же типе почвы, смотря по давности введения ее в культуру, в севооборот, по частоте повторения навозного удобрения и другим условиям. В общем наиболее резкое положительное действие имеем в нечерноземной полосе (причем продолжительность действия в общем уменьшается по направлению к северу), хотя не столь резкое, но продолжительное действие наблюдается в средней части черноземной полосы, слабое действие или его отсутствие характеризует те части степной полосы, где культура еще очень молода и урожаи (в среднем за ряд лет) невысоки вследствие засушливости климата: в этих условиях встречаются случаи и отрицательного действия навоза [1].

Сообразно сказанному на Шатиловской опытной станции наблюдались приросты урожая в 7—11 ц/га, на Плотянской станции — не выше 7 ц, в Змиеве — 4,5 ц, в Золотоноше — 3,5 ц, в Херсоне преобладало отрицательное действие навоза на озими, на Донском опытном поле наблюдалось отрицательное действие на ранних парах и положительное на поздних. На севере относительный прирост может подниматься до 100% (в отдельных случаях и выше). Вот несколько примеров из данных опытных станций для разных зон (см. табл. на стр. 285, вверху) [2].

Такие цифры имеют конечно лишь некоторое ориентировочное значение, так как помимо разного абсолютного значения той же процентной прибавки для разных мест в одном и том же месте размер прибавки 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. Как крайний случай этого влияния фона могут быть приведены данные опытов в Ротамстеде (непрерывная культура ячменя):

[1] Границу области, в которой применение навоза является ненужным (или даже вредным), нельзя считать чем-то постоянным — она постепенно передвигалась во времени от ЦЧО к юго-востоку. Так во времена Иоанна Грозного безнавозное хозяйство господствовало в Рязанской губернии, как о том свидетельствует очевидец, описывающий эту богатую область — «ворота земли Русской и Москвы»: «Земля тучна; при высеве небольшого количества зерна у крестьянина еле-еле хватает сил, чтобы собрать урожай. Весь навоз свозится к рекам, и когда сходит снег и прибывает вода, то навоз уносится водой». А сто лет тому назад навозное удобрение в Харьковской губернии считалось вредным, теперь же внесение навоза действует сильнее, чем ранняя вспашка пара, и область безнавозного хозяйства отодвинулась в Заволжье и Казакстан.

[2] См. сводку в «Вестнике сельского хозяйства», 1926 г., № 3.

Нечерноземная полоса		Чернозем (преимущественно лесостепь)		Степной юго-восток	
Опытные учреждения	Прибавка в %	Опытные учреждения	Прибавка в %	Опытные учреждения	Прибавка в %
Новозыбковск. оп. станция	93	Орловское опыт. поле	81	Чишминская станция	31
Московская обл. станция	81	Елецкое оп. поле	40	Новоузенское оп. поле	12
Княжедворск. (Западная обл.)	78	Носовская станция	41	Безенчукская станция	11
Могилевское опыт. поле	70	Плотянская станция	45	Тамбовская станция	2
Тульское	65	Харьковская станция	33	Вольское оп. поле	
Энгельгардт. станция	61	Сумская станция	22	Анненская станция	1
Москов. картоф.	59	Воронежская станция	12	Сердобск. оп. поле	1
Владимирская	39	Полтавская станция	12	Саратовск. опыт. станция	2
Радомысльск. ст.	32	Верхнеднепровская станция	12		
Среднее для нечернозема (опыт на 16 оп. ст.)	59,9	Сеть свеклосахарных хозяйств	11	Среднее для 8 станций (40 случаев)	6,0
		Среднее по 25 станциям (161 опыт)	30,3		

	1852—1861	1862—1871	1872—1881	1882—1891	1892—1901	1902—1911
Уровень урожая без навоза	12,1	9,4	7,4	6,8	4,4	5,0
По навозу	24,2	27,7	27,0	25,6	23,8	23,8
Прибавка урожая от навоза	12,1	18,3	19,6	18,8	18,4	18,8
То же в процентах	100	195	—	—	—	376

Если цифра урожаев без удобрения для последнего периода (5 ц/га) является исключительно низкой, то нужно не упускать из вида, что цифра четвертого десятилетия этого опыта (1882—1891 гг.) близка к нашему среднему урожаю, поэтому такие данные для нас представляют больший интерес, чем для самой Англии. 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 двадцатилетний перерыв во внесении навоза.

Естественно, что при постановке опытов относительно размера действия навоза на землях, плохо удобрявшихся, действие навоза в 1-й 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 (в центнерах):

Почвы, переходные к серым землям			Суглинки		
Урожай без навоза	Прибавка абсолют.	То же в %	Урожай без навоза	Прибавка абсолют.	То же в %
8	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, выше и ниже этих величин абсолютный прирост падает (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/га; но обычно 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 крайней мере двум третям от действия 36 т; так для Московской области наблюдались такие приросты (среднее из данных 3 опытных полей):

Дано навоза	18 т/га	36 т/га
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 на меньшей площади выгоднее, чем 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), т. е. два раза в трехпольном севообороте.

Резким контрастом к этим 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 (см. табл. на стр. 287).

В этих условиях конечно выгоднее удобрить большую площадь 18 т, чем повышать норму навоза, сокращая площадь.

	Без навоза	Навоз	
		18 т	27 т
Урожай корней (в ц/га)	347	438	494
Процент сахара	18,1	18,4	18,0
Урожай сахара (в ц)	60	80	82,9

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 или 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; также при посевах люпина сравнительно небольшие количества навоза (10 т) сильно стимулируют развитие клубеньков на корнях люпина, поэтому совместное действие такой дозы навоза и люпинового удобрения оказывается более высоким, чем сумма действий навоза и люпина, применяемых порознь.

Кроме природных свойств почвы и степени ее «заправленности» 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 т навоза и повышение доз навоза выше 24 т уже дает небольшие прибавки или вовсе их не дает, как это видно например из следующих данных:

	Внесено навоза					
	0 т	9 т	12 т	18 т	27 т	36 т
Опытные поля Московск. обл. { Мишенское	4,8	—	7,0	8,3	10,1	10,3
Московск. обл. { Яснополь-кое [1]	9,0	—	20,0	14,0	16,0	16,5
Симбилеевское (Горьковский край)	16,3	18,1	—	21,2	22,5	23,7
Харьковская опытная станция [2]	17,3	20,6	—	21,5	23,3	23,4

Картофель на черноземных почвах дает подобный результат, но на почвах нечерноземных и особенно на песках реакция на увеличение дозы навоза получается весьма значительная [3].

	Без навоза	18 т	36 т
Среднее для черноземной полосы	98	130,8	124,8
Для нечернозема (кроме песков)	103,8	133,2	165,6
Песчаные почвы	36	62,8	103,8

[1] Геркен, Эффект навоза в ЦЧО. «Труды Моск. обл. с.-х. станции», 1927 г.
[2] Рождественский и Заславский, Главные выводы за 1913—1923 гг. (1924).
[3] Данные для картофеля, конопли и корнеплодов взяты из справочников по соответственным культурам, изданных ВИУА и НИУ (1932 г.).

На песчаных почвах очевидно и дальнейшее увеличение дозы навоза дало бы заметный эффект.

Конопля обнаруживает прирост урожая при еще большем повышении доз; то же относится и к корнеплодам:

Навоз (в т)	0	18	36	54	60
Конопля (ЦЧО)	30	(38)	41,7	—	46,6 ц соломы
Кормов. свекла (Моск. ст.)	—	218	305	400	— корней
Брюква	—	312	408	477	—
Турнепс	—	357	427	459	—

Наконец в огородной культуре еще большие дозы навоза могут оплачиваться продолжающимся приростом урожая; вот примеры из опытов ВНИОХ:

		0	36	54	72 т навоза
Капуста (в ц)	Моск. ст. (сильно оподз. сугл.)	36,3	57,1	74,8	85,8
	Туркест. ст. (серозем) . .	105,8	155,2	—	217,0
	Огурцы (Кунц. оп. поле).	150,1	224,9	—	241,1

(См. рис. 37).

Влияние времени внесения навоза. Сравнение осеннего и весеннего внесения навоза дает различные результаты,

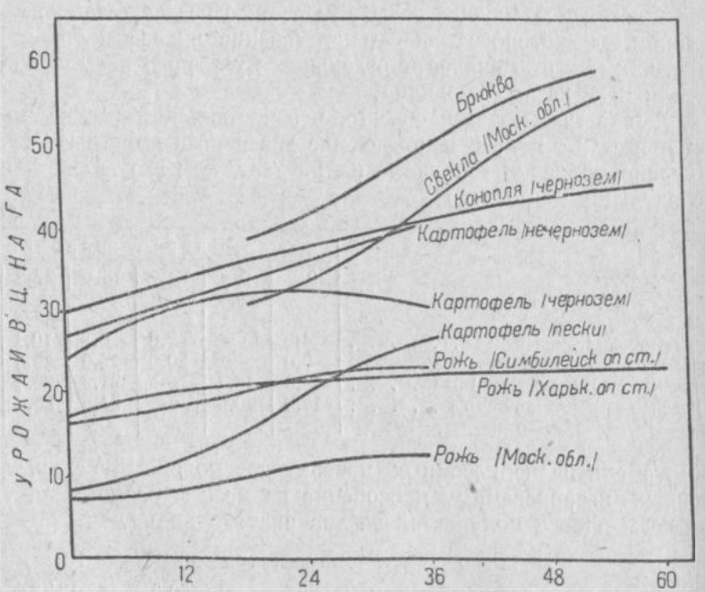


Рис. 37. Действие возрастающих доз навоза (12—60 т.) на различные культуры.

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):

	Урожай озими	
	при весеннем внесении	при осеннем внесении
На песчаной почве	100	86
» суглинке	100	93

Так как из других опытов было известно, 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 (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 получены были такие результаты:

	50 т		70 т	
Внесено навоза	осенью	весной	осенью	весной
Урожай соломы (в ц/га) .	28,4	24,6	32,6	25,6
» семян » » .	5,4	1,5	4,4	2,6

Таким образом влияние времени внесения навоза для нашей черноземной полосы при удобрении конопли было прямо противоположным тому, какое наблюдалось в климате Дании при удобрении озими. Условия, подобные датским, могут встречаться в песчаных районах севера (например в Шенкурске), где хотя зимой вымывание не происходит (почва замерзает), но зато остальное время испарение ниже, чем в Дании (тепла меньше), а влагоемкость почвы так мала, что не только внесение навоза в черном пару с осени, но вообще чистые пары становятся сомнительным мероприятием.

Вопрос о последействии 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% [1].

На черноземе наблюдается более растянутое действие навоза; так на Плотянской станции урожаи для трех последовательных культур изменялись так (в ц/га):

[1] 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.

	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 хлеб было большим, чем на первый, это объясняется тем, что на богатых почвах озимь, которой предшествует пар, вообще 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).

	Количество навоза (в т)				
	0	9	18	36	54
Урожай ржи	17,3	20,6	21,5	23,3	23,5
Сумма урожаев двух яровых (пшен. и ячменя)	17,8	19,5	22,0	26,1	29,0
Прирост урожая яровых	—	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 в количестве 36 т на га, но на данном поле после 1871 г. внесение удобрений было прекращено, и в последующие годы мы имеем такой ход падения урожаев:

Навоз до 1871 г.	Без навоза					
	1872—1874	1875—1877	1878—1883	1884—1889	1890—1896	1897—1900
Средний урожай = 31,0 ц	26,9	20,2	18,3	13,5	15,5	11,2
Без удобрения с 1852 г. (в ц/га)	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 и для другого растения и на другом поле), именно пшеница получала ежегодно минеральное удобрение в течение 13 лет (1852—1864 включительно) при дозе сернокислого аммония, отвечающей 215 кг N на гектар, по прекращении удобрения падение урожаев выражалось такими цифрами (в ц/га).

	1864	1865	1866	1868—1870	1871—1873	1874—1876	1877—1879	1880—1882	1883—1895	1896
Минер. 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 удобр. 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.

Кроме Англии систематические опыты по изучению последействия навоза велись еще 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.

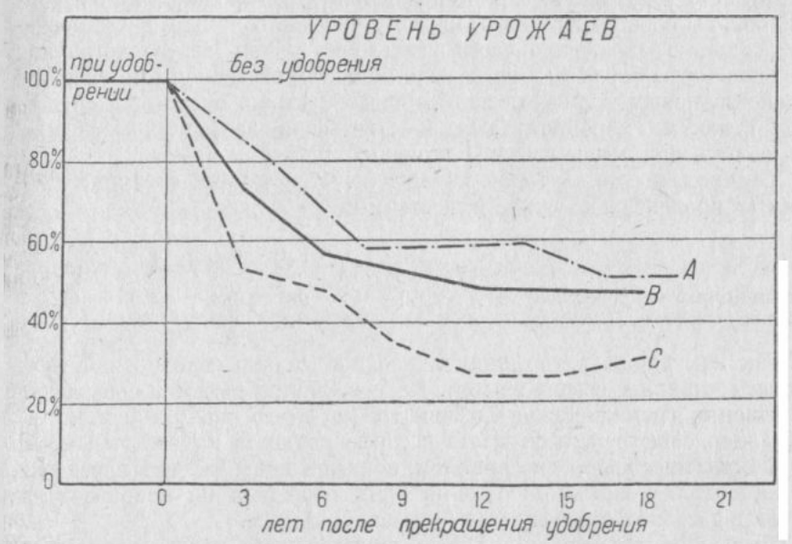


Рис. 38. *A* — падение урожаев после прекращения внесения навоза (Ротамстед); *B* — то же по датским опытам; *C* — падение урожаев после прекращения внесения минеральных удобрений (Ротамстед).

Виды почв	Постоянный уровень при навозе	Без навоза				Постоянный уровень следующих лет
		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
На песчаной почве	31,5	19,7	15,7	14,1	12,9	10,7

Автор датского отчета Иверсен отмечает, что кроме остатков удобрения в почве сама корневая система каждого предыдущего урожая составляет заметную составную часть того, что называется «старой силой почвы», так как при разложении корневой массы освобождаются питательные вещества, используемые следующим урожаем.

2. ТОРФ

Об использовании торфа для приготовления навоза под скотом и без скота (искусственный навоз)

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):

	N	P_2O_5	K_2O	CaO	Всей золы	Органич. вещества
Моховые (верховые) торфяники . . .	1,0	0,1	0,2	0,4	4,9	95,1
Луговые (низовые)	2,8	0,4	0,2	2,0	12,9	87,1

Так как площадь торфяников в одной только европейской части Союза составляет свыше 22 млн. га, и в Сибири имеются совершенно неучтенные громаднейшие массивы торфа (что-то около 100 млн. га), то 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 районах.

Торф является материалом для приготовления навоза уже в том случае, если его применяют в подстилку, притом нередко в количествах больших, чем это требуется по соображениям животноводства; но и [illegible] готовить удобрение, подобное навозу, если нейтрализовать кислоты торфа, добавить недостающие вещества и, заразивши микроорганизмами, вызвать в нем аэробные процессы разложения с образованием аммиака и отчасти нитратов («проведение через компостную кучу»). Реже возможно непосредственное применение торфа на удобрение.

При применении торфа в подстилку приходится различать два рода случаев: 1) торфяная подстилка покупается 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).

Это есть путь введения в хозяйственный круговорот новых количеств азота со стороны (в отличие от азота соломы, взятого из почвы тех же полей, урожай которых хотят повысить); 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 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 устраняет главный источник потерь азота в навозе — улетучивание аммиака; 3) точно так же устраняются потери от стекания навозной жижи, наиболее богатой растворимыми азотистыми соединениями (по сравнению с соломой и калом). 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; применяя торф, мы устраняем существенное возражение против хранения под скотом, выдвигаемое со стороны зоогигиены; в качестве примера могут быть приведены следующие цифры:

	Содержание аммиака в воздухе (миллиграммы на литр)	
	Соломенная подстилка	Торфяная подстилка [1]
1-й день	—	0
2-й »	0,27	0
3-й »	0,42	0
4-й »	0,33	0
5-й »	0,42	0

При соломенной подстилке потери азота достигают в короткое время 20—30%, и это в культурных хозяйствах; у нас при экстенсивном хозяйстве они конечно гораздо больше; насколько введение торфа способно уменьшить эти потери, видно из следующего опыта Feilitzena (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

[1] Цифры взяты из опытов, произведенных по поручению Института по удобрениям Болсуновским и Купреенко.

Затем навоз хранился 3½ месяца и за это время вновь наблюдались потери (в процентах):

	Всего азота	Азот аммиака
В случае соломы	20	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* (потерь при хранении меньше как на сырое, так и на сухое вещество).

Так как торфяной навоз при укладке на гноище 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 Feilitzena 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/га) получены были такие урожаи вико-овсяного сена (в ц/га):

Без удобрения	39,2
Навоз обыкновенный	49,6
Навоз 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) мы имеем в торфе 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].

[1] См. работы Якушкина и Константинова в XI томе «Отчетов вегетационных опытов» и др.

Урожай (в процентах)

	Без удобрения	Навоз обыкновен.	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.

Внесено навоза (в т на 1 га)		15	27	36
Прирост урожая (в ц на 1 га)	обыкновенный навоз	10,4	28,2	26,2
	торфяной навоз	50,7	51,1	77,7[1]

В согласии с этим стоят данные о ходе нитрификации в почве при внесении того и другого вида навоза (в мг на 1 кг почвы):

	Содержание нитратов		
	Без удобрения	Обыкновен. навоз	Торфяной навоз
Мая 16	7,4	5,6	5,3
Июня 6	16,6	20,0	30,2
» 26	31,4	27,6	45,9
Июля 27	28,0	50,0	70,9[2]

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); 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 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. Но в литературе трудно найти *прямые опыты*, в которых было бы учтено участие азота торфа в образовании урожая непосредственным анализом последнего; поэтому приведем некоторые данные, полученные в нашей лаборатории, непосредственно подтверждающие указанное участие.

Прежде считали, что азот мохового торфа, идущего чаще всего в подстилку, особенно трудно доступен, луговой же торф легко разлагается; однако уже самый факт успешного развития растений на

[1] Якушкин, Обзор опытов с торфом за 1914—1916 гг. «Известия Петровской академии», 1918 г.

[2] Куприенко, в XII т. «Трудов кафедры Частного земледелия Петровской академии».

осушенных торфяниках говорит против неусвояемости азота торфа, так в 1920 г. у нас наблюдался в вегетационных опытах хороший рост льна и конопли на моховом торфе (из Завидова) без внесения азотистых удобрений; внесение извести и золы делало этот рост еще более пышным (в граммах):

	Без удобрения	Известь	Зола
Урожай конопли (сухого вещества) на 1 сосуд	19,2	39,3	52,1
Урожай льна	12,4	21,1	21,0

Подобные же данные получены в 1921 г.; так как азота извне не вводилось, то очевидно азот торфа участвовал в питании растений.

В другом ряде опытов тот же моховый торф прибавлялся к почве как источник азота, причем на 10 кг почвы было дано 240 г торфа [1]; получились следующие урожаи клубней картофеля на сосуд (в граммах):

Без азота	205,2
Торф	276,5
Торф и зола	317,3
Селитра	298,9

В опытах Купреенко с овсом произведены были определения азота в урожаях, которые говорят за значительное использование азота торфа (того же образца) при прямом внесении его в почву (калий и фосфор даны везде):

	Без азота	Торф			Селитра 3 г
		60 г	120 г	240 г	
Азот в урожае на сосуд .	170 мг	263 мг	389 мг	508 мг	640 мг

Здесь имело место крупное заимствование азота из продуктов разложения торфа (до 17% от всего N торфа).

Последующие работы Логвиновой, произведенные в лаборатории автора и затем в НИУ [2], показали, что в моховых торфах содержится готовый аммиак (11—16% от всего азота, иногда свыше 20%), но он прочно связан ацидоидами торфа и не переходит в водную вытяжку, почему его прежде и не замечали; при вытеснении же его солями (или HCl 0,05 n) можно обнаружить, что в моховых торфах на азот поглощенного аммиака приходится около $^1/_6$ или $^1/_7$ от общего азота, и потому при смешении торфа с золой или известью этот глубоко сидящий в поглощающем комплексе аммиак освобождается тотчас независимо от биологических процессов, остальной же азот, входящий в состав органических соединений, конечно может переходить в усвояемые формы лишь постепенно, под влиянием впоследствии постепенно развивающихся процессов разложения органического вещества при участии микроорганизмов. Низовые же торфа, хотя и отличаются отсутствием таких значительных долей аммиачного азота, но в них органическое вещество вообще легче поддается разложению и оно значительно богаче азотом, чем в моховых торфах.

[1] Калийно-фосфатное удобрение получили все сосуды: торф содержал 0,8% N.
[2] Логвинова, Торф как источник азота, «Труды НИУ», вып. 56, 1929 г.

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 экономить на торфе не следует, а то, что Sphagnum беден азотом и не подвергся разложению, есть его недостаток (с точки зрения фабрикации 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 меняться (или добавляться) чаще, торф оставаться дольше — включительно до бессменного пребывания в слое 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 описаниях способа Sohxlet'a) [1].

Количество торфяной подстилки бывает весьма различным сообразно сказанному выше.

При ставке на минимум исходят из расчета влагоемкости подстилки, делая поправку затем с точки зрения заботы о чистоте ложа; поэтому рекомендуется давать в сутки: коровам — 4—5; лошадям — 3—4, овцам — 0,5, свиньям — 1—2 кг.

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 плотноутрамбованного торфа с тем, что этот торф остается на 6—9 (иногда на 12) 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 применить торф в разнообразной форме — будет ли это войлочный торф или торфяная мелочь, торф, добытый фрезеровальной машиной или нарезанный железной лопатой, даже прессованный торф и высушенный торф — все может быть использовано в подходящей форме применения [2]. В этих случаях сглаживается преимущество мохового торфа, потому что при большой массе всякий торф будет хорошо поглощать жижу,

[1] Сюда относятся: 1) способ Гарденина, когда четырехугольное углубление около задних ног животного, наполненное торфом, накрывается крышкой (дешевого устройства) из дерева, проницаемой для навозной жижи; 2) подобная же цель достигается в некоторых свинарниках 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 кала и соломы).
[2] Например торфяные «кирпичи» при выстилке ими пола могут хорошо впитывать жижу, просачивающуюся через соломенную подстилку.

а тогда приобретают интерес виды торфа, наиболее богатые азотом, т. е. низовые торфа. Кроме большого богатства азотом и того обстоятельства, что вся их масса легче переходит в разложение, чем моховый торф, необходимо отметить для низовых торфов еще то преимущество перед моховыми, что они гораздо богаче золой (в том числе соединениями фосфора и кальция). В случае же введения в подстилку очень больших количеств мохового 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).

Типичным примером использования торфа для приготовления навоза может служить хозяйство шенкурских крестьян (б. Архангельской губ.); песчаная почва, на которой не растет клевер, требует больших количеств навоза, а при недостатке кормов его количество было бы совершенно ничтожным, 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 — это азот торфа! Благодаря торфу (и отсутствию засухи) урожаи на песках Шенкурского района в среднем выше, чем на черноземах Поволжья. Практика перехода от азотистых веществ торфа к азоту хлеба описывается различно; приведем несколько случаев:

1) «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 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, следовательно дважды в трехлетие), объясняются не только бедностью песчаной почвы, но и сильным вымыванием питательных веществ, благодаря малому испарению в северном климате. Поэтому чистые пары, распространенные у шенкурских крестьян, в тех условиях не являются рациональными — песчаные почвы во влажных климатах по возможности не следует оставлять без растений в безморозное время [1].

[1] Виковый пар на севере может встречать препятствие в краткости вегетационного периода, поэтому интересно испытать финляндский вариант викового пара: весной вика высевается вместе с озимой рожью (можно прибавить немного овса); после уборки вики на сено 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 двухполье без пара—картофель, ячмень (частью горох и пр.) 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 и в Сибири), заменяющие белый хлеб, отчего шенкурцы и называют ячмень: «наша северная пшеница», но на севере встречается также и культура яровой пшеницы.

При описанном способе в стойлах может иметь место слишком медленное промачивание глубоких слоев торфа, тогда часть его остается неразложившейся (особенно в случае мохового торфа) [1], поэтому представляет интерес описание другого способа, а именно:

«Нарезанные кирпичи торфа моховой подстилки выдерживаются в куче на усадьбе месяца 2—3, затем идут малыми порциями в подстилку скоту; по мере загрязнения одного слоя подстилки прибавляется новый и т. д.». «Навоз получается прекрасного качества, что сказывается положительным образом и на урожаях» [2].

Наиболее же распространенным является третий способ, который однако является весьма несовершенным, — это возка торфа прямо в скотные дворы из плохо осушенных низовых болот (вообще низовой 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 песчаных пространств, к которым часто примыкают торфяные болота.

Но при проведении осушки болот не отдельными селениями, а в качестве планового государственного мероприятия (с применением экскаваторов и пр.) может явиться вопрос — не целесообразнее ли в некоторых случаях вместо того, чтобы возить торф на пашню, самую пашню перенести на осушенное болото, чтобы полнее использовать его азот, а песчаные пространства, которыми так богат Шенкурский район (и многие другие районы), обратить в культуры более дешевым способом азотирования, а именно создавая залежи 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 «клеверных» почв, как это сделал однолетний люпин у Шульц-Люпица в Германии. Тогда и пески, и подзолы, и болота можно будет использовать в широкой мере, чтобы 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.

[1] 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 всю толщу, то слои будут более или менее перемешаны.

[2] Куприянов и Розанов. Сравнительная характеристика разных способов использования торфа на удобрение в Шенкурском районе. Труды Ц. торфяной станции, вып. III, 1930 г.

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 аэробного 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 низовым (луговым) торфом, более богатым золой, то нередко достаточно только заботы об инфицировании и аэрации, чтобы через некоторое время получить материал, близкий по составу к навозу; при моховом торфе приходится больше заботиться об устранении кислотности и пополнении недостатка минеральных веществ.

Превосходным способом пополнять недостаток калия, извести (и отчасти фосфора) в торфе является введение 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 испытания 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 (если потом смешать его с должным количеством кислого торфа и инфицировать, то можно ожидать энергичной аммонизации и нитрификации). 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 нельзя сразу соединять различных задач в одном и том же компосте.

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 качестве примера удачного применения «биологического компостирования» торфа приведем результаты одного опыта Rippert'а [1]. Низовой торф, хорошо разложившийся, после измельчения увлажнялся раствором, содержащим 2,5% K_2CO_3 и 5% патоки (патока содержала 1,52% N); к этому примешивалось немного плодородной земли, богатой бактериями; все это перемешивалось и оставлялось лежать в куче с 1 июля 1917 г. до марта 1918 г.; сначала бурное брожение вызвало разогревание кучи, затем по сбраживании сахара температура понизилась; периодически производилось перелопачивание кучи и увлажнение в меру надобности. Весной 1918 г. был поставлен опыт с удобрением под картофель на почве, очень бедной азотом. Результат был следующий:

Урожай клубней (в пересчете на 1 га)

Без азота	120 ц
10 т	150 »
20 т	380 »

Отметим только, что выгоднее брать золу, чем поташ, ибо с ней дается фосфор и известь; в качестве возбудителя брожения моча (или смесь экскрементов) точно так же чаще найдет применение, чем патока. При менее разложившихся видах торфа, менее богатых азотом, и при почвах, бедных перегноем, можно ожидать хорошего результата от двойных количеств компоста по сравнению с взятым в приведенном опыте.

Непосредственное применение торфа на удобрение

Чаще для этой цели применяется луговой торф, чем моховый, так как луговые (низовые) торфа обычно не имеют той сильно выраженной кислой реакции, какая свойственна моховым торфам; они богаче зольными веществами и азотом, но азот этот лишь в небольших количествах переходит в усвояемые соединения, поэтому нужны значительные количества торфа, и тогда действие их является многолетним. На Новозыбковской станции наблюдалось такое действие возрастающих доз лугового торфа на рожь и картофель (почва песчаная).

Культуры	Количество торфа (в тоннах)					
	0	18	36	54	72	108
Рожь (1-й год действия) (в ц)	5,5	8,4	11,1	12,8	13,6	17,1
Картофель (2-й год действия) (в ц)	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:

	Внесено удобрения (в т)			
	0	18	36	54
По навозу	132	152	157	—
По торфу	132	139	146	155

[1] Bied. Centralbl. 1921 г., стр. 47. Rippert ставил задачей получение торфяного компоста, более богатого и сильнее действующего, чем навоз.

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 почти нет, 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 куб. м 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 может быть хорошим средством мелиорации как бедных песчаных, так и тяжелых глинистых почв. Реже применяется на удобрение моховый торф. Кроме более кислой реакции он отличается от лугового большим содержанием неразложившихся углеводов (клетчатки и пентозанов) и меньшим содержанием азота. Правда, часть этого азота находится в форме аммиака, поглощенного ацидоидами торфа, и в этом отличие *моховых торфов от низовых*; так например в процентах от общего азота приходилось на аммиачный азот:

Моховые торфа		Луговые торфа	
Завидово	19,6	Бисерово	1,3
Алферово	14,1	Болшево	1,4

Этот поглощенный аммиак в случае наличности в почве оснований для нейтрализации ацидоидов торфа становится доступным растениям в первый же год, но дальше приходится считаться с тем обстоятельством, что не только остальной азот прочно связан с органическим веществом, но обилие безазотистых веществ (клетчатки и пентозанов) в моховом торфе может оказывать отрицательное действие тогда, когда они под влиянием микроорганизмов почвы начинают разлагаться; поэтому возможны случаи, что вслед за положительным действием внесения мохового торфа в первый год в следующие годы наступает отрицательное действие или отсутствие всякого действия, в то время как в случае внесения значительных количеств лугового торфа действие его на второй и третий годы усиливается по сравнению с первым годом [1].

Поэтому моховый торф лучше применять в подстилку или подготовлять длительным компостированием (с известью или фосфоритом, с золой, с городскими отбросами), прежде чем выносить в качестве удобрения.

3. СМЕШАННЫЙ КОМПОСТ КАК СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТБРОСОВ УСАДЬБЫ

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, 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 устройстве компоста.

[1] См. Логвинова. Использование торфа в сельском хозяйстве, «Труды НИУ», вып. 104, 1933 г.

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 2,0% азота (кроме того указывают, что уличная и дорожная пыль содержит еще некоторое количество калия, получающегося из обломков камней с шоссе, но усвояемость этого K_2O 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 разлагающихся, 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 или 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 и простирается от нескольких месяцев до 1 года. Критерием спелости обычно является однородность компостной массы.

Компост является довольно универсальным удобрением. Применяемый чаще всего в садах и огородах, охотно применяется компост 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 скородействующее удобрение, и действие его по большей части ограничивается одним годом (действие торфяного компоста более длительно).

4. ГОРОДСКИЕ НЕЧИСТОТЫ

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 у 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 неперевариме 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 вторые по массе сильно преобладают над первыми в отличие от травоядных. Так для лошади выделения кишок относятся к выделениям почек (сырой массе), как 5:1, а у человека — 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, притом в форме не только растворимой, но пригодной непосредственно для удобрения без дальнейших подготовительных операций [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

[1] Мочевина дает с большой легкостью углекислый аммоний в почве и даже в растении.

Содержание питательных веществ в этих отбросах зависит от рода потребляемой пищи и способа уборки их. Чем лучше пища, тем богаче азотом экскременты, если они одинаковым образом собираются. Мюнц при исследовании отбросов из жилищ зажиточного класса находил азота 0,869%, фосфорной кислоты 0,324%, а из жилищ рабочего населения — азота 0,549, фосфорной кислоты 0.167; калия было в 1½ раза меньше в последнем случае [1].

Но обыкновенно, чем культурнее население, тем больше оно употребляет воды; в таком случае отбросы разжижаются, и получается обратная картина процентного содержания питательных веществ: благодаря значительному количеству прибавляемой к экскрементам воды отбросы классов, лучше питающихся, содержат часто меньше N и P (процентно) благодаря сильному разжижению. Это содержание больших количеств воды в городских отбросах стало на пути осуществления предложения Либиха — возвращать в почву все, взятое из нее, непосредственно используя на удобрение не только навоз, но и выделения человеческого организма; если бы эта идея была осуществлена, то минеральные удобрения требовались бы только единовременно для поднятия урожайности почвы на требуемую высоту, а ежегодный вынос питательных веществ пополнялся бы использованием отбросов. Но низкопроцентность (а потому громоздкость) городских нечистот становилась тем большим препятствием к этому, чем энергичнее шел рост городов, чем на большее расстояние должны были распределяться нечистоты, что и привело в конце концов к системе канализации, т. е. к еще большему обесценению городских отбросов в качестве удобрения. Чтобы показать, о каких количествах питательных веществ идет здесь речь, сделаем подсчет для азота: если в день на человека приходится 14 г азота, это составит около 5 кг азота в год, что *на 160 млн. обитателей нашей страны дает 800 000 тонн азота, что вдвое превышает годичную продукцию азотных заводов Германии*, которая занимает первое место на земном шаре по развитию азотной промышленности.

Так как в нашей стране большинство населения живет в домах, не имеющих канализации, и нечистоты приходится удалять из жилищ путем их вывозки, то вопрос о правильном использовании содержащегося в них азота (и других питательных веществ) заслуживает внимания, тем более, что он может разрешиться одновременно с устранением того зловония, источником которого являются в окрестностях населенных центров места свалки нечистот.

Состав отбросов, употребляемых на удобрение, различен в зависимости от способа уборки их. 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

[1] Насколько состав выделений зависит от условий питания, показывает следующий факт: во время войны в Австрии в связи с недостатком азотистых соединений для военных целей были сделаны попытки добывания аммиака из жидких выделений в местах скопления последних — в русских лагерях пленных. Но при плохом питании содержание азота в моче оказалось в несколько раз ниже нормального, и все расчеты, построенные на средних цифрах, оказались нереальными (Dafert).

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 ящик или железное ведро (двойного диаметра против обычного), вытряхивая содержание в компостную (или навозную) 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 кг):

Торфяная подстилка	82
Торфяной порошок	72
Торфяная крошка	167
Проветренный низовой торф	167

Получаемая при регулярной засыпке уборных торфом масса («торфяно-фекальное» удобрение) применяется на огородах, под коноплю и силосные растения в количестве 15—30 т, под хлеба — 10—12 т/га. Где нет торфа, иногда прибегают для засыпки уборных соломенной резкой; 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].

В 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, 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.

[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 свежими в цементный резервуар, откуда они или поступают в продажу огородникам 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).

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. Используется весьма полно в таких случаях азот (частью в дестилляте, 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 (жмыхи). Подготовленной брожением жидкостью пользуются, поливая ею осенью вспаханные поля (значение брожения прежде преувеличивалось).

Нечистоты представляют удобрение по преимуществу азотистое и могут употребляться под хлеба, травы, прядильные растения, кормовые корнеплоды; под сахарную свеклу их реже употребляют, так же как и под лучшие сорта табака ввиду значительного содержания хлористых солей и избытка азота. Лучше всего употреблять нечистоты под огородные культуры (но не столовый картофель), ввиду трудности доставки водянистых масс на поля. Удобрение это довольно быстро действует, но не надолго и должно повторяться часто. При употреблении экскрементов 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 содержанием поваренной соли (вытеснение кальция); на торфяных почвах, наоборот, они оказывали благоприятное (уплотняющее) влияние.

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 Сену в Париже, или через устье Темзы в море, как в Лондоне. Опыт показал, что такой способ удаления нечистот сильно вре-

дит 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; 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 аммиака, азот 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 вследствие дороговизны земли и самой культуры вблизи больших городов везде цель обезвреживания является первенствующей, а сельскохозяйственная — побочной; так в Париже в год на 1 га этих полей доставляется свыше 50 000 куб. м 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 урожая.

На полях орошения развита главным образом огородная культура; 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 до 100 л жидкости; при расчете площади полей орошения принимают на 350 чел. 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 ввиду 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 огородные 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 скорее 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 благодарными за 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 какого-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 остатков (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.

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 [3].

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 [4] (Alopecurus prat. и Bromus inermis) и древесных насаждений (ива и тополь). Дороговизна земли и большие расходы по культуре

[1] Так Volhard нашел около 1,5% Cl и 0,45% нитратного азота в воздушно-сухой массе (Landw, Vers. Stat. Bd. XV). Довольно большой ряд наблюдений над разными культурами сообщен в статье Jose Gyarfas (Z. f. Versuchswesen in Oesterreich, 1906); своеобразно, между прочим, что по этим наблюдениям люцерна 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.).

[3] См. статьи Селиванова («Записки Ново-Александр. института», т. XI), Бычихина («Записки общества сельского хозяйства южной России», 1893 г.).

[4] См. «Об организации полей орошения г. Москвы», проф. Вильямса (1899 г. и 1901 г.). Об организмах, населяющих загрязненные воды, см. у Никитинского «Биологическое обследование р. Москвы», 1909 г.

заставляют нередко переходить к «биологической очистке» сточных вод (как отчасти делается 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 принадлежит иным факторам, чем заботе об экономном использовании азота, фосфора и калия, извлеченных урожаями из почвы полей и попадающих в городские сточные воды.

КОСВЕННЫЕ УДОБРЕНИЯ

В предыдущем изложении мы приводили уже не мало примеров того, что каждое удобрение после его внесения в почву 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.

Чилисалитра, 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. То же в сущности можно сказать и о всяком другом удобрении. Однако у прямых удобрений на передний план выступает именно их прямое действие, тогда как имеется целая группа удобрений, при внесении которых мы уже заранее рассчитываем именно на те изменения в почве, которые они вызовут и которые для нас существенны в связи с посевом той или иной культуры.

Но это не значит конечно, что все без исключения косвенные удобрения не могут в ряде случаев оказывать и известного прямого действия; важно помнить, что у этих удобрений это прямое действие имеет лишь меньшее и второстепенное значение.

Таким образом к числу косвенных удобрительных средств относятся такие, которые вносятся в почву не с целью прямого обогащения ее элементами пищи растений, но для того, чтобы вызвать в ней ряд изменений, следствием которых является как изменение некоторых общих свойств почвы (реакции, физических свойств и пр.), так и освобождение питательных веществ и переход их в растворимую форму.

1. ПОВАРЕННАЯ СОЛЬ

Наиболее типичным, хотя и потерявшим практическое значение косвенным удобрением можно считать поваренную соль, потому что в составе ее нет элементов, безусловно необходимых для жизни растения. Как таковая поваренная соль теперь редко употребляется на удобрение, но она вносится иногда невольно (например как составная часть соликамских солей), а потому с действием ее нелишне познакомиться и независимо от того, что она является прототипом этой группы удобрений.

Из учения о поглотительной способности почв мы знаем, что при введении соли одного основания в почву вытесняется большее или меньшее количество других оснований из цеолитной части; известно, что можно таким путем даже сполна заместить кальций и калий натрием, если действовать повторно большими количествами солей натрия и удалять прореагировавшую часть раствора. Поэтому внесение солей натрия в почву имеет 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 солей калия в одном случае и раствором солей калия и натрия в смеси — в другом. Если вводить только калий, то он поглощается в верхних слоях почвы, а если примешивать соль натрия, то соли калия проходят в более глубокие слои.

Все утверждения о возможности частичной замены калия натрием основаны или на этом вытеснении калия из мало растворимых соединений почвы или (у многолетних растений) на таком же вытеснении калия натрием в устаревших частях растений и передвижении его к точкам роста, как 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 за счет вытеснения натрием того калия, который находится в стеблевых частях растений в виде мало растворимых, но нестойких соединений, со свойствами, напоминающими положение калия в поглощающем комплексе почвы.

Так как внесение поваренной соли отчасти возмещает калийное удобрение, то это и является главной причиной, почему внесение хлористого натрия вызывает иногда положительные результаты.

Но хлористые соли на многие растения действуют неблагоприятно (особенно картофель); другие растения относятся к нему (в известных пределах) безразлично. Замечено, что более благоприятно действует NaCl на прядильные растения и кормовые травы, это ставят в связь с тем, что это удобрение способствует развитию стеблевых органов (в которых преобладают калийные соли). 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.

К сказанному выше приходится теперь добавить, что в последнее время обнаружены случаи некоторого положительного действия NaCl, не зависящего от косвенного действия на почву, ибо оно проявляется даже в песчаных культурах — это влияние на осмотическое давление питательного раствора; так Тулайковым 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, масел в семенах горчицы путем повышения осмотического давления (до известного предела) с помощью любой безвредной соли

(опыты Перитурина); поэтому возможно, что в прежних опытах с поваренной солью кроме влияния на калийное питание отчасти сказывалось и влияние на осмотическое давление почвенного раствора.

2. ИЗВЕСТЬ

Известь является самым важным из косвенных удобрений, хотя казалось бы и не типичным, так как кальций принадлежит к числу элементов, необходимых для жизни растений. Но дело в том, что помимо непосредственного значения в питании растения известь, внесенная в больших количествах, чем нужно для этой прямой цели, оказывает весьма сложное влияние на почву, причем при умелом ею 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, но так как применение извести требует гораздо больше знаний, чем применение навоза (и даже чем применение селитры и суперфосфата), то в прошлом капризно сменялись удачи и неудачи в применении извести в целях удобрения.

В истории сельского хозяйства разных стран имеется немало примеров коренного улучшения почв и поднятия сельского хозяйства с помощью известкования; но точно так же имеется ряд случаев злоупотребления известкованием в ту эпоху, когда не знали законов питания растений и в деле удобрения почвы шли наощупь.

Так в Англии еще во времена Плиния употреблялся мергель (marga), в котором видели как бы концентрированное богатство почвы — «ее тучность»; о том же есть свидетельства XVI, XVIII столетия (не говоря о XIX).

Англия являлась страной наиболее высоких доз извести и частого повторения известкования, в ней же наиболее проявилось (XIX ст.) то разочарование, которое явилось следствием прежнего непонимания различия между действием извести и навоза на почву, которое за известным пределом уподобляется различию между овсом и кнутом при воздействии на лошадь. Теперь же опытные учреждения Англии (прежде всего Rothamsted) изучают влияние извести во всей его сложности с иной точки зрения и опять придают ей большое значение при улучшении английских почв, устраняя 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 Müntz, автор известной книги Les engrais, описывает резкое превращение хозяйства в деп. Loire et Cher, где раньше существовало трехполье с рожью и гречихой (самыми нетребовательными растениями) под влиянием проведения железной дороги, удешевившей доставку извести: применение последней позволило ввести клевер, раньше неудававшийся, 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 «centure 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 ст., в XVI ст. мергель сплавлялся на судах по Рейну в нижнерейнские провинции; для XVII в. отмечается применение обожженного известняка в целом ряде областей Германии, включая Силезию; на севере применяли луговую известь. Для мергеля (очевидно впервые примененного) 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 нашла распространение обратная формула: «известь обогащает отцов и разоряет детей»; стало ходячим выражением «ausmergeln», т. е. истощить землю повторным мергелеванием [2].

С 80-х годов стали подходить к этому вопросу уже иначе, видя в извести средство оздоровления почвы, создания нормального режима для ряда желательных процессов, средство, которое нужно применять не взамен, а наряду с навозом или азотособирателями и минеральным удобрением.

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 к последующей культуре на этом фоне азотособирателей (бобовых) с внесением калийно-фосфорных 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, Hellriegel 1886) для научного обоснования.

---

[1] См. например обзор в статье Соколовского и других авторов («Сборник по известкованию», изд. НИУ, 1919 г.).

[2] Соответственно этому в Англии говорят: «Lime and lime without manure will make both soil and farmer poor».

Благодаря примеру Шульца в Люпице и инициативе берлинского профессора Orth'а на вопрос об известковании вновь обратили внимание, стали изучать залежи известняков и мергеля, в Германии с.-х. общество стало на выставках демонстрировать материалы по известкованию и выхлопотало понижение ж.-д. 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 жизни Петровской академии (1865) появилась диссертация проф. И. А. Стебута «Известкование почвы», в которой автор между прочим отмечает полное расхождение нашей с.-х. практики с опытами 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. [1] Далее три генерации профессоров-агрохимиков Петроградского земледельческого (впоследствии Лесного) института (Энгельгардт, Костычев, Коссович) останавливались на том же вопросе. А. Н. Энгельгардт, впоследствии невольный хозяин в Батищеве [2], считал известкование (мергелевание) необходимым для получения высоких урожаев клевера на подзолистых почвах (а известно, что за высоким урожаем клевера следует и общий подъем всей продуктивности хозяйства). П. А. Костычев в 80-х 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», том I—VI), исходя из задачи поднятия плодородия почв оподзоленной зоны; кроме того он получил хорошие результаты с применением луговой извести на подзолах быв. Смоленской губ. Одновременно (1897—1898 гг.) начались работы по известкованию и в нашей лаборатории (см. «Результаты вегетационных опытов»). Далее проф. Книрим (Рига) настаивал на более широком применении извести, отдельные опытные станции (Вятская, Запольская, Энгельгардтовская) дали примеры успешного действия извести.

И если прежде русская с.-х. жизнь за исключением некоторых быв. западных губерний оставалась глухой и немой ко всем указаниям на известкование, то причины нужно искать, так же, как и и в случае селитры и калийных солей, прежде всего в области экономических соотношений: в довоенное время хлеб, привозимый с юга и востока, был так дешев, что север сокращал запашку, все более переходя на привозной хлеб, а именно почвы северной России, оподзоленные и заболоченные, прежде всего могут нуждаться в известковании; чернозем же по природе богаче известью. При этом известкование стоило недешево (жженая известь была в продаже 25 коп. пуд, но ее нужно было

[1] Менделеев принимал участие в первых полевых опытах с минеральными удобрениями в России; об извести см. его речь в «Трудах Вольно-экономического общества за 1872 г.».

[2] Он был лишен кафедры и выслан за «неблагонадежность» в Смоленскую губ.

еще везти из города в хозяйство); применение мягких пород, как мергель и луговая известь, встречало препятствие в недостаточном знакомстве с географией известковых отложений и способами их обнаружения и использования, а оно было бы более возможно по крайней мере в непосредственном соседстве с месторождениями.

В послевоенное время север, отрезанный от юга, должен был притти к необходимости поднять земледелие, и мы видим, что вопрос об известковании вновь ставится на очередь. Через полвека после выхода книги проф. И. А. Стебута об известковании директор Московской областной станции А. И. Стебут выдвинул этот вопрос как один из основных в программе работ станции, исходя из мысли, что в деле общего поднятия плодородия северных почв без извести нельзя обойтись; далее этот вопрос нашел отклик в «Трудах НИУ» (тогда — Общественного комитета по делам удобрения), который начал с издания сборника «Известкование почвы» (1919), включающего 19 статей различных авторов [1] по ряду вопросов, связанных с известкованием и служащих хорошей иллюстрацией к положению, что наибольших результатов от известкования нужно ждать тогда, когда одновременно заботятся о внесении в почву как минеральных, так и органического вещества (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 быв. Московской губ. Почва песчаного бугра, лежащего высоко над уровнем р. Нарвы, оподзоленная, легко сплывающаяся, характеризовалась крестьянами как совсем «неродимая 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 этим материалом для улучшения почвенного слоя. Известняк был добыт зимою и сырым был вынесен из штольни на мороз; при замерзании и оттаивании большая часть камней рассыпалась в мелочь, и такой мелочи было вывезено на бугор приблизительно 25 ц/га. Также заблаговременно был нарыт торф и оставлен выветриваться в кучах (с добавлением извести); кроме того часть компоста была приготовлена из лесного сора и кочек, разлагавшихся с известью торфа (или компоста); вывозилось по 16—17 т на га. В результате на этом холме стали получаться хорошие укосы клевера, урожаи картофеля по 12—16 т, овса в 13—20 п, 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 огороду.

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 изу-

[1] Бобко, Брицке, Глинка, Кочетков, Никитинский, Прянишников, Самойлов, Соколовский, Стебут, Стольгане, Фрейман, Шулов, Шустов, Якушкин.

чения 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. Как следовало ожидать, из суммы разносторонних изменений, вызываемых действием извести на почву, слагается различный эффект, от высокого положительного до отрицательного влияния на урожай.

1. 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 в минеральной части поглощающего комплекса, известь устраняет обменную кислотность подзолов и других почв, не насыщенных основаниями (причем гидролитическая кислотность также более или менее убывает), благодаря чему улучшается рост одних растений и становится возможным введение других, раньше на кислой почве неудававшихся; сопровождаемое внесением других удобрений известкование может превращать «ржаные» и «овсяные» почвы в «пшеничные» и «ячменные», позволяет возделывать клевер и люцерну там, где они раньше не росли (так 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.

2. Устранение кислотности помимо значения для самого культурного растения положительно влияет на развитие в почве ряда микроорганизмов, от которых зависит накопление пищи для высших растений. Сюда относятся прежде всего нитрифицирующие бактерии, Nitrosomonas и Nitrobacter, деятельность которых в отсутствие извести задерживается. Известкование же помимо доставления основания для связывания азотистой и азотной кислот еще и повышает разложение 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 аммонизация 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 1-й месяц обратным, но потом процесс нитрификации в первой (известкованной) почве значительно обогнал нитрификацию во второй, не получившей извести. В одном произведенном у нас опыте черноземная почва при внесении умеренных количеств извести (0,2%) обнаружила повышенную нитрификацию 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 3-недельные промежутки [1].

Вот цифры для этого опыта (в миллиграммах):

		Сроки			
		0	3 нед.	6 нед.	9 нед.
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 наклонен был объяснять чисто химическим воздействием на азотистые (органические) вещества почвы, теперь находит объяснение более биологического, чем химического порядка, именно действие жженой извести при больших дозах аналогично той полустерилизации почвы, которую вызывает также сероуглерод, толуол или нагревание до 98°, после чего также замечается повышение плодородия почвы [2]; работы Ротамстедской станции (Russel, Hutschinson и др.) показали, что «полустерилизация» умерщвляет инфузории, амеб и др. 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 (а кроме того в кислых почвах может происходить вытеснение известью готового аммиака, бывшего в поглощенном состоянии), нитрификация же временно замедляется по сравнению с аммонизацией (потому что нитрифицирующие бактерии чувствительнее других), то и наблюдается усиленное образование аммиака, лишь несколько позднее сменяющееся усиленной нитрификацией (также чувствительны к щелочности клубеньковые бактерии, поэтому после излишне сильного удобрения CaO может уменьшаться количество клубеньков на корнях бобовых и является потребность в заражении почвы соответствующими бактериями).

Кроме нитрифицирующих бактерий известь способствует развитию ряда форм, 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.

[1] См. статью автора в журнале «Опытная агрономия». 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 «Опытная агрономия», 1902 г.; также Lemmermann, Landwirt Jahrbucher, 1911 г.).

[2] Это установил Koch (1899), далее Hiltner, Krüger и др.; для чернозема см. работы Коссовича (1904) и Лебедянцева (1917—1918).

Поэтому известкованные почвы с годами относительно обогащаются азотом по сравнению с неизвесткованными.

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).

3. Кроме питания азотом известь может влиять и на те процессы в почве, от которых зависит снабжение культурных растений зольными элементами, именно — граница между элементами «богатства» и элементами «плодородия» почвы может смещаться в сторону последнего. Так на почвах подзолистых известь способствует переходу фосфорной кислоты в 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.

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 слабо щелочной среде, чем в слабо кислой (в отличие от фосфатов кальция); во-вторых, отщепление той части фосфора, которая связана с органическим веществом, также может усиливаться под влиянием известкования в связи с повышением количества водно-растворимых органических веществ за счет нерастворимых.

Кроме фосфора в западной литературе имеются указания также на то, что известь действует благоприятно на переход калия трудно растворимых минералов в более усвояемые формы [1], но применительно к нашим почвам эта сторона вопроса еще мало освещена.

4. Далее 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 потерей строения 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

[1] Кроме прежних опытов Дитриха это следует из опытов Goldschmidt'a и Johnson'a (Христиания, 1922 г.).

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, при удалении извести почвы даже наилучшей структуры 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 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 цеолитной части (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 коллоидальная 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.

5. 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 (0,06%), а если в соломе кальция и больше (0,26% CaO), то этот кальций возвращается обратно в почву вместе с навозом; а так как в поглощающем комплексе культурных почв кальций является преобладающим элементом, то невероятно, 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) с урожаем (см. табл. на стр. 320).

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 объяснение того факта, что люцерна не удается на бедных почвах, видная роль должна принадлежать ее высокой потребности в извести. (Это относится

I 20—40	II 40—60	III 60—120	IV 120—250	V 300—400 кг
Рожь Пшеница	Картофель Горох	Кукуруза Люпин	Клевер Сахарная свекла	Капуста
Ячмень	Вика	Кормовая свекла	Табак, рапс	
Овес	Фасоль Лен	— —	Люцерна	

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

Так как не только культурные растения, но также (даже с еще большей амплитудой) и дико растущие формы 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, Chrisanthemum segetum, виды Agrostis, способные обходиться с 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 очень 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» (Ш р е т е р).

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 связи с определениями pH (в процентах):

	pH					
	<5,6	5,6—6,0	6,1—6,5	6,6—7,0	7,1—7,5	>7,5
Viola tricolor	5,5	28	17	—	—	—
Gnaphalium silvaticum	31	46	23	—	—	—
Potentilla argentea	—	47	53	—	—	—
Raphanum raphanistrum	—	70	80	—	—	—
Rumex acetosella	42	38	18	2	—	—
Alchemilla arvensis	34	16	31	19	—	—
Scleranthus annus	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	28	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	—	—	13	22	54	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):

	pH			
	<3,6	3,6—4,0	4,1—4,5	4,6—5,0
	(в процентах)			
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

Как пример различного отношения культурных растений к реакции почвы и известкованию приведем 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 каждого растения проходила через части поля с разной кислотностью и можно было наблюдать влияние извести на разные растения на фоне различной кислотности. Приведем урожаи пробных квадратов (1 м^2) для разных растений в зависимости от реакции почвы (без внесения извести) (см. таблицу на стр. 322).

Здесь (в согласии с общим правилом) проявилась наименьшая чувствительность к кислотности у овса и ржи, наибольшая (среди хле-

	Части полосы					Урожай № 5 в процентах от № 1
	1	2	3	4	5	
	(в граммах)					
pH(KCl)	6,3	5,3	4,7	4,2	4,0	
Овес	741	—	740	529	449	61
Рожь	905	827	622	622	460	51
Пшеница	640	507	402	392	250	39
Ячмень	—	570	552	348	102	18
Люцерна	181	127	—	36	0	0

бов) — у ячменя, пшеница стоит по середине. Люцерна вообще плохо развивалась на данной почве, и при pH=4,0 она выпадала совершенно, но достаточно было дать 3 т извести на 1 га, чтобы получить хороший травостой люцерны. Кроме различных растений имеются наблюдения для картофеля, который подобно овсу, проявляя 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.

Еще более широкая амплитуда pH получается, если взять южные культуры, а также и представителей древесной растительности; например (по Vageler) имеем:

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	4,7—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 действительно 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 показатели для данной почвенной разности.

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, и концентрация других ионов (особенно Ca) сможет смягчить влияние концентрации ионов водорода (см. сказанное во введении о влиянии $CaSO_4$ и $CaCl_2$ на отношение растений к кислотности, а также ниже о влиянии известкования).

Поэтому в описанных выше опытах были 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. Точно так же в опытах, проведенных в нашей лаборатории Голубевым (с рядом сотрудников), и искусственной установкой тех же 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].

Обычно принято считать, что при pH<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 эти нормы условны, прежде всего по тому, потребности какой культуры мы хотим иметь в виду, так как культурные растения проявляют весьма различное отношение к кислотности; так например при посещении Менделеевского оп. поля в 1926 г. нам пришлось видеть такую картину: овес на делянках с известью и без извести наглаз 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. Можно считать, что в наших условиях именно плохой рост клевера чаще всего должен быть принимаем во внимание при решении вопроса об известковании.

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 которых 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 кв. м вносится (в граммах):

[1] См. «Удобрение и урожай», 1930 (статья Д. Н. Прянишникова).

1	2	3
Кислое удобрение	Слабощелочное удобрение	Удобрение повышенной щелочности
30 $(NH_4)_2SO_4$	40 $Ca(NO_3)_2$	40 $Ca(NO_3)_2$
60 суперфосфата	60 томасшлака	60 томасшлака
		200 извести

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 применять под горчицу (клевер и т. п.) на данной почве кислых удобрений; если же горчица страдает и на 1-й и на 2-й делянке, то для нее (и клевера) необходимо известкование, но для овса (и картофеля) можно обойтись может быть только применением щелочного набора удобрений, если сравнение показаний 1-й и 2-й делянок говорит в пользу второй.

Метод Митчерлиха может быть видоизменен, так например у нас на севере интереснее 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 $CaCO_3$).

Если на основании качественных признаков (состав сорняков, плохой рост клевера, показания pH или опыт по Митчерлиху) выясняется потребность почвы в известковании, то дальше возникает вопрос о *количестве* потребной извести. Концентрация ионов водорода в почвенном растворе, о котором мы судим по определению pH, 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 вытеснять 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 не идеальной тонкости помола); естественно, что то количество оснований, какое в лабораторном опыте совершенно устраняет обменную кислотность, в поле оказывается недостаточным и даже подбавка 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, но для суждения о размерах прибавки нужно 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 слабощелочной реакцией, например до pH=8,3 [1]. 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 для целого ряда почв необходимо *определение гидролитической кислотности*, чтобы исходя из нее, подсчитать количество извести, потребное для должного насыщения почвы кальцием без риска излишне обогатить раствор $Ca(HCO_3)_2$.

Если то количество оснований, какое почва может связать при насыщении не только обменной, но и гидролитической кислотности, принять за 100 и выразить в процентах от этой величины наличное количество поглощенных оснований, то получим некоторую меру насыщенности почв основаниями, по которой можно судить о потребности почв в известковании, именно принимается деление почв в этом отношении на 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 возможно дальнейшее подразделение на подгруппы).

3-я группа — насыщенность выше 70% (почвы как правило, не реагирующие на известкование).

---

[1] Близкую к этой реакции имеют растворы уксуснокислого натрия и кальция, применяемые для определения гидролитической кислотности.

Обычно сумму наличных оснований обозначают через S, все количество оснований, которое почва способна поглотить при устранении гидролитической кислотности, — через T, степень насыщенности — через V, тогда имеем:

$$V = \frac{S}{T} 100$$

Схематически эти соотношения (как и понятия об емкости поглощения и степени ненасыщенности по Гедройцу) могут быть иллюстрированы следующей схемой (см. рис. 39).

Здесь через a обозначена величина обменной кислотности, которой пользовался Гедройц, как мерой ненасыщенности почв основаниями, она определяется по количеству водорода, вытесняемого нейтральными солями; в сумме этого водород и поглощенные основания заполняют всю емкость поглощения почвы в смысле Гедройца, т. е.

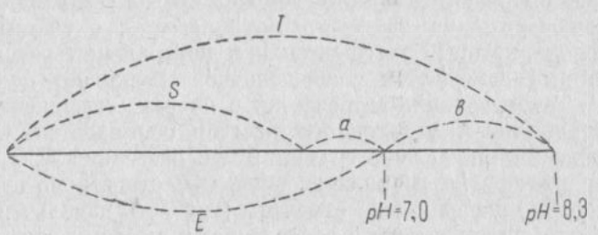


Рис. 39.

$S+a=E$. Но при щелочной реакции раствора (до 8,3, как это имеет место для реактива Каппена, раствора уксуснокислого натра) почва поглотит некоторое добавочное количество основания (или заместится добавочное количество водорода), обозначенное на рисунке буквой b, тогда ненасыщенность против этой нормы выразится уже величиной $a+b$, соответственно этому количество извести, потребной для насыщения почвы по Каппену, будет больше, чем для устранения только обменной кислотности, во столько раз, во сколько $a+b$ больше a. Но так как обычно для определения добавочного поглощения берут не тот образец почвы, в котором определялась обменная кислотность по Гедройцу, а свежий образец, то естественно, что в нем натрий уксуснокислой соли замещает водород, отвечающий как отрезку a, так и отрезку b.

Поэтому получилось, что гидролитическая кислотность по Каппену ($a+b$) не может ни суммироваться, ни противополагаться обменной кислотности (a), ибо она уже включает эту величину. Этот дефект ходячей терминологии, затрудняющий начинающих, мог бы быть устранен, если бы величину $a+b$ называть общей ненасыщенностью почвы, а название гидролитической кислотности оставить за величиной b, ясно противополагая ее величине a, выражающей обменную кислотность.

Эти соображения нужно иметь в виду, чтобы лучше понять различие между ненасыщенностью почвы по Гедройцу и по Каппену;

можно сказать, что в этих соотношениях мы имеем дело с одним и тем же числителем (S), но с разными знаменателями (E и T) [1].

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 и некоторых растений. 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 коэффициентом). 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 (именно вместо 3 000 тонн, в зависимости от заболачивания, наблюдается снижение веса 20-сантиметрового слоя до 1 500, 1 000 и 500 тонн; 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.

Кроме особенностей почв, приходится считаться и с особенностями растений, так некоторую осторожность приходится соблюдать при внесении извести при наличности в севообороте льна, картофеля и люпина.

Давний опыт Бельгии говорит, что если там районы применения извести давали лучшие льны, то при условии, что известь никогда не вносится прямо под лен, но за несколько лет до его посева, под другие культуры того же севооборота. Правда, современные методы смягчают остроту правила об абсолютной недопустимости известкования под лен, ибо они позволяют регулировать количество извести сообразно особенностям почвы и растения, но все-таки остается верным, что под лен гораздо легче «переизвестковать» почву не только по сравнению с клевером, но и по сравнению с хлебами. Поэтому, если и нужно бывает вносить известь под лен (в случае резкой кислотности почвы и необходимости спешного применения немедленных мероприятий), то вносят не по норме гидролитической кислотности, а например 50% от этой нормы. Чаще же поступают так, как давно поступали в Бельгии, т. е. известкование производят за несколько лет до посева льна.

Также и в случае картофеля следует избегать риска принести излишним количеством извести ущерб если не урожаю, то качеству кар-

---

[1] Ввиду того значения, какое придается отношению $\frac{S}{T}$ в практике определения потребности почв в извести, вместо длительного определения поглощенных оснований путем вытеснения их растворами нейтральной соли (для чего требуется повторное промывание и анализ суммы фильтратов), Каппеном предложен упрощенный способ, основанный 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 и их сумма (при отсутствии в почве $CaCO_3$) определяется простым титрованием этой солянокислой вытяжки.

тофеля, именно отмечают, что щелочная реакция почв иногда повышает процент клубней, поражаемых так называемой паршой (кожное заболевание, вызываемое грибком). Опять и в этом случае можно вносить известь под другое растение: так например при типичном чередовании — пар, рожь, картофель, овес, клевер — удобно применить известь после картофеля, чтобы она дала наибольший эффект на накопление азота клевером, тогда заведомо не будет избытка кальция в почвенном растворе ко времени возвращения картофеля на известкованное поле.

Можно смягчать влияние предшествующего известкования внесением под картофель сульфата аммония, а в Америке даже предполагалось вносить серу, чтобы понизить pH на почве, идущей под картофель, если под предшествующую ему люцерну сообразно ее требованиям дано было значительное количество извести. Но казалось бы, в таких случаях можно иметь два севооборота: один для растения кислого интервала pH, другой для слабощелочного, с соответственным подбором удобрений для каждого севооборота — это потребует меньших затрат, чем периодическое создание на том же поле то кислого, то щелочного режима.

Что касается *материала, с которым в почву вносится известь*, то он чаще всего добывается в природных залежах (известняки, мел, мергель), реже могут быть использованы отбросы 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 жженая известь и многие виды мергеля не требуют предварительного измельчения, известняк и мел должны быть всегда размолоты до обращения в муку, нормы для этого размельчения различны, так в Германии частицы свыше 1 мм диаметром не оплачиваются как недеятельные, и при применении извести грубого размола нужно увеличивать ее количество сообразно содержанию грубых частиц. У нас размольным пунктам вменяется в обязанность давать известковую муку, на 94—95% проходящую через сито с отверстиями в 1,65 мм; для мергеля и известковых туфов требования иные. Здесь играет роль еще и вопрос транспорта, так как если на месте размола и не было бы так 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 недеятельными, показывает такой учет неразложившегося $CaCO_3$ через *шесть* лет после внесения извести в почву:

Диаметр частиц, в виде которых вносилась известь	Неразложенный $CaCO_3$ (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 $CaCO_3$, так как содержание например песчаных и глинистых частей (вообще нерастворимого в соляной кислоте остатка) будет бесполезным балластом. Содержание $MgCO_3$ в небольших количествах не мешает, так как действие магния и кальция на почву аналогично и вероятно до 30% $MgCO_3$ может быть оплачиваемо наравне с $CaCO_3$; после некоторого предела (пока не установленного, но вероятно лежащего выше 50%) может явиться вопрос о возможном вреде избытка магния по причинам, о которых говорилось выше (См. также стр. 332).

Количество углекислой извести обычно колеблется для легких почв от 2 до 3 т/га, для средних от 3 до 5 и для более тяжелых, глинистых почв может доходить до 6—7 тонн, смотря по степени кислотности этих почв и составу главных культур, об особенностях которых говорилось выше.

Что касается жженой извести, CaO, то у нас она мало 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, MgO и пр.) известь 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 ее 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). 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 извести, вносимой в виде CaO, должно быть уменьшено по сравнению с $CaCO_3$ по крайней мере в отношении 56:100, ввиду потери 44% CO_2 при обжигании.

Другой случай, когда к размолу материала, содержащего углекислую известь, прибегать не приходится — это *мергелевание почвы*. Мергель (рухляк, трескун) представляет такую породу, в которой известь находится в тонкой смеси с глиной, при лежании на воздухе под влиянием смены влажности и температуры мергель (если он не слишком плотного сложения) способен постепенно рассыпаться на мелкие части, легко могущие быть запаханными и смешанными с почвой. Мергеля по составу могут быть очень разнообразны, кроме $CaCO_3$ и глины может содержаться 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 атмосферических факторов, под влиянием которых он в течение зимы рассыпается настолько, что он может быть разбросан и запахан. Количества вносимого мергеля зависят от его состава, во всяком случае они 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 десятину.

Мергель, если он находится вблизи от поля, требующего известкования, является для этой цели самым 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 общее применение в лесоводстве (именно возобновление буковых лесов требует предварительного устранения почвенной кислотности, создаваемой во влажном климате разлагающейся листвой старых буковых лесов).

Подобно мергелю могут применяться без размола мягкие известковые туфы (луговая известь).

Отбросы промышленности, богатые известью

Дефекационная грязь с свеклосахарных заводов содержит значительное количество извести наряду с другими важными для растений веществами. По составу она бывает довольно различна на различных заводах.

В среднем дефекационная грязь содержит:

$CaCO_3$ около	40%—50%	N около	0,3—0,5%
H_2O »	40%	P_2O_5 »	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 [1].

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) или быть может вредит избыток извести, несмотря на хорошую усвояемость азота, фосфора и пр. Употребляют 5—10 т и более дефекационной грязи при внесении в паровом поле; в некоторых хозяйствах встречается внесение даже 30—50 т на 1 га, но такие количества часто проявляют отрицательное влияние.

Газовая известь, отброс газового производства, не может быть употребляема 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 содержат известь отбросы бумажного и кожевенного производства, которые могут иметь местное значение, и в настоящее время ведутся опыты с использованием в целях известкования доменных шлаков, что может иметь значение для Урала.

В близком будущем предвидится получение больших количеств отбросной извести в виде $Ca(OH)_2$, которая будет получаться на заводах синтетического каучука, при разложении водой карбида кальция (для получения ацетилена, от которого через хлоропрен переходят 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 с значительными количествами усвояемой фосфорной кислоты.

О вредном действии избыточного известкования

Когда не знали смысла известкования и вообще законы питания растений не были еще известны, то часто не понимали, что известкование не является аналогом навозного удобрения и что скорым повторением его или даже однократным внесением большого избытка извести

[1] См. анализы в «Трудах Ивановской оп. станции», вып. 1-й и 2-й.

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 истощили почву и от этого урожаи упали. На самом же деле тут причина лежит вовсе не в истощении, ибо избытком извести можно надолго испортить почву, даже не взявши с нее ни одного урожая.

При наших вегетационных опытах обнаружилось (начиная с 1897 года), 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 5 т/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 0,25%, 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 западноевропейским, моховые торфяники. Наоборот, черноземы, содержащие больше извести и не столь сильно реагирующие на первые дозы ее, способны выносить большие дозы без вреда для растений.

Вот пример из наших опытов 1901—1904 гг.

	Без CaO	0,25% CaO	0,5% CaO	1% CaO
	(в граммах)			
Пшеница на черноземе	8,0	9,0	13,8	19,6
Овес на заболоч. 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

Вред избытка сказывается не только при внесении CaO, но и при внесении $CaCO_3$; промывание почвы в опытах Коссовича и Альтгаузена не устраняло 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, 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 растением 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 дестиллированной воде; уже введение одного кальция обезвреживает магний (O. Loew); дальнейшие исследования (J. Löb, 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 действие, чем кальций, а защитное действие, 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.

Как бы в подтверждение того объяснения, что при избытке извести вредным является излишнее преобладание иона кальция над всеми другими, является 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»).

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 нитритов (при внесении селитры), но затем опыты, проведенные в лаборатории автора (Бобко, Голубевым и Тюлиным), показали, что на минеральных почвах (например легких песчаных) повышение реакции до pH=8,0 вызывает бурное течение биологических процессов, в результате которых почвенный раствор обогащается аммиаком (иногда нитритами) 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 мало растворимые соединения с почвенными ацидоидами.

Также и положительное действие CaO и $CaCO_3$, в большинстве случаев близкое, на некоторых почвах оказывается неодинаковым (северный Урал). Вообще действие извести сложно и многообразно, и она не может быть применяема всюду по тому же общему шаблону, как например селитра и суперфосфат.

Введение известкования должно стоять в связи с развитием сети агрохимических опытных станций и организацией агрохимической службы, так как и почвенный покров отличается наибольшей пестротой как раз в области подзолистой полосы, где именно и требуется чаще всего бороться с кислотностью почвы, и 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 гидро-

литической кислотности в целях определения количества потребной извести тоже не может быть одинаковым для всех видов почв. Не только особенности почв, но также и трудная транспортабельность извести, применяемой в больших дозах, чем прямые удобрения, накладывают местный отпечаток на выбор материалов для известкования. По сумме всех этих причин успешное проведение известкования сильно зависит от развития агрохимической работы на местах, а дороговизна этой меры заставляет применять ее только тогда, когда мы имеем в виду устранить кислотность почвы, мешающую получить нормальные урожаи (особенно клевера, ячменя, а также пшеницы в связи с вопросом о продвижении культуры ее на север). Если же дело идет не о кислотности почвы, а о мобилизации азота и фосфора почвы, в целях повышения урожаев, то такое повышение может быть достигнуто и более дешевыми путями, как например культура люпина, который не только обогащает почву азотом, но и усвояемым фосфором за счет фосфора подпочвы (и трудно растворимых соединений самой почвы).

3. ГИПС

В качестве косвенного удобрения играет значительную роль г и п с — сернокислый кальций, содержащий кристаллизационную воду (но в природе встречается и ангидрит, не содержащий воды). Иногда употребляют с у п е р ф о с ф а т - г и п с (он же фосфогипс), получающийся при приготовлении двойных суперфосфатов. Это есть остаток после обработки фосфорита серной кислотой и промывки его (для 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), но 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 такой (в процентах):

$CaSO_4 2H_2O$	64
P_2O_5	2—3—5
Глины и песка	30

Гипс употребляется почти исключительно как поверхностное удобрение и разбрасывается уже по развившимся до некоторой степени растениям; употребляется главным образом для мотыльковых растений, культивируемых на корм, — клевера и люцерны. 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) и 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 золы.

Что касается его действия на растения, то в исключительных случаях оно достигает огромных размеров. Так у Буссенго не удобренный участок дал 1 000 кг клеверного сена, а удобренный гипсом — 5 900 кг; обычно же действие не столь громадное, но определенно благоприятное. У А. Н. Энгельгардта без удобрения получено было 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 [1]. Рассыпают его 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 способствует 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 подтверждения, относительно второй уже a priori трудно допустить, чтобы такая ничтожная по весу доля гипса, которая вносится как удобрение в количестве 3 ц на гектар, могла оказать влияние на поглощение аммиачных солей почвенным слоем, вес которого достигает 3 000 тонн 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, что 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; но 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 (окисляя органическую массу азотной кислотой или сплавляя с щелочами и селитрой), то найдем значительно большие величины, например:

	По Вольфу (S)	По Богданову-Залескому[2]	
Зерна пшеницы	0,01%	0,37	считая на SO_3
» проса	0,01%	0,40	
» гороха	0,08%	0,44	

Особенно богаты серой крестоцветные, например корни турнепса содержат 1,85% , а листья капусты — 2,05% SO_3 (считая на сухое

[1] Конечно при обычных дозах гипса, около 3 ц на гектар.

[2] См. книгу С. М. Богданова «Плодородие почвы». Киев, 1906.

вещество). В связи с этим вынос серы с урожаями у этих растений превосходит вынос фосфорной кислоты:

	SO_3	P_2O_5
	(в килограммах)	
Капуста (300 ц)	73,7	41,2
Турнепс (300 ц)	44,4	24,4

Между тем обычно имеем:

Пшеница (15 ц)	13,1	19,7
Клевер (45 ц)	13,5	23,3
Люцерна (60 ц)	30,0	37,6
Картофель (150 ц)	12,9	24,0
Сахарная свекла (180 ц)	29,5	33,8

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 и 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 фосфата, но и серы, которая содержится в простом (но не двойном) суперфосфате в виде $CaSO_4$.

Чаще всего смотрят на гипс, как на косвенное удобрение, которое способствует обогащению почвенного раствора калием. Еще прежние опыты Дегерена показали, что при промывании образца русского чернозема водой в водный раствор переходило из 1 кг почвы 0,048 K_2O в виде K_2SO_4, а при промывании той же почвы водой с гипсом—0,428, 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 вносится гипс или его компоненты; так кроме суперфосфата, содержащего $CaSO_4$, серная кислота также содержится в сернокислом аммиаке и каините, 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

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].

На почвах щелочных гипс служит средством понижения щелочности благодаря реакции: $CaSO_4+Na_2CO_3=CaCO_3+Na_2SO_4$. Однако, как показали исследования Гедройца, в случае «злого солонца» не достаточно обезвредить наличную соду, так как она способна вновь образоваться, пока в поглощающем комплексе есть натрий, а в окружающей среде $CaCo_3$. Поэтому нужно вносить гораздо большие количества гипса, чтобы изменить в составе поглощенных катионов соотношение Na:Ca в пользу последнего.

4. ВНЕСЕНИЕ СЕРЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Положительное влияние серы, внесенной в почву, наблюдалось в ряде опытов на Западе (первоначально попутно при лечении заболеваний серным цветом); у нас также имеются опыты, как Богданова (Киев, 1898) с горчицей, Солякова с сахарной свеклой («Труды Киевской сети оп. полей»), 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 неизмененной, 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 труднорастворимых соединениях, то действие кислоты направляется на фосфаты и их усвояемость повышается. Действие серы как косвенного удобрения слагается в первую очередь из 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).

---

[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, именно, если реакция не изменяется заметно, то влияние обогащения раствора ионами кальция на растение может быть только благоприятным, но на почвах с большой обменной кислотностью можно представить двоякое действие гипсования, именно: первичное

Влияние внесения серы на реакцию почвы проявляется постепенно, под влиянием развития процесса сульфофикации; вот пример из опытов Ваксмана:

	Процент от веса почвы	pH почвы			
		До опыта	Через 20	86	105 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 оп. полей».)

	С серой			
	Без серы	60 кг вразброс	120 кг вразброс	30 кг в рядки
Урожай свеклы (корнц в ц/га)	260	277,9	284,2	268,0

В этом опыте (как и вообще на черноземных почвах) действие серы сводится к повышению использования фосфатов почвы; так например в одном опыте просо взяло из почвы в отсутствии серы 3,5% от фосфора почвы, а при внесении серы — 6,7% (Калужский). 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, что 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

[1] Кроме того возможно вредное влияние промежуточных степеней неполного окисления (сернокислые соли) и многосернистые соединения, которые при больших дозах серы могут накопляться в большем количестве, чем при малых.

[2] См. брошюру Калужского. «Элементарная сера в качестве удобрения» (Н. Д. 1929).

процесс может быть представит 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; в опытах Калужского и Солнцевой общая щелочность солонца под влиянием серы понизилась вдвое, и урожай растений возрастал например следующим образом:

	Без серы	С серой (5 г на сосуд)
	(в граммах)	
Ячмень	11,0	17,3
Просо а)	20,8	33,0
б)	26,9	37,8 и т. д.

Однако это повышение наблюдалось только при достаточной влажности почвы (60% от влагоемкости и выше), при недостатке же влаги (40% от влагоемкости) наблюдалось понижение урожая.

Бисульфат натрия

$NaHSO_4$, являющийся отбросом пороховых заводов, может оказывать действие подобное сере, с ним имеются благоприятные опыты по так называемому «кислованию» черноземов, причем очевидно имеет место растворяющее действие этой кислой соли на фосфаты почвы.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ПОЛЕВОЙ ОПЫТ

Под влиянием новых взглядов, высказанных Либихом, с 40-х годов начали производить 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 такой же участок — без удобрения, при этом 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 на 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 м е т о д о м р а з н и ц ы, т. е. изменять только тот фактор, влияние которого хотят наблюдать, оставляя остальные факторы постоянными и неизменными, 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 соблюдать по возможности, чтобы между делянками не было например различий, вызываемых условиями рельефа; разница эта может состоять в разном распределении влаги, питательных веществ (нанос или смывание мелкозема), также света и тепла при наклоне, обращаемом к разным сторонам горизонта; избегают также близости дорог, которые помимо риска прямой порчи, могут вызвать различия в строении 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 первичной изменчивости почвенного покрова, т. е. природных различий в механическом и химическом составе почвы или подпочв, 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 тому назад на месте современной пашни была деревня и границы бывших огородов, не всегда остающиеся в памяти населения, окажутся в пределах опытного участка, то делянки могут оказаться весьма неоднородными).

[1] Обычное представление, что опыты с концентрированными удобрениями ведут начало т о л ь к о от Либиха, неверно; достаточно взять «Möglinsche Annalen» за 30-е годы, чтобы убедиться в этом: так в 29-м томе (1832 г.) напечатаны статьи Körte, 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.

Чтобы дать некоторое понятие об изменчивости свойств почвы, возьмем на выдержку из 4-го отчета Ивановской оп. станции несколько рядов цифр, выражающих урожай свекловицы на рядом расположенных и ничем не удобренных делянках, по 125 кв. м каждая (нужно иметь в виду, что участок взят на постоянном опытном поле, следовательно при всем соблюдении возможной однородности почвы по видимым признакам).

№	49-й	50-й	51-й	52-й	53-й	54-й	55-й	56-й
I	503	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 делянки в 1000 м, то их показания все же различны: 4185—5147—5185—5 582 [1].

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.

Приведенный пример относится к чернозему, а в черноземной полосе изменчивость почвенного покрова вообще меньше, чем в нечерноземной, благодаря капризности расположения ледниковых на-

[1] Приведем подобные же данные, полученные на Сумской опытной станции при дробном учете на овсяном поле (без всякого удобрения).

Урожай надземных органов овса (килограммы на делянках 64,5 кв. м)

№	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й
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	2,19
IV	2,32	1,98	2,01	1,82	1,89	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 1,469 до 2,32 кг.

носов иногда разная урожайность близких и казалось бы внешне довольно однородных частей поля может зависеть например от присутствия или отсутствия песчаной прослойки в подстилающем горизонте.

Для преодоления этого главного препятствия на пути к точности полевого опыта 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 в предположении, 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. 291), а 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 коэфициенте 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.

Далее возможно эмпирическим способом сравнить участки за год до производства опытов, выделивши их заранее, одинаково по возможности их обработать, засеять в одно время, убрать отдельно урожаи и сравнить между собой; если не будет заметных колебаний в показаниях, то 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 (на 10 кв. м каждая), причем урожай пшеницы колебался на этих делянках от 2,7 до 3,8 кг; для опытов 1900 г. были выбраны только делянки, давшие 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 микрорельефе; 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, свекловица их даст).

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, 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*, в расчете что в этом среднем погаснут те случайные отклонения, которые были вызваны неодинаковым плодородием единичных делянок. Однако устойчивость средних чисел зависит от числа слагаемых, а потому, чем большей точности требуем мы от опыта, тем большее число раз должны повторяться 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%

[1] Подобные же примеры из данных Шатиловской станции см. в статье А. Н. Лебедянцева в «Вестн. с. х-ва» за 1912 г., № 6.

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. Во всяком случае, если имеют дело с малым числом повторений, то разницы между удобренными и неудобренными делянками должны *значительно превышать колебания между показаниями одноименных делянок*, чтобы опыт мог быть признан доказательным.

Необходимость определенной методики в полевом опыте не сразу нашла себе общее признание. В Германии в 60-годах Грувен обратил внимание на невозможность обобщения данных отдельного опыта и необходимость параллельных опытов во многих пунктах, и в 70-х 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, 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 погрешности и возможного их снижения путем повторности стал проводить с 80-х 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 столетия в Германии регулярное применение повторности делянок и других мер предосторожности при опытах с удобрением стало общим правилом.

Обыкновенно сравнивают среднее показание удобренных делянок с средним из показаний делянок неудобренных, принимая последнее за 100 и выражая первое в процентах. 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 с общим средним, а с средним из двух соседних неудобренных, лежащих по обе стороны данного удобренного: такое среднее ближе отвечает как бы урожаю данной делянки, если бы она не получила удобрения (воображаемая контрольная делянка) [1].

[1] Если даже неудобренные участки не лежат непосредственно по обеим сторонам каждого 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 внести 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. Такие случаи возможны, например при опыте на склонах; если скажут, что на склонах не следует ставить опытов, то из этого правила все-таки приходится делать исключения, если дело идет об удобрении именно данного склона. См. статьи Б. Н. Рождественского «Как повысить точность полевого опыта» в сборнике имени Чупрова. «Опыты с минеральными удобрениями на крестьянских землях» (под редакцией Д. Н. Прянишникова, с предисловием К. А. Тимирязева). М. 1908.

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, чем например восьмерная схема, когда 4—6-кратная повторность отмечает уже наличность 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, большая или меньшая трудность 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 кв. м, а теперь встречается стремление поднять его до 1000 кв. м при постановке опытов в производственных условиях, а с другой стороны — при особом типе «мелкоделяночных» опытов он опускается до 2 кв. м. 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 «если взять 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 урожаи на них (без удобрения) бывает одинаков, но 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 например на протяжении километра выявляться 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 становится невыгодным.

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 из 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 посадки каждого растения, как при культуре свекловичных высадок; также и при уборке — жнея или жнеемолотилка (комбайн) или ручной сбор (хлопок, шафран и т. п.).

Если оставаться в пределах, какие позволяет техника, то можно сказать, что имеет место следующая правильность.

В большинстве случаев когда приходится иметь дело с определенной площадью, отведенной под опыты, и делать выбор между закладкой значительных по размерам делянок, но при меньшем числе повторений, или же, наоборот — меньших по размерам делянок, но при большем числе повторений, то приходится предпочитать второй исход: большая делянка, будучи разделена на несколько мелких и как бы распределена в виде этих мелких делянок по разным частям опытной площади, даст более устойчивое показание [1], чем без такого разделения, вследствие того, что увеличивается шанс после разделения прежней цельной делянки лучше охватить разные части площади, на которых можно предполагать известное различие свойств.

Ввиду того что вопросы *о числе повторных делянок, величине отдельной делянки и площади всего опытного участка являются вопросами сопряженными, то необходимо, взвесивши значение каждого фактора, выбрать затем некоторый оптимальный комплекс их*, обусловливающий возможно большую 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 — в отношении $\frac{1}{\sqrt{4}} = 0{,}50$ и т. д.

При проверке этих отношений применительно к условиям полевого опыта Holstmark и Larsen (Норвегия) наблюдали близкие к вычисленным изменениям, именно:

	При среднем из делянок		
	1	2	4
Средние размеры погрешности относятся . .	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

[1] См. Holstmark und Larsen, «Über die Begrenzung der Fehler, die bei Feldversuchen durch die Ungleichmässigkeit des Bodens bedingt sind», Landw. Vers. Stat, 1906.

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 например из того же исследования Larsen:

Величина делянки (в кв. м)	6,25	12,50	25	50	100
Средний размер погрешности (в %) . .	17,4	15,8	14,6	12,7	11,5

Таким образом здесь крупное (16-кратное) увеличение затраты площади на каждую делянку понизило размер погрешности почти лишь в том же отношении, как если бы мы только удвоили число самых малых делянок $\left(\frac{17{,}4}{\sqrt{2}} = 12{,}3\%\right)$ [1].

Различие между удвоением (или вообще умножением) числа делянок и увеличением площади делянки видно уже из того, что при удвоении площади захватываются только соседние части, 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 *увеличение числа делянок повышает точность в большей мере, чем увеличение их площади*; следовательно 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 каждая (100 кв. м) 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 (см. стр. 348).

В подобном опыте на Ивановской опытной станции при гораздо большей величине делянок Б. Н. Рождественский наблюдал такие от-

[1] 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	1	3	5	10	20	40	60	кв. с.
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 площади в 40 саж. (или может быть даже ранее), так как для промежуточных площадей (20—40) нет данных; см. «Журнал опытной агрономии», 1909).

Серия по 20 аров

	Делянки цельные (по 1 ару)	Делянки раздробленные			
		$2^1/_4$	$4^1/_4$	$8^1/_8$	$16^1/_{16}$
Среднее отклонение	12,02%	8,06%	5,30%	4,62%	3,33%
Наибольшее отклонение . .	32,14%	22,11%	16,10%	8,62%	8,63%

клонения (при 8 элементарных делянках по 135 кв. м каждая, занятых свекловицей).

	Делянки (8) расположены			
	в 1	2	4	8 местах[1]
Величина делянки (в кв. м)	1080	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 если даже оно не встречает препятствий внешних, то за известными пределами оно может быть нежелательно по существу, так как оно влечет за собой увеличение расстояний между крайними делянками, а при больших расстояниях можно ожидать больших различий в свойствах почвы, чем при малых, а значит и больших размеров погрешностей в показаниях делянок.

Чтобы противодействовать этому возрастанию погрешностей при увеличении общей площади опытного поля, Holstmark и Larsen предлагают пользоваться методом, который в течение ряда лет с успехом применялся на опытных полях в Норвегии и который они обозначают в своем немецком сообщении [2] как «Maassparzellenmethode», т. е. «метод измерительных делянок» или стандартов, который 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 располагаются делянки измерительные, рядами, параллельными диагоналям; если же мы будем двигать по горизонтальным (или вертикальным) рядам, то через каждые две «опытные» делянки будем встречать одну измерительную (стандартную или контрольную), так что на последние делянки приходится $^1/_3$ всей площади опытного поля.

При таком расположении каждая делянка имеет по соседству с собой три измерительных 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:

[1] Или большая делянка в 1 080 кв. м разбита на 2, 4, 8 меньших, расположенных в разных частях опытного участка.

[2] Landw. Versuchsstationen. Band LXV, 1906 (первое сообщение сделано Larsen'ом на с.-х. конгрессе в Стокгольме в 1897 г.).

«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 с средним урожаем трех соседних контрольных делянок. Следовательно в конце концов сравниваются эти последние разности, только после приведения (чисто формального) к некоторому общему уровню [2].

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 на фоне произведенной уже предпосевной обработки разбить участок на делянки какой угодно величины, внести удобрения, затем убрать все колышки (кроме знаков на меже) и предоставить хозяйству произвести 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 еще, не производя общей уборки, произвести учет по пробным снопам, рядкам, полосам и пр., чтобы иметь проверку

[1] Landw. Vers. Stat. Bd. LXV, стр. 19—20.

[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 намечавшимся 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). Своеобразно в «норвежском» способе самое размещение контрольных делянок, позволяющее иметь по соседству с каждой удобренной три неудобренных делянки при отведении всего лишь одной трети 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.

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.

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 погрешности до 10% или 5% или 3% достигается при разном числе повторений.

Поэтому тот переход от 100-метровых делянок к 1000-метровым (и больше), который вызывается изменением техники земледелия, должен сопровождаться методической работой, отдельно проводимой для разных почвенных зон. Ровно ни из чего не следует, что если переход от 25-метровых к 250-метровым делянкам сопровождается известным уменьшением погрешности, то и переход от 250-метровых делянок к 0,1 или 0,25 га на всякой почвенной разности будет непременно сопровождаться тоже уменьшением погрешности, и 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, а работа без повторностей подобна хождению с завязанными глазами или плаванию без компаса. В том, что делянки в 1 000 метров могут требовать значительной повторности даже в черноземной полосе (где почвенный раствор 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 которых мы можем взять следующий пример: при закладке нового опытного поля на Ивановской станции площадь около 6 га была разбита на делянки около 125 метров [1], расположенные в 4 ряда по 104 делянки в каждом ряду. Если мы суммируем по 10 делянок, то получим суммарные делянки около 1250 м, примыкающие друг к другу длинными сторонами. Размеры колебаний урожайности на составляющих (малых) делянках и на суммарных (больших) делянках видны из следующих примеров (см. табл. на стр. 351).

В данном случае плодородие почвы возрастало регулярно от первого ряда к четвертому и увеличение размера делянки по длине полосы до 1 250 м не устранило весьма значительных расхождений между показаниями делянок, совершенно одинаково обработанных и ничем не удобренных [2]. Поэтому должная повторность необходима всегда, и нельзя думать, что при больших делянках двойная повторность есть нечто, не оставляющее желать ничего лучшего, — при ней возможны

[1] Так как в оригинале 1910 г. размер делянок дан в саженях, то при пересчете в метры получаются дробные числа, что для нас в данном случае не имеет значения (см. «Труды Ивановской опыт. станции», вып. IV).

[2] В данном случае суммирование в поперечном направлении дает более устойчивые показания, но без дробного учета нельзя предвидеть заранее, в каком направлении выгоднее вытягивать делянки.

Урожай для 125 м

№	Ряды I	II	III	IV	№	Ряды I	II	III	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	617	665	697	65	557	680	663	705
56	471	669	709	715	66	511	711	654	739
57	479	660	682	697	67	471	640	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	666	741	70	508	622	669	651
Суммарные делянки (по 1250 кв. м)					Суммарные делянки (по 1250 кв. м.)				
	5119	6624	6619	7061		5158	6708	6726	7181

значительные отклонения, особенно в нечерноземной полосе. Достаточно сказать, что известные опыты в Ротамстеде, которые имеют недостаточную повторность (только двойную, потому что они закладывались в 40-х 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* [1].

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 площади участка [2]. Для этого удобно пользоваться рядовой сеялкой, которой можно сделать делянки строго одинаковой ширины и площади при любой длине (это особенно удобно

[1] Недопустимость только двух неудобренных делянок может быть иллюстрирована на следующем конкретном примере: был поставлен опыт, в котором 1-я и 11-я делянки оставлены неудобренными, а со 2-й на 10-ю и с 12-й на 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 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, то все-таки *сравнение удобренных делянок с соседними неудобренными выявило бы наличность эффекта от удобрения.*

[2] Так при участках 100 м длиной и 10 м шириной, ограниченных друг от друга лишь продольной бороздой, погрешность при проведении последней на ширину борозды с той и другой стороны участка создает уже потерю 6% площади участка (Drechsler, Journal f. Landw. 1880).

при внесении удобрений рядовым способом при помощи комбинированных сеялок).

При сравнении делянок квадратных и удлиненных Б. Н. Рождественский получил такого рода данные (в процентах):

	Средние отклонения	Крайние отклонения
Квадратные	8,07	19,96
Удлиненные делянки . .	3,89	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 [1].

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 бороновании); 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, а на участке неудобренном такая же вспашка, какая необходима для заделки, все-таки была бы 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.

[1] См. о расположении и величине делянок и других подробностях в статьях Франкфурта и Рождественского (Труды сети опытных полей, сообщение 1-е), Ротмистрова (Методика полевого опыта, Одесское оп. поле, ч. 9); в статье «Полевые опыты» в VII томе с.-х. энциклопедии (изд. Девриена); в докладах и инструкциях, напечатанных в сборнике имени А. И. Чупрова под редакцией Д. Н. Прянишникова (Труды Московского совещания. М. 1908); в отчетах о работах Екатеринославской сети (I—III, сост. Рождественский и Вольф) и в ряде отчетов опытных станций — Сумской, Шатиловской, Безенчукской, Ивановской, например 4 вып. «Трудов Ивановской оп. ст.» (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 высказать сожаление, что эта обстоятельная монография проф. Ремера осталась непереведенной на русский язык).

Перед уборкой выкашивают 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 хозяйствах (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 весов зерна и соломы).

Затем производится 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: 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. Там же, где возможно, следует применять оба способа одновременно.

Полученные цифры для одноименных делянок могут дать материал для выведения общих средних, если больших изменений в свой-

[1] См. о некоторых мерах предосторожности у В. Г. Ротмистрова, «Методика полевого опыта» (оттиски из отчета Одесского оп. поля, год IX).

[2] См. В. В. Винер, «Метод средних образцов при производстве полевых опытов» (Журн. оп. агрономии, 1901); А. Н. Венгеровский «Учет урожая по методу средних образцов» (Вестник сельского хозяйства, 1907, № 30,31,33); статьи М. Н. Вонзблейна и др. в сборнике им. А. И. Чупрова (Москва, 1908); см. также I том Екатеринославских «Трудов сети» и т. д.

стве почвы не замечается; в противном же случае лучше сравнивать каждую удобренную делянку с ближайшими неудобренными, как это было говорено выше.

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 тому назад, но по справедливости были отвергнуты [1].

Но 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 назаметное 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 бы 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 может 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.

Другой прием — это массовое повторение опытов одновременно во многих местах, с целью парализовать влияние случайных причин; значение этого приема 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 не лишены значения в целях выяснения значения какого-либо удобрительного веще-

[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 I томе Екатеринославских отчетов («Труды сети коллект. опытов»), составленных Рождественским и Вольфом.

[3] Иногда бывают случаи и обратные, что влияние неблагоприятного фактора утрировано подчеркивает действие удобрения; это может наблюдаться например при повреждении свекловичной плантации долгоносиком; при этом сохраняется лишь демонстративное значение опыта, цифры же учета будут нетипичными.

ства для целей страны; другое дело если выбираются местности с общими климатическими 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, позволяющих в обычных хозяйственных условиях испытать размер действия тех приемов, положительное влияние которых было предварительно изучено на постоянных станциях и полях, и сделать их общеизвестными, но 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.

Но 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 поглощающих оснований, реакции почвенного раствора и т. д., в целях установления допустимости частого внесения одних и тех же удобрений на различных почвенных разностях (см. сказанное на стр. 111 и 120 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).

Весьма большое значение при постановке полевого опыта имеет правильное отграничение вопроса и выбор схемы. Так как сложные схемы при необходимости повторных делянок делают опыт трудно исполнимым, то лучше избегать усложнения задачи, но, ограничивши 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) реагирует ли данная почва на внесение питательных веществ вообще, и какие именно из питательных веществ вызывают наибольшее повышение урожая? Лишь после того, как опыт даст ответ на эти вопросы, можно итти дальше и узнавать, 2) в какой форме и 3) в каких количествах следует вносить недостающие вещества, чтобы достигнуть наибольших урожаев? Где лежит предел действия удобрений при данных условиях? Если бы мы задались целью сразу решать все эти вопросы, то пришли бы к схемам невероятной сложности, которые если бы 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 почве, которая реагирует только на фосфор).

Но и при постановке опытов по вопросам первой категории (в каких веществах нуждается почва) приходится также ограничиваться прежде всего испытанием тех веществ, потребность в которых является наиболее вероятной. Как правило наблюдается 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) O, 2) N, 3) K, 4) P,

так как если почве одновременно недостает двух из них, то ни одно вещество порознь не подействует; поэтому необходимо добавить комбинацию этих удобрений по 2; а так как по мере удовлетворения потребности в двух недостающих элементах может проявить свое действие и третий, то необходимо ввести делянку, которая получит все три рода удобрений [1], так как мы приходим неизбежно к восьмерной схеме:

1) O, 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, например фосфор или калий, потому что действие азота взаимно контролируется сравнением четырех пар делянок: N и O, 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:

O, N, P, O, K, NP, O, NK, KP, O, NKP.

Такое расположение помогает расшифровать смысл опыта или забраковать его, если различия между контрольными делянками окажутся такого же порядка, как между делянками различно удобренными.

В истории нашего опытного дела были случаи, когда считали такую повторность несущественной, если опыты ставятся хотя и в разных условиях, но в очень большом числе, полагая, что при математической обработке все случайные отклонения сгладятся и общие законности все-таки выявятся. Здесь недоразумение заключалось в следующем: 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 произвести браковку первичного материала, тогда плохие опыты (заложенные на неподходящем фоне и пр.) будут затемнять собой данные хороших опытов. По этому поводу один видный математик 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.

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,

[1] Опыты по влиянию извести ставятся в отдельности там, где это вызывается соображениями иного порядка (см. сказанное в гл. об известковании).

оставивши лишь калий в присутствии N и P; тогда схема из восьмерной превратится в пятерную и примет такой вид:

O, N, P, NP, NKP

или со вставкой повторных контролей:

a) O, N, P, O, NP, NKP, O,
b) N, O, P, O, NP, O, NKP.

Нередко встречается другой способ сокращения восьмерной схемы в пятерную — это выбрасывание тех делянок, где удобрения вносятся поодиночке; остается следующее: O, 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 склонны применять все три вида удобрений; действительно, их относительная важность при этом способе скажется. Но в хозяйстве, где приходится искать пока хотя бы одного экономически выгодного рода удобрений, нельзя обойтись без делянок с одиночными удобрениями; поэтому для нас первый способ сокращения является во многих случаях более допустимым с тем конечно, что на роль третьестепенного элемента не всегда попадает K, а иногда и N, например на луга, где представлены бобовые, на торфяниках, клеверищах и пр.

Тогда схема получит иной вид:

O, K, P, KP, NKP

или лучше:

K, O, P, O, KP, O, NKP.

Когда выяснено, в каких веществах нуждается почва, тогда можно отыскать подходящую форму и количество удобрений, например сравнивая фосфорит, томасов шлак, кость с суперфосфатом, установить относительное действие каждого удобрения. 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); но 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 почва в случае отрицательного результата опыта не нуждается совсем в фосфорной кислоте; может быть она нуждается в ней, но форма удобрения непригодна для данной почвы; может быть наконец почва нуждается в фосфорной кислоте и данная форма ее 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 ставить 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 (как это бывает в случае чистых паров на черноземе), 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+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 у нас в отличие от севооборотов Бельгии, Голландии и Англии (вроде норфолькского) сеется не просто клевер, а клевер с тимофеевкой и остающаяся на 3-й год тимофеевка потребляет азот, накопленный клевером; азот этот 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.

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 размер внесенного удобрения: не все равно, вносить ли при совершенно однородных участках большее или меньшее количество удобрения, так как при большом количестве испытываемых удобрений происходит сглаживание разниц между различными удобрениями, при малом, наоборот, — разницы подчеркиваются более рельефно.

Пусть например мы сравниваем суперфосфат и какой-нибудь шлак, у которого коэфициент использования=50%. Пусть на данной почве способны произвести наибольший эффект 45 кг P_2O_5 на га. Если, не учтя этого, мы внесем 90 кг P_2O_5 в форме суперфосфата и шлака, то не получим никакой разницы, потому что половина P_2O_5 в суперфосфате не будет действовать, как избыточная, а 90 кг P_2O_5 томасова шлака, действуя наполовину, произведут такой же эффект, как и фосфорная кислота суперфосфата. Но разница между этими удобрениями вполне обнаруживается, если мы возьмем вдвое меньшие количества. Таким образом лучше в подобных случаях предварительно устанавливать известную градацию, испытывая одиночное, полуторное, двойное количество удобрения, и брать в конце концов настолько малые количества, чтобы всегда изучаемый фактор был в положении минимума.

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 (и часто и уборки) теми методами, какие применяются в полевой культуре при данных условиях хозяйства, но бывают 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, когда например

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 картофеля 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.

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. При 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 НИУ, которое занимается именно вопросами сравнения удобрений, намечаемых промышленностью к выпуску (и которые в этих случаях еще преждевременно давать на опытные станции НКЗ и пускать в широкое обращение), значение этого приема характеризуется таким возрастением общего числа мелких делянок:

1928	800
1929	1 100
1930	5 000
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.

Сама по себе площадь делянки конечно не может иметь влияния на урожай, это есть 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 размер делянки вызывать не будет, но может быть различие от больших делянок, если на малых делянках применяется например обработка лопатой вместо вспашки. Однако разница от иной обработки оказывается меньшей, 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 на картофеле равной 23% (для овса — 11%), а прибавка от добавочной площади питания (за счет дорожек между делянками) при переходе к 2-метровым делянкам была равна 27%, а за счет добавочной площади питания (при 2-метровых делянках) получалась прибавка в 82% (для овса все раз-

ницы 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 м	20 м	2 м
Повторность	4-	6-	8-
	кратная		

Отсюда видно, что переход к малым делянкам означает весьма крупную экономию на площади под опытами, и при известной цели опыта этими методами можно пользоваться в целях осуществления значительно большего числа опытов, чем было бы возможно провести при больших делянках.

1. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВЫ В УДОБРЕНИИ

Ввиду сложности и дороговизны полевых опытов и невозможности в короткое время с достаточной детальностью охватить этим 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 увеличение густоты сети полевых опытов и таким образом ускорить разрешение ряда вопросов, что особенно важно для наших современных условий, когда на фоне отсутствия в прошлом как массового опыта по применению удобрений, так и отсутствия развитой сети агрохимических опытных станций приходится быстро перейти к применению минеральных удобрений в масштабе Германии.

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 ответить например на вопрос, следует ли в этом году на данной почве применять фосфорнокислые удобрения или нет. Ведь 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, то 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 сто раз большем 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 элемента (например 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 одну сотую часть 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, невозможно, 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 корневые выделения 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 из всей массы почвы будет итти иначе, чем это делают корни люпина; а если мы возьмем только начальную реакцию pH=5,0, то после ее взбалтывания с почвой она 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, поэтому 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 разная. Кроме воздействия растения в почве идет еще и ряд биологических процессов, от которых зависит ход растворения (а иногда выведения из раствора) тех или иных соединений, важных для жизни растения.

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 ее объем, или подобно тому, как нельзя судить о годовой производительности суперфосфатного завода по тому количеству готовой продукции, какое мы застали на 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 т о й ч а с т и вещества, которая перешла в раствор, — то приходится в этих случаях брать более сильный реактив (1-процентная или 2-процентная 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 позволял бы только 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-процентный раствор в способе Кенига, то же у Леммермана и Фрезениуса), другие — азотной (Зигмонд) или соляной кислотой — 0,2-нормальной (Кирсанов), третьи — водой с углекислотой (Диркс и Шеффер), четвертые — водой (Антонин Немец и М. Врангель). В способе Врангеля имеется интересный подход применения 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, способной перейти в раствор P_2O_5 по изменению показаний первых двух вытяжек). В способе Диркса 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_3 и $Ca(HCO_3)_2$; по некоторым указаниям этот метод оказался например более подходящим для почвы Египта, чем лимоннокислая вытяжка.

Как выше сказано, все эти методы условны, и для каждой почвенной зоны требуется свой выбор и своя «пришлифовка» метода к местным особенностям, на основании сопоставления с данными полевых методов.

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.

2. ПОПЫТКИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД В ЦЕЛЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВЫ В УДОБРЕНИИ

1. Митчерлихом была сделана попытка использовать вегетационный метод для определения запаса усвояемых веществ в почве, чтобы на основании этого определения можно было делать указания о дозах удобрения, необходимых для поднятия урожая до того или иного уровня. Мотивы для такой замены заключаются главным образом в следующем: 1) гораздо скорее и дешевле испытать значительное число почв на одной вегетационной станции (Mitscherlichstation), чем хорошо провести соответственное количество полевых опытов, легче организовать компетентный надзор и, если нужно, находу произвести необходимые анализы; 2) опыты не могут быть испорчены резкими отклонениями погоды, колебания результатов (отклонения по отдельным годам) гораздо меньше, чем в поле, вредители также гораздо легче могут быть устранены. Установивши эмпирическую формулу хода возрастания урожая под влиянием возрастающих доз того или иного удобрения, Митчерлих ставил различные почвы в условиях одинакового увлажнения, освещения и пр.[1] и затем, сравнивая например урожай на данной почве без P_2O_5 (на фоне NK) с урожаем по полному удобрению, он определяет по формуле, сколько имеется усвояемого P_2O_5 в данной почве и сколько нужно прибавить P_2O_5, чтобы поднять урожай до такого процента от максимального урожая. Вместо пользования формулой Митчерлих составил также таблицы, по которым можно находить величину запаса (напр., P_2O_5) в почве, если известно, какой урожай (в процентах от максимального) дает данная почва без внесения P_2O_5 (на фоне NK).

[1] Определенная техника постановки этих опытов описывается в инструкциях, но здесь входить в эти подробности излишне.

Хотя Митчерлих выставил некоторые общие положения, которые не подтвердились (постоянство коэфициентов действия факторов роста и их независимость друг от друга), но при известных условиях можно пользоваться этим методом чисто эмпирически, подобно тому, как используется условно метод кислотных вытяжек, несмотря на отсутствие принципиальных оснований ожидать постоянного совпадения этого метода с показателями растения.

Однако при подобном пользовании нужно иметь в виду следующее:

1) Так как в сосудах (помимо иной влажности и пр.) почва отделена от подпочвы, а в поле растения используют и подпочву, то Митчерлих на основании опытов, проведенных в Восточной Пруссии, для перехода к полевым растениям помножает на 2 запас питательных веществ, определенный с помощью вегетационного опыта. Но опыты, проведенные в НИУ по плану А. Н. Лебедянцева, показали, что переводный коэфициент для Московской области тоже близкий к 2 резко возрастает при переходе от неглубоких почв подзолистой полосы к черноземам, в которых почвенный слой является гораздо более мощным, чем пахотный, и для кубанского чернозема этот коэфициент доходит до 7 (т. е. еще раз подтверждается, что фактором, обусловливающим меньшую потребность черноземных почв в азотистых удобрениях, является *глубина* залегания этих почв, но вовсе не хорошая усвояемость азота почвенного слоя, которая процентно ниже, чем у подзолов).

Таким образом при работе по способу Митчерлиха для каждой почвенной зоны должен быть установлен свой переводный коэфициент.

2) Так как процент совпадений показаний метода Митчерлиха с данными полевого опыта не выше, чем показания слабокислотных вытяжек, то естественно, что из двух одинаково условных методов чаще будет предпочитаться тот, который не требует целого вегетационного периода для своего проведения и кроме большей быстроты отличается еще и большей дешевизной, т. е. метод слабокислотных вытяжек.

2. Главное из сказанного по поводу метода Митчерлиха относится и к методу Виссмана. Последний не пользуется никакими формулами, никакими априорными положениями, и кривую роста урожаев он получает эмпирически, внося в песчаные культуры например возрастающие количества P_2O_5, тогда урожай каждой почвы без P_2O_5 (в присутствии NK), сопоставленный с урожаем в песчаных культурах, позволяет определить, какой дозе усвояемой P_2O_5 он отвечает, т. е. *каков запас* P_2O_5 в *данной почве*. Но все, что сказано выше относительно переводного коэфициента для разных почвенных зон по поводу Митчерлиха, относится и к способу Виссмана, также и относительно процента совпадений с полевым опытом и большей продолжительности по сравнению с химическими методами.

3. Более скорым является определение потребности почвы в фосфоре и калии по способу Нейбауера, который проводит опыт с проростками ржи, заканчивающийся в 2½ недели. 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 (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 — 16 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 имеем дело просто с эмпирическим приемом, при котором корневая система ржаных проростков заменяет слабокислотную вытяжку; но краткосрочную вытяжку легче провести в постоянных условиях (температура и пр.), чем 17-дневный опыт с растениями.

Вероятно представило бы интерес испытание подобного метода 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 O, N, P, NP, NPK или O, K, P, KP, NPK, 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 гораздо меньше площади и средств, чем вегетационный опыт по Митчерлиху, и не требовало бы того расхода на реактивы, какого требует способ Нейбауера.

3. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВЫ В УДОБРЕНИИ

В ряде методов в качестве показателя богатства почвы тем или иным питательным веществом используется не высшее растение, а бесхлорофильные организмы, что кроме уменьшения масштабов и сокращения срока опытов позволяет работать вне зависимости от солнечного освещения. Первое предложение использовать для этой цели плесневый гриб (Aspergillus niger) сделано было В. С. Буткевичем в 1909 г., и соответственные опыты были проведены в его лаборатории Костелецким; при этом о количестве усвояемой P_2O_5 судят не по анализу гриба, а просто по взвешиванию мицелия, развившегося на питательных растворах, в которые не вносится фосфора (или калия) в виде солей, они даются лишь в виде определенных навесок изучаемых почв. Недавно (1930 г.) в Германии было обращено внимание на этот способ Никласом, который несколько изменил питательный раствор, в котором развивается Aspergillus, и последующую технику культуры гриба (которая ведется в течение 6 дней) и высушивания мицелия. В качестве примера приведем следующее сопоставление показаний этого метода со способом Нейбауера:

	№ почвы								
	29	30	1	82	19	76	11	62	50
Вес Aspergillus . .	0,82	0,94	1,21	1,42	1,61	1,80	2,34	3,30	5,10
Калий по Нейбауеру	7,8	11,9	10,1	18,0	21,7	26,0	31,7	44,9	78,1

Кроме Aspergillus пользуются культурами Azotobacter для определения потребности почвы в фосфорной кислоте (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, предложенном Е. Е. Успенским, подсчет колоний производится даже через 24 часа).

Для того чтобы дать понятие о характере данных, получаемых по разным методам определения потребности почв в удобрении, приведем примерные сводки опытов НИУ (по статье А. Н. Лебедянцева) с оговоркой, что так как не все методы применялись к почвам разного типа в достаточно большом числе случаев, то устойчивость цифр не является одинаковой для всех методов, и необходимо увеличение числа данных. Но для нашей цели с известной условностью все же можно воспользоваться и этим сопоставлением.

В итоге можно сказать, что все предлагавшиеся методы не заменяют полевого опыта, но они могут, с одной стороны, помочь распространению данных полевого опыта соответственно границам той или иной почвенной разности, изучению как морфологической, так и химической и других сторон, а с другой стороны, они могут способствовать пониманию фактов, устанавливаемых полевым опытом, и служить исходным пунктом при постановке новых опытов (см. таблицы на стр. 367 — 368).

4. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД И ЕГО ОСНОВНАЯ РОЛЬ В АГРОХИМИИ

В то время как задачей полевого опыта является учет тех размеров действия удобрения, какие осуществляются в реальной обстановке, задачей вегетационного метода является *вскрытие существа процессов и уяснения 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; но чтобы открывать новые процессы, измерять неучтенные еще различия, легче сначала пользоваться вегетационным методом, чтобы затем переносить испытание новых приемов и в поле.

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. не говоря о том, что и основные вопросы физиологии корневого питания были разрешены теми же агрохимиками, которые не ограничивались опытами в водных и песчаных культурах, и тем разрешили вопросы, на которые в то время не было ответа в физиологии растений.

Потребность в азоте почвенных зон Союза по разным методам

Почвы	Эффективность азота в процентах от PK (полевой опыт)	Запасы в ц/га (по Митчерлиху)		Переводный коэфициент
		Полевые опыты	Вегетационные опыты [1]	
Подзолистые	80	1,7	1,50	2
Серые лесные земли	63	1,6	1,40	2
Деградированные и выщелоченные черноземы	55	2,1	1,95	3
Мощные черноземы	51	3,3	3,16	3,5
Обыкновенный чернозем	25	3,9	3,80	4
Каштановые почвы	4	4,4	4,20	7
Сероземы	18	3,7	3,57	5,5

Потребность в калии почвенных зон Союза по разным методам

Почвы	Эффективность калия в процентах от NP (полевой опыт)	Запасы в ц/га (по Митчерлиху)		Нейбауер
		Полевые опыты	Вегетационные опыты	Мг K_2O на 100 г почвы
Подзолистые	27	0,91	1,50	15,5
Серые лесные земли	18	1,04	1,40	23,2
Деградированные и выщелоченные черноземы	15	1,02	1,5	22,8
Мощные черноземы	15	1,07	1,7	25,1
Обыкновенные черноземы	7	1,17	1,9	35,1
Каштановые почвы	10	1,25	2,1	44,6
Сероземы	—	—	3,5	58,4

[1] При различной величине переводного коэфициента.

Потребность в фосфоре почвенных зон Союза по разным методам

Почвы	Эффективность фосфора в процентах от NK (полевой опыт)	Запасы в ц/га (по Митчерлиху)		Содержание усвояемой P_2O_5 по		
		Полевые опыты	Вегетационные опыты	Леммерману	Аррениусу	Нейбауеру
				мг P_2O_5 на 100 г почвы	мг P_2O_5 на 100 г почвы	мг P_2O_5 на 100 г почвы
Подзолистые	56	1,02	0,92	19,7	12,4	3,9
Серые лесные земли .	27	1,19	1,16	17,3	12,5	5,1
Деградир. и выщел. черноземы	44	1.04	1,15	14,9	10,8	3,8
Мощные черноземы . .	24	1,20	1,15	15,7	6,9	3,1
Обыкн. черноземы . .	16	1,29	0,90	13,2	7,7	3,1
Каштан. почвы . .	1	1,87	1,21	13,1	7,5	5,3
Сероземы	14	1,41	0,67	17,3	16,4	4,5

Переводные коэфициенты для разных почвенных зон

Определяемый элемент	Почвы / Методы	Подзолистые	Серые лесные	Деград. и выщел. черноземы	Мощные черноземы	Обыкнов. черноземы	Каштановые почвы	Сероземы
Азот	Вегетац. метод .	2	2	3	3,5	4	7	5,5
	Метод Кенига [1] . .	1	2	3	3,5	3,5	5	5
	Вегетац. метод .	1,1	1,0	0,9	1,0	1,4	1,6	2,1
Фосфор	Метод Леммермана	0,5	0,6	0,6	0,7	0,9	1,3	0,7
	Метод Аррениуса .	0,7	0,9	0,9	1,6	1,6	2,3	0,8
	Метод Нейбауера .	0,5	0,5	0,5	0,7	0,3	0,6	0,6
Калий	Вегетацион. метод .	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	—
	Метод Нейбауера .	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	—

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, именно вегетационного метода, понимая под ним опыт с почвой, но 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 самых почв и растений.

Интересно отметить, что исторически переход к вегетационному методу произошел из стремления устранить изменчивость показаний полевого метода путем смешения почвы.

[1] Обработка почвы 1-процентным раствором K_2SO_4.

Первые шаги в этом направлении принадлежат Ганаманну, который еще в 70-х годах употреблял для своих опытов участки земли площадью в 1 кв. м, отделенные друг от друга цементными стенками и без дна, так что почва этих участков (тщательно перемешанная) не теряла связи с подпочвой. Ганаманн 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 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 перемешал и соседнюю почву, перемешал цемент, окружил 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 урожаях сказывалось влияние подпочвы, неодинаково влажной, так как уровень грунтовых вод был неодинаков в различных концах вытянутой полосы участков. Кроме того строение почвы в различных местах участков было неодинаково: средина делянок была плотнее, потому что при наполнении участков земля, выбрасываемая из тачек и разравниваемая послойно граблями, все-таки ложилась плотнее в середине; благодаря этому здесь были лучшие условия доставления влаги и нитратов, и растения в средине развивались лучше.

Вагнер дренировал участки, для того чтобы парализовать действие грунтовых вод, но ниже 10% колебания отдельных показаний не спускались.

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 можно весьма совершенно: можно иметь строго одинаковое число растений во всех сосудах. Влияние одностороннего освещения устраняется так, 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 усло-

[1] Landw, Jahrbücher, 1883; Journal für Landwirtschaft, 1880.

виях влажности, света и тепла, и таким образом лучше учесть роль почвы, чем это возможно в опыте полевом. 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, недоразуменного свойства, 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, устраняя боковое освещение сосуда (рельсы укладываются тогда на дне траншеи), но ведь искусственным условием является уже и то, что мы поддерживаем оптимальную влажность, 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 избегать вредных влияний и стремиться к созданию оптимальных условий роста растений.

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, нетождественны*; вегетационный метод позволяет лучше изолировать отдельные факторы и изучать их влияние при большем постоянстве и определенности остальных условий; полевой опыт, наоборот, лучше позволяет 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; учесть влияние различных степеней влажности на растения в связи с действием удобрений; сравнивая песчаные культуры с почвенными, учесть роль почвы. Но для решения вопросов о размерах действия удобрений и об оплате удобрений в хозяйстве необходимо прибегать к полевым опытам, так как для производства важно знать размеры действия удобрений при реальных условиях: обычной влажности, обычном строении почвы, наличности насекомых и других невзгод, а не при оптимальных, неосуществляющихся на деле условиях.

Характерный пример влияния приложения вегетационного метода к разрешению агрохимических проблем мы имеем в истории фосфоритного вопроса у нас: после того как А. Н. Энгельгардт в 80-х годах доказал полевыми опытами, что фосфоритная мука может служить удобрением для озимой ржи, проведено было не мало 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* (И. А. Стебут), 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) 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, а 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 растворяющее влияние физиологически кислых солей на фосфорит, причем основные черты разрешения этого вопроса наметились уже в первые 2—3 года опытов [2].

Иногда к вегетационному методу предъявляются запросы, 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,

[1] К выставке 1895 г. Московским обществом сельского хозяйства заказана была погубернская 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.

[2] При этом нужно отметить, что в то время (1896—1898) 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 2 ассистентов), и тем не менее 2—3 года вегетационных опытов внесли большую ясность в этот вопрос, чем почти 20 лет одних только полевых опытов.

что произойдет перемещение минимума, тогда почва, в полевом опыте проявившая потребность прежде всего в одном веществе, в вегетационном опыте может оказаться нуждающейся в первую очередь в другом.

Так например в вегетационном опыте черноземные почвы, обнаруживающие в поле недостаток фосфора, в сосудах начинают обнаруживать еще и недостаток азота, притом 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 изменит 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.

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 уже цинковые сосуды оказываются 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 внутри приходится покрывать стенки сосудов особым лаком (или смолой) [2].

[1] Подробности смотри во II томе отчетов СПБс.-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 Дечриена, написанную Франкфуртом, статьи Dafert Mitscherlich в Landw. Jahrbücher, 1903, Lemmermann — в Journal für Landwirtschaft, Band 51и 53; Гедройца (к методике вегетационных опытов в 6 вып. трудов СПБ. с.-х. лаборатории и пр.) и позднейшую книгу Pfeiffer «Der Vegetationsversuch».

[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 Гарденины, Воронежск. губ.), выращивая растения (хлеба и свеклу) в *обыкновенных железных ведрах* (их так лучше покрывать изнутри олифой, лаком или парафином, если желают избежать влияния ржавчины, например на растворимые фосфаты).

Размер сосудов зависит от рода культур; так для злаков при песчаных культурах пригодны уже *сосуды 15×25 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 Hellriegel.

Для защиты сосудов от нагревания или красят их снаружи белой краской (цинковые сосуды) или же надевают на них подвижные картонные чехлы (стеклянные сосуды).

На дне сосудов обычно создается известного рода дренаж, куда бы мог стекать избыток воды при поливке сверху, или где мог бы сосредоточиться известный запас воды до поступления ее в почву (при поливке снизу). Этого достигают или насыпая к одной стороне сосуда (горкой) гравий, в который погружается конец трубки для поливки (рис. 40), или вводя цинковый жолоб, обращенный вниз (Вагнер), или же, как это практикуется у нас (с 1897 г. по предложению В. В. Винера, бывшего тогда ассистентом при кафедре), создавая кольцеобразное пространство путем введения полуконус [1].

Средой для культур является или почва, или песок, или растворы необходимых солей непосредственно в дестиллированной воде.

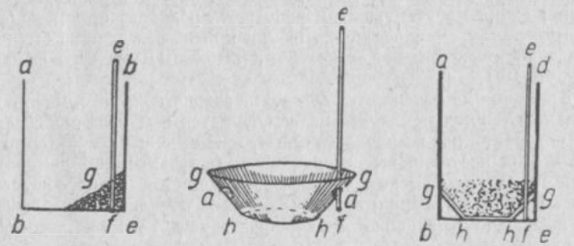


Рис. 40.

Почва перед наполнением сосудов просевается и тщательно перемешивается; чтобы знать количество сухой почвы в сосудах и вводить воду по весу, можно или приводить всю почву в воздушно-сухое состояние, или же, не доводя до такого состояния (в интересах более благоприятного строения, во избежание нежелательных явлений при смачивании пересушенной почвы), определяют влажность почвы (отбирая постепенно среднюю пробу одновременно с постепенным наполнением сосудов). Почва должна быть до известной степени уплотнена (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 ведется промывание значительных масс крепкой соляной кислотой, затем простой водой до исчезновения кислой реакции и дестиллированной — 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 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.

[1] Эти полуконусы сначала делались медные (луженые), что обходилось дорого; затем мы пробовали делать стеклянные, но они были не дешевы и ломки; теперь мы остановились на фарфоровых, которые при значительной правильности и чистоте обходятся в 3 раза дешевле медных.

Помимо химического состава имеет значение крупность частиц песка; при излишней крупности он 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%), и лишь при смешении с песком (перед наполнением сосудов) отмеренные объемы растворов солей, так Гельригель пользовался при своих опытах следующими нормами: на 1 кг песка берется 1 эквив. KH_2PO_4 (0,136 г), 3 эквив. $Ca(NO_3)_2$ (0,492 г), 0,5 эквив. $MgSO_4$ (0,060 г), 1 эквив. KCl (0,075 г) и (0,025 г) $FeCl_6$ или $FePO_4$; этот расчет относится к безводным солям [1] (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.

И наоборот — для требовательных растений (например капуста) 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 ввести ни одного невсхожего 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 2 растения (хлебные злаки) на 1 кг песка; 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 которыми, если они снабжены стенами, упрочилось нехарактерное название «теплиц», оранжерей; нехарактерны эти названия потому, что в этих неотопляемых 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 Яновчиком, лучше выражало бы сущность задач, преследуемых устройством этого вида оранжерей, чем слово «теплица».

Если рельсы теплицы направлены с востока на запад, то вагончикам удобно придавать согласно предложению проф. Коссовича вид как бы двух ступеней лестницы, обращенной на юг, чтобы растения в сосудах, обращенных к югу, не затеняли растений северной (возвышенной) половины вагончика.

Поливка в сосудах с удобством регулируется по весу, причем доводят ежедневно 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 зависит от энергии развития растений, ибо чем больше растение понизит влажность почвы против нормы, тем больше мы дадим 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 равные количества воды на разных деляпках).

---

[1] Гельригелевская смесь (как и близкий к ней кноповский раствор) дает хорошие результаты при опытах со злаками; для других растений у нас нередко получались лучшие результаты при введении вместо $KH_2PO_4 + Ca(NO_3)_2$ комбинации $CaHPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$; однако NH_4NO_3 нельзя использовать как источник азота при опытах по сравнению фосфатов, ибо он является для них растворителем, а следовательно сгла[illegible] растений к нему. О нормальных смесях см. работы Кнопа, Стольгане, Якушкина и Цицадзе в наших отчетах о вегетационных опытах (Наш обзор в Soil Science, 1926 г. и в приложении к XIV отчету о вегетац. опытах).

Обычно поливка ведется внизу, 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 приложены 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.

Проф. Д. В. Дружинин

ХРАНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

1. Свойства удобрений, с которыми нужно считаться при хранении

В практике применения удобрений зачастую приходится иметь дело с их хранением в течение того или иного промежутка времени до момента внесения удобрений в почву. Указания по хранению удобрений на открытом воздухе или в помещениях, высота куч при хранении россыпью или высота штабелей при хранении в таре зависят от свойств удобрений. Хранение удобрений в ненадлежащих условиях может повести или к частичной потере питательных веществ в них или к потере питательного достоинства, или, что чаще всего имеет место при плохом хранении, сильно ухудшается способность удобрений к рассеву. Следующие свойства удобрений имеют практическое значение при их хранении:

1) объемный вес и объем единицы веса,
2) гигроскопичность и влажность,
3) слеживаемость,
4) рассеваемость,
5) кислотность и
6) специфические свойства отдельных удобрений, требующие особых мер предосторожности как при их хранении, так и при рассеве.

1. О б ъ е м н ы й в е с и о б ъ е м е д и н и ц ы в е с а. Эти свойства удобрений имеют значение при хранении и смешивании. Располагая данными об объеме единицы веса, можно точнее определить размер площади для хранения удобрений на складах, в сараях и тому подобное и можно точнее рассчитать затрату времени на работу при изготовлении смесей. В таблице 1 приведены данные по объемпому весу и по объему единицы веса наиболее распространенных удобрений. Для удобства пересчета с количества питательных веществ в удобрениях на их действительный вес и на занимаемый ими объем в этой же таблице приведено среднее содержание N, P_2O_5 и K_2O в том или ином т у к е.

Следующий пример иллюстрирует значение таблицы 1:

Хозяйство получает 50 т суперфосфата и 100 т томасова шлака; оба удобрения должны быть сохранены россыпью до внесения в поле в течение 1—2 месяцев. Необходимо рассчитать площадь пола помещения, где будет сложен суперфосфат и томасов шлак, которые должны храниться отдельно друг от друга. Так как суперфосфат должен храниться в зависимости от его влажности в кучах высотою 1,25 или 1,75 м, то следовательно имеем: 50 м² × 1,02 = 51 м³ объем получаемого количества суперфосфата, приготовленного из фосфорита; при влажности 17—18% он может быть насыпан не выше 1,5 м; таким образом для его хранения должна быть подготовлена в закрытом помещении площадь не менее 34 кв. м (51 : 1,5) [1]; для томасова шлака, имеющего высокий объемный вес, а сле-

[1] Не учитывая угла естественного откоса, который в среднем можно принять за 40°.

Таблица 1

Объемный вес и объем тонны удобрений

Удобрение	Вес 1 куб. м (в тоннах)	Объем 1 т удобрений	Среднее содержание (в %)			Удобрение	Вес 1 куб. м (в тоннах)	Объем 1 т удобрений	Среднее содержание (в %)		
			P_2O_5	K_2O	N				P_2O_5	K_2O	N
Фосфоритная мука из Вятского и Егорьевского фосфоритов	1,62—1,68	0,62—0,59	Около 20	—	—	Сильвинит соликамский	1,07—1,1	0,94—0,91	—	14	—
Суперфосфат из фосфорита	0,98	1,02	14—16	—	—	Карналлит соликамский	0,9	1,11	—	9—12	—
Суперфосфат из апатитового концентрата	1,02—1,08	0,98—0,93	18	—	—	Калийные соли	0,94—1,18	1,06—0,85	—	30—50	—
Суперфосфат двойной	0,87	1,15	35—45	—	—	Технический хлористый калий	0,94	1,13	—	Выше 55	—
Преципитат	0,86—0,87	1,16—1,15	30—35	—	—	Сульфат калия	1,3	0,77	—	48—52	—
Томасшлак	2,01—2,05	0,5—0,49	16	—	—	Аммонизированные простые суперфосфаты	0,965	1,035	16—18	—	2—6
Костяная мука сыраи	0,86	1,12	16—23	—	2—6	Калийный суперфосфат	0,87—0,97	1,15—1,03	—	—	—
Сульфат аммония	0,89	1,12	—	—	20,5	Азотнокислый калий	0,97	1,03	—	46	13
Аммиачная селитра	0,81	1,23	—	—	35	Потазот	0,75—0,8	около 1,0	—	24	12
Чилийская или натровая селитра	1,03—1,38	0,72 0,94	—	—	16 16	Кровяная мука	0,49	2,04	1—1,5	—	12
Норвежская селитра	0,91—1,13	1,1—0,88	—	—	13	Рыбная »	0,5	2,0	14—15	—	7—9
Хлористый аммоний	0,58	1,72	—	—	24	Мука из хлопковых семян	0,6	1,67	1—1,5	—	6
Цианамид кальция	0,60—0,61	1,67—1,64	—	—	20—22	Гипс	0,75	1,0	—	—	—
Лейна-селитра и монтан-селитра	0,87—1,0	1,15 1,0	—	—	27 27	Известковая мука	1,04	0,98	—	—	—

довательно и пониженный объем тонны и кроме того, как для удобрения совершенно не гигроскопичного и мало слеживаемого, высота кучи может быть доведена до 2—3 м; таким образом для 100 т томасшлака надо подготовить площадку всего лишь около 20 кв. м ($100 \times 0{,}5 : 2{,}5$).

2. На условия хранения удобрений сильно влияет содержание в них влаги. Удобрения с повышенным содержанием влаги подвергаются более сильному слеживанию, чем относительно сухие удобрения.

Степень и скорость поглощения тем или иным удобрением влаги зависят от толщины слоя удобрения и от естественной влажности окружающего воздуха. Кроме того поглощение влаги удобрениями зависит от упругости паров воды над насыщенным раствором данного удобрения. Этим и обуславливается скорость поглощения удобрениями влаги из воздуха и их гигроскопичность. В подавляющем большинстве случаев гигроскопичность удобрения тем выше, чем меньше упругость содержащихся в нем паров воды по сравнению с упругостью водяных паров (относительная влажность) окружающего воздуха; другими словами, чем больше разница между упругостью паров воды в воздухе и упругостью паров над насыщенным раствором данного вещества, тем гигроскопичнее удобрение.

Представление об относительной гигроскопичности растворимых удобрений дают нижеприводимые данные (см. табл. 2).

Таблица 2

Относительная гигроскопичность удобрений

Удобрение	Давление паров насыщенного раствора в *мм* при t°:					Относ. влажность воздуха в равновесии с насыщенным раствором в % при t°:				
	10°	15	20°	25°	30°	10°	15°	20°	25°	30°
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	—	7,16	9,73	12,04	14,88	—	55,9	55,4	50,5	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	19,5	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	29,6	98,0	98,4	96,2	95,4	92,7
K_2SO_4	9,06	12,78	17,30	23,56	30,68	99,1	99,7	98,5	98,8	95,7

Давление паров воды над водой при 15° равно 12,788 *мм*, следовательно, при этой температуре разница в давлении паров воды и насыщенных растворов особенно велика у норвежской и аммиачной селитры (5,628 и 3,638) и ничтожна у калийной селитры и сульфата калия. Эти два удобрения практически негигроскопичны. При 15° и при относительной влажности окружающего воздуха 80 % только норвежская и аммиачная селитра, хлористый натрий и натронная селитра будут поглощать влагу[1]. В частности благодаря тому, что

[1] В зимнее время при низких температурах обычно разница в упругости паров воздуха и насыщенных растворов солей уменьшается, поэтому и скорость поглощения влаги гигроскопичными удобрениями значительно снижается.

сильвинит содержит много хлористого натрия, он по гигроскопичности стоит выше хлористого калия или 40% калийной соли. Так как поглощение влаги удобрениями зависит от относительной влажности окружающего воздуха, то, регулируя при хранении удобрений влажность воздуха в помещении, можно избегнуть избыточного поглощения последними влаги. При относительной влажности воздуха, равной 66%—70%, азотнокислый аммоний совсем не поглощает воды, а суперфосфат при 84% относительной влажности и при температуре 18—20° теряет содержащуюся в нем влагу. В заграничной практике ценные азотнокислые удобрения сохраняют в отапливаемых помещениях, где можно регулировать относительную влажность воздуха и избежать слеживания таких удобрений, как азотнокислый аммоний, мочевина и норвежская селитра. В специально построенных складах для удобрений или в приспособленных для хранения удобрений 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.

3. Слеживаемость удобрений связана с их способностью комковаться и с их способностью образовывать твердые массы. На способность образовывать большие комья или сплошные слитые массы сильно влияет содержание влаги в удобрении и давление. Например суперфосфат с нормальным содержанием влаги в кучах до 1,75 м не слеживается или слабо слеживается, а суперфосфат с 18—20% влаги и тем более выше, будет слеживаться в кучах высотой в 1,5 м и ниже.

Негигроскопичные удобрения (например томасов шлак, костяная мука белая) при нормальных условиях хранения не слеживаются.

О способности к слеживанию удобрений судят по их 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 табл. 4 дана относительная слеживаемость отдельных удобрений по четырехстепенной оценке: не слеживается, мало слеживается, слеживается и сильно слеживается.

Способность удобрений образовывать сплошные твердые массы при хранении связана главным образом с химическими реакциями, происходящими при соприкосновении удобрений с другими, о чем несколько подробнее будет сказано в разделе о смешивании искусственных удобрений.

4. Рассеваемость удобрений, имея в виду главным образом рассев сеялками, зависит от размера частиц (зерен), от вязкости, удельного веса, влажности самих удобрений и от влажности и температуры окружающего воздуха.

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 оказывают относительная влажность и температура окружающего воздуха. Например суперфосфат с нормальным содержанием влаги при относительной влажности воздуха, равной 40%, слишком пылит, а при относительной влажности в 90% может мазаться; лучше всего он просеивался при 70—80% относительной влажности. Азотнокислый и сернокислый аммоний хорошо просеивается при влажности меньше 70%; норвежская селитра при влажности воздуха в 60% хорошо просеивается при t 10° и плохо при 20°. Вообще пониженная температура способствует большей скорости просеивания удобрений. Для мало гигроскопичных удобрений (фосфоритная мука, томасшлак, рыбная мука и т. п.) влажность воздуха не имеет существенного значения.

Размер частиц удобрения оказывает влияние на их просеиваемость. Это особенно относится к гигроскопичным удобрениям, так как мелкие частицы, обладающие большей удельной поверхностью, быстрее поглощают влагу из окружающего воздуха, чем крупные. При относительно небольшом удельном весе и при очень мелких частицах некоторые удобрения (некристаллические) сильно пылят, что затрудняет их рассев. Для улучшения рассеваемости влажных и гигроскопичных удобрений рекомендуют их смешивать с торфяным порошком или с сильно пылящими удобрениями, которые обычно совсем негигроскопичны, например сильвинит с костяной мукой или цианамидом или преципитатом.

Не только величина, но и форма зерен и частиц удобрения оказывают влияние на их просеиваемость: кристаллические частицы просеиваются значительно медленнее, чем сферические, поэтому грануляция гигроскопичных кристаллических удобрений способствует лучшей их просеиваемости. Например в одном опыте было установлено, что кристаллическая мочевина в 3 раза медленнее просеивалась, 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 просеиваемости, заданное в начале соотношение между N, P_2O_5 и K_2O может значительно измениться в середине и к концу опоражнивания 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 (особенно при постановке опытов) явления можно лишь в том случае, когда удобрения не только хорошо смешаны, но также и тем, чтобы при рассеве удобрений они *непрерывно перемешивались в ящике туковой сеялки* особыми приспособлениями, и кроме того надлежит все время поддерживать более или менее одинаковую загрузку смеси удобрений в ящике.

Размер частиц удобрения определяется с помощью набора сит. Для этого берется навеска удобрения (обычно берется две-три навески) в 200 *г* и помещается в систему расположенных друг на друга сит, имеющих разный размер петлей. Остаток на верхнем сите характеризует количество частиц с диаметром большим, чем диаметр просвета петли сита, и понятно, что частицы, прошедшие через то

или иное сито, будут более мелкими, чем размер (диаметр) петлей этого сита.

В помещенной ниже таблице приведены две системы сит: одна немецкая (DIN[1]), другая — англо-американская (Тейлора) и для некоторых номеров приведена для сопоставления с системой Тейлора старая русская система сит, пока еще кое-где применяющаяся.

Таблица 3

№ сит по системе (число петлей на погонную меру)		Просвет петли (диаметр в мм)		Диаметр проволоки по системе DIN	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	По сравнению с Тейлором старая русская система то же № 16
10	10	0,6	1,651	0,4	
—	16	—	0,991	—	
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	—	

5. Кислотность удобрений относится исключительно 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 частично серной, а в сульфате и хлориде аммония — свободной серной или соляной кислотами. Свободная фосфорная и серная кислоты из суперфосфатов извлекаются ацетоном и определяются титрованием щелочью с метил-ротом и фенол-фталеином как индикаторами. Свободная серная или соляная кислота в сульфате и хлориде аммония легко определяется растворением определенной навески этих удобрений в воде при последующем титровании щелочью с метил-оранжем как индикатором.

Стандарт предусматривает предельное содержание свободной кислотности в сульфате аммония [2]. Свободная кислотность суперфосфатов и сернокислого аммония является причиной гигроскопичности суперфосфатов и сильно повышает гигроскопичность сернокислого аммония благодаря общеизвестному свойству свободных фосфорной и серной кислот жадно поглощать влагу из воздуха, а повышенное содержание влаги, как уже отмечалось ранее, понижает способность к рассеву как

[1] Deutchen Industrie Normenasschuss.

[2] Вновь разрабатываемый стандарт для суперфосфатов предусматривает также предельное содержание свободной кислотности.

суперфосфатов, так и сульфата аммония, повышая в то же время способность их к слеживанию. Кроме того свободная кислотность является неблагоприятным свойством при перевозке и хранении удобрений, разрушая транспортную аппаратуру, разъедая полы помещений для хранения, разрушая сеялки и затрудняя работу при смешивании и рассеве.

6. 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. 4). В таблице 4 приведены важнейшие свойства удобрений (кроме удельного веса и веса объема удобрений, см. табл. 1), а именно:

1) цвет и внешний вид,
2) упрощенные приемы по распознаванию удобрений,
3) гигроскопичность,
4) рассеваемость,
5) слеживаемость,
6) средняя влажность,
7) особые свойства.

2. 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. т;
2) пристанционные склады, вместимостью на 500—1 000 т;
3) внутрихозяйственные склады, вместимостью на 300—500 т.

Практика строительства складов для хранения удобрений за границей подчеркивает следующие важнейшие требования: во-первых, использование в качестве строительного материала кирпича или бута с бетонной облицовкой, причем очень важно стены помещения покрывать ежегодно сменяемой асфальтовой окраской, не поддающейся действию солей и кислот, или же обшивать стены досками. Дело в том, что многие удобрения, сохраняемые насыпью, соприкасаясь с каменной стеной, могут очень быстро испортиться в смысле потери своей структуры, теряя таким образом способность к хорошей их лежке и способность к рассеванию. Кроме того раз затронутая разъеданием каменная стена или бетонный пол будет быстро подвергаться дальнейшему разрушению из-за проникновения вглубь стены или пола солей; во-вторых, следует строить помещение таким образом, чтобы в его длину мог свободно проехать грузовой автомобиль или большая телега.

Последнее делается в целях удобства загрузки и разгрузки помещения, а также этот проход (обычно в середине сарая) может быть использован для смешивания удобрений или для размельчения слежавшихся; в-третьих, для хранения удобрений по обеим сторонам помещения располагаются лари, которые разделяются друг от друга каменной или деревянной перегородкой, в целях предупреждения смешивания удобрений. От среднего прохода лари отделяются деревянными выни-

Таблица 4

Важнейшие свойства удобрений [1]

Удобрение	Цвет и внешний вид	Упрощенные приемы распознавания	Гигроскопичность	Рассеваемость	Слеживаемость	Средняя влажность (норм.)	Особые свойства
Фосфоритная мука	Сухой, слегка пылящий, тонкий порошок, цвет серый, желтоватый, буроватый и иногда другие	В отличие от томасшлака, 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	Мягкий, крупнозернистый, цвет от белого до светлосерого, слегка вязок, легко образует комья	Обычно имеет характерный запах кислоты: pH в воде кислая на метил-оранж, более точно от 2,5 до 3,0 pH	Слабо гигроскопичен	Хорошая при нормальной влажности и хранении	Слегка слеживается при нормальной влажности и значительно-больше при повышенной	до 15%	Не должен иметь свободную кислотность выше 10% для простого и 12% для двойного. При повышенном содержании полуторных окислов 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%	То же
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 удобрен. или землей
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 фосфор. 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 тонкий порошок белого или сероватого цвета	При прибавлении к раствору щелочи (напр. золы) дает запах аммиака при подогревании, кроме того проба на барий	Слабо гигроскопичен	При нормальной влажности хорошая.	Мало слеживается при нормальной влажности	до 2%	Иногда имеет свободную серную кислоту
Натронная селитра и чилийская селитра	Тяжелый, часто влажный, кристалич., прозрачный, крупнозернист. продукт, цвет белый или буроватожелтоватый	Дает вспышку на угле; на вкус — едкая	Гигроскопична	Просеивается, 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, егорает, давая белый налет	Сильно гигроскопична	Просеивается только в сухом состоянии и при сухой погоде	Сильно слеживается	до 5%, с кристализ. водой до 25%	Во влажной атмосфере растекается
Азотнокислый аммоний	Белый кристаллический продукт, иногда с розоватым оттенком	Дает запах аммиака при прибавлении золы к раствору, при последующем нагревании дает вспышки на угле	То же	То же	Слеживается в мелкокристаллич. состоянии и почти не слеживается в гранулированном	до 5%	То же; способна к взрыву при детонации
Хлористый аммоний	Мелкокристаллический белый или желтоватый порошок	На угле дает белый дым и запах аммиака и соляной кислоты; проба на хлористое серебро в отличие от сульфата аммония	Слабо гигроскопичен	Хорошо просеивается, во влажном состоянии — плохо	Мало слеживается	до 3%	—
Лейнаселитра или монтан-селитра	Сероватый мелкокристаллический продукт	То же, что и для сульфата аммония и азотнокислого аммония	Гигроскопична	Просеиваются только в сухом состоянии и при сухой погоде	Слеживается	до 7%	При сильной детонации способны к взрыву
Цианамид кальция	Темносерый тонкий легкий порошок	При смачивании дает запах ацетилена	Не гигроскопичен	Просеивается хорошо	Почти не слеживается; во влажном помещении образует куски	Отсутствие влаги	Сильно пылит при рассеве, разъедая слизистые оболочки, необходимо работать в перчатках или рукавицах и защитных очках
Известково-аммиачн. селитра	Зернистый продукт сероватого цвета	Проба та же, что и для азотнокислого аммония, в отличие от последнего вся нерастворима, имеет щелочную реакцию	Сильно гигроскопична	Просеивается только в сухом состоянии	В гранулированном состоянии мало слеживается	до 5% и выше во влажном помещении	Способна к взрыву

[1] Главная часть данных этой таблицы позаимствована из работы Н. Е. Пестова «Свойства удобрений» Агрохимический справочник, изд. НИУ, в 1933 г.

Удобрение	Цвет и внешний вид	Упрощенные приемы распознавания	Гигроскопичность	Рассеиваемость	Слеживаемость	Средняя влажность (норм)	Особые свойства
Мочевина	Белый мелкокристаллический, иногда зернистый порошок	На вкус слегка горчит, вызывая холодящее ощущение. На угле легко плавится, дымит, пахнет аммиаком, сгорает	Гигроскопична	Просеивается только в сухом состоянии	Мало слеживается	до 2%	—
Калийная селитра	Белый кристаллический порошок	—	Совершенно не гигроскопична	Хорошая	Не слеживается	до 1%	—
Хлористый калий	Белый мелкокристаллический порошок	На вкус горько-соленый, проба на хлор с лящисом	Мало гигроскопичен	Хорошая в сухом состоянии, хуже во влажном	Слеживается	до 3%	—
Сернокислый калий	Порошкообразный мелкокристаллический продукт сероватого цвета	На вкус едкий и горький, проба с барием	Совершенно не гигроскопичен	Хорошая	Почти не слеживается	до 3%	—
Сернокислый калий-магний	То же	То же	Не гигроскопичен	Хорошая	Почти не слеживается	до 3%	—
30—40% калийные соли	Сероватого цвета порошкообразный мелкокристаллический продукт	То же, что и хлористый калий	Мало гигроскопичен	Хорошая	Слеживается	до 5%	—
Сильвинит	Кристаллический зернист. продукт розовато-бурого цвета с отд. красными кристаллами	То же	Мало гигроскопичен	Хорошая	Слеживается	до 3%	—
Карналлит	Расплывающийся на воздухе кристал. продукт красного цвета	То же	Сильно гигроскопичен	Рассеивается только в сухом состоянии	Сильно слеживается	до 3% с кристал. водой	При нахождении во влажном воздухе — расплывается

Аммофос	Порошок сероватого или белого цвета. В чистом виде кристалличен	В отличие от диаммофоса—слабо кислый	Не гигроскопичен	Хорошая	Не слеживается	до 2%	—
Диаммофос	То же	В отличие от аммофоса—нейтральный	Слегка гигроскопичен	Хорошая в сухом состоянии	Мало слеживается	до 3%	—
Аммиачный суперфосфат	Порошок серого цвета	Проба на суперфосфат и сульфат аммония	Не гигроскопичен	Хорошая	Сильно слеживается	5—12%	Имеет свободную кислотность до 10% H_3PO_4
Аммонизированный суперфосфат	То же	Проба на аммиак и суперфосфат	Не гигроскопичен	Хорошая	Не слеживается	до 10%	—
Калийный термофосфат	Тонкий тяжелый порошок серого цвета	Щелочная реакция	Не гигроскопичен	Хорошая	Не слеживается	Нет влаги	—
Потазот	Белый или сероватый кристаллический порошок	Проба на хлористый аммоний	Слабо гигроскопичен	Хорошая, но во влажном состоянии плохая	Несколько слеживается	до 3%	—
Нитрофоски	Мелкий кристаллический порошок, для экспорта разных цветов	То же	Мало гигроскопичен	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	Не гигроскопичен	Хорошая	В сухом состоянии не слеживается, во влажн. (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 другим орган. веществом

мающимися досками; в-четвертых, помещение должно быть равномерно и хорошо освещено; более пригодным является верхнее освещение, нежели боковое, получаемое от окон в стенах, так как при верхнем освещении (фонарями) создается более равномерная температура во всем помещении, и наконец, в-пятых, все окна и двери должны плотно закрываться, чтобы по возможности не проникала в помещение сырость из воздуха.

В наших условиях строительным материалом для складов для хранения удобрений чаще всего будет служить дерево. Деревянные стены этих складов должны быть хорошо проконопачены, а деревянные полы должны иметь хорошую пазовую притеску, чтобы устранить возможность просыпания удобрений через щели и устранить соприкосновение с землей сохраняемых удобрений; в противном случае 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.

При хранении удобрений на складах необходимо соблюдать следующие, общие для всех удобрений, правила.

1. В сухую, теплую погоду открывать днем все двери и окна, чтобы сменить воздух.

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 открывать двери с обеих сторон, так как в том случае, когда туковая масса имеет более низкую температуру, чем температура окружающего воздуха, на поверхности удобрений может происходить в том или ином размере конденсация паров воды, поглощаемых гигроскопичными удобрениями.

Ряд удобрений не теряет своего удобрительного качества от пламени и высокой температуры; к таким удобрениям относятся: томасшлак, термофосфат, кальций цианамид, фосфоритная мука и известковая мука (последняя даже выигрывает). Преципитат и суперфосфаты (не аммонизированные) под влиянием высокой температуры теряют влагу и переходят в более нерастворимые соли кальция, а иногда могут дать 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; удобрения, содержащие нитратный азот (натронная, калийная и норвежская селитра), на сильном жару выделяют кислород, плавятся и превращаются в нитриты. Нитриты легко поглощают воду, спекаются и плохо распределяются по полю, а кроме того, как известно из курса общей агрохимии, удобрительная ценность нитритов ниже, чем нитратов. Если в нагретые селитряные удобрения попадут тлеющие угли, то разложение селитры идет до образования углекислого натрия, калия или кальция с одновременной потерей азота. Аммиачная селитра разлагается сильнее, чем другие селитры. Органические удобрения — роговая мука, кровяная мука, гуано и прочие — могут быть огнем запалены и даже

зажжены. В обоих случаях 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. В подавляющем большинстве случаев приходится прибегать к сушке не растворившейся части и к сушке подмоченной массы нерастворимых и негигроскопичных удобрений с последующим их размельчением.

3. Отдельные случаи хранения наиболее распространенных удобрений

Суперфосфат простой не должен приниматься на склад для хранения при влажности 21—24%, если предварительно его не подсушить. В зависимости от содержания влаги высота куч при хранении суперфосфата может быть от 1,25 до 1,75 м; последняя высота куч возможна для суперфосфатов с нормальным содержанием влаги (не выше 15%). Суперфосфат, сложенный в кучи при нормальном содержании влаги, в среднесухом помещении может лежать без перелопачивания 4—5 месяцев. Учитывая кислые свойства суперфосфатов, а при потере ими влаги ниже 10% учитывая их способность пылить, при работе с суперфосфатами необходимо принимать меры предосторожности, направленные к тому, чтобы защитить от разъедания открытые части тела, особенно глаза.

Суперфосфаты насыпью нельзя хранить на цементных полах без настила из досок.

Суперфосфаты двойной и тройной сохраняются несколько лучше простого суперфосфата. При нормальном содержании влаги (12—15%) можно складывать их в кучи высотой 1,75—2 м. Если двойные или тройные суперфосфаты получены в мешковой таре, то они должны быть высыпаны и мешки хорошо промыты.

Суперфосфаты аммонизированные хранятся значительно лучше, чем не аммонизированные; они могут быть насыпаны в кучи высотой от 2 до 2,5 м и храниться без перелопачивания не менее 4—5 месяцев.

Преципитат, полученный в мешковой таре, из нее не освобождается. Мешки можно складывать в высокие штабели, не опасаясь слеживания, лишь бы выдержала тара давление. При хранении насыпью можно высоту куч доводить до 3 м. При работе с преципитатом благодаря его пылящим свойствам необходимо защищать глаза, надевая специальные очки.

Костяная мука белая может храниться даже на хорошо утрамбованной глиняной площадке. В остальном указания для костяной муки те же, что и для преципитата.

Томасшлак, 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 может быть вызвано образование плотных сплошных кусков в нижней части кучи, так как эти два удобрения содержат CaO и $CaSiO_3$, который при поглощении влаги разлагается и с CO_2 цементирует массу. Фосфоритную муку можно

хранить на открытом воздухе, защищая лишь от влаги снизу и сверху.

Сульфат аммония и хлористый аммоний, полученные в мешках в хорошем (не подмоченном) состоянии, могут храниться в них до рассева, не портя мешков [1]. Эти удобрения в мешковой таре можно складывать в высокие штабели в зависимости от крепости тары. При хранении россыпью необходим деревянный пол или деревянный настил, так как цементный пол разъедается. Высота куч от 2 до 3 м. Во избежание поглощения влаги из воздуха (особенно при резких переменах температуры окружающего воздуха) рекомендуют покрывать сверху слоем соломы. Образующиеся комья в нижних слоях при высоких кучах легко разбиваются.

Натронная селитра обычно хранится насыпью. При высоких кучах выше 2 м способна перекристаллизовываться в крупные кристаллы и давать комья. Хранить следует на деревянном настиле.

Цианамид кальция, полученный в таре, может в ней и сохраняться, только важно плотнее складывать мешки с удобрением, чтобы не было слишком свободной циркуляции воздуха, так как в этом случае при влажном воздухе может образовываться $CaCO_3$, что ведет к разрыву тары, к увеличению веса удобрения, а следовательно к понижению процентного содержания N и нередко к частичной потере азота.

При хранении россыпью можно насыпать цианамид кальция на деревянный и бетонный пол; высота куч может быть доведена до 3 м; практика Германии рекомендует избегать хранения цианамид кальция на внутрихозяйственных складах дольше 3 недель.

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. Рекомендуют сверху прикрывать кучи удобрения слоем высокопроцентной калийной соли (40% и выше). Хранить следует на деревянном полу или на настиле из досок при бетонном поле.

Азотнокислый аммоний, норвежская селитра и мочевина хранятся только в той таре, в какой они получены. Все эти удобрения сильно гигроскопичны и во влажной атмосфере способны растекаться.

Калийные соли (40% и 50%) хранятся россыпью; если они получены в таре, то освобождаются от последней и мешки моются. В среднесухом и тем более сухом помещении могут храниться долго, не изменяя существенно своих свойств. Хранить следует на деревянных полах, а при бетонном поле — на настиле из досок, в кучах до 2—2,5 м. Перемена температуры вызывает «потение» калийных солей в верхней части кучи, а следовательно увеличивается содержание в них влаги.

Сильвинит хранится только россыпью. Более чувствителен к влажности и к перемене температуры окружающего воздуха,

[1] В случае содержания свободной кислотности сульфат аммония и хлористый аммоний следует хранить насыпью.

чем калийные соли, поэтому следует избегать при хранении сильвинита куч, высотой более чем 2 м, чтобы избавиться от слеживания [1]. Так же как и калийные соли, хранят на деревянном полу.

Карналлит благодаря высокой гигроскопичности не пригоден к лежке при переменной погоде. Следует вообще избегать хранения карналлита на внутрихозяйственных складах сколько-нибудь продолжительное время (2—3 недели).

Известковую муку при отсутствии избыточной влаги можно хранить в ничем не покрытых кучах, высотой до 2—2,5 м, даже на открытом воздухе например на краю подлежащего известкованию поля. Если известковая мука, складываемая в кучи, содержит излишнее количество влаги (выше 2—3%), то она легко слеживается, образуя довольно плотные комья, особенно при высоких кучах (выше 1,5—2 м).

Жженая (кусковая) известь редко хранится в закрытых помещениях. Обычно кусковую жженую известь хранят (после прибавления к ней необходимого количества воды) на открытом воздухе, лучше всего на краю поля, которое предстоит известковать. Кучи могут быть произвольной длины, с шириной основания в 2—2,5 м и при высоте до 1,5—1,75 м. Необходимо кучи прикрывать со всех сторон землей слоем в 25—35 см и следить за тем, чтобы образующиеся с верху и с боков во время хранения трещины в слое земли тотчас же засыпались, иначе будет происходить переход CaO в углекислый кальций.

4. 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.

Кроме желания сократить время, рабочую и тяговую силу при внесении отдельных удобрений, — к смешиванию удобрений нередко приходится прибегать и по другим причинам. Например в целях устранения неудобства внесения сильно пылящих удобрений (цианамид кальция, преципитат и костяная мука белая) их смешивают с удобрениями, содержащими влагу, например преципитат и костяную муку смешивают с сильвинитом или с удобрениями, совершенно не пылящими и при том с повышенным удельным весом, например цианамид с томасовым шлаком и сильвинитом; преципитат и костяную муку смешивают с сильвинитом как с удобрением, содержащим влагу. 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 излишне влажный суперфосфат смешивают с высокопроцентными сухими калийными солями. Иногда приходится прибегать к смешиванию высокопроцентных удобрений (например хлористый калий или мочевина) с другими удобрениями или с балластными веществами, чтобы создать лучшую их распределяемость. Возможность смешивания удобрений друг с другом зависит от их химических и физических

[1] Грубо размолотый сильвинит не слеживается в кучах высотой до 10 м.

свойств. Не учитывая этих свойств удобрений, в результате химического взаимодействия между ними при смешивании может произойти, во-первых, потеря питательного вещества; во-вторых, ухудшение удобрительного достоинства смеси по сравнению с удобрительным достоинством взятых удобрений; в-третьих, в результате химического взаимодействия могут образоваться соединения, обладающие неблагоприятными физическими свойствами, например: а) повышенной гигроскопичностью или б) повышенной способностью к цементированию; в-четвертых, сильная гигроскопичность отдельных удобрений заранее исключает возможность применять их в качестве компонента смеси с некоторыми удобрениями.

При смешивании удобрений желательно заранее точнее определить размер площадки и точнее рассчитать затрату времени на работу для приготовления той или иной смеси. Когда выяснена возможность приготовления из удобрений смесей, учитывая физические и химические свойства взятых удобрений, тогда, пользуясь таблицей 1 (объемные веса и объем единицы веса), можно произвести соответствующие расчеты.

Такой расчет для примера приводим ниже.

Пример. Удобряемая площадь корнеплодов в хозяйстве равна 25 га. Под корнеплоды представляется возможность внести 45 кг/га N, 60 кг/га P_2O_5 и 60 кг/га K_2O. Хозяйство располагает суперфосфатом из фосфорита, сульфатом аммония и сильвинитом. Все эти удобрения можно друг с другом смешивать, имея в виду лишь то, что смесь не должна лежать дольше $1\frac{1}{2}$—2 дней, особенно при сырой погоде (из-за повышенной гигроскопичности сильвинита). Не имея оборудования и возможности для механического перемешивания удобрений, при приготовлении смеси надлежит прибегнуть к перелопачиванию, для чего удобрения должны быть насыпаны друг на друга слоями. Для лучшего перелопачивания ширина слоя не должна быть больше 1,5—2 м (при работе по перелопачиванию с обеих сторон), а толщина слоя не должна быть выше 30—40 см. Если нам известна длина кучи удобрений для перемешивания, то нетрудно рассчитать, сколько раз нужно повторить работу по смешиванию трех удобрений, чтобы приготовить однородную смесь для удобрения 25 га корнеплодов. Табл. 1 позволяет подсчитать объемы отдельных удобрений, которые необходимы для площади в 25 га (в нашем примере: суперфосфат из фосфорита 16-процентный имеет объем: $9{,}38 \times 1{,}02 = 9{,}57$ м³; сульфат аммония 20,5-процентный имеет объем: $5{,}4 \times 1{,}12 = 6$ м³ и сильвинит 14%—$10{,}7 \times 0{,}93 = 10{,}2$ м³; отношение между объемами удобрений (в нашем примере сульфат аммония : суперфосфат : сильвинит) = 1 : 1, 6:1,7 или 10:16:17 или 5:8:8,5 и т. д., что позволит, имея какую-нибудь меру, взять этой мерой 5 или 10 раз сульфат аммония, затем 8 или 16 раз суперфосфат и 8,5 или 17 раз сильвинит. Если помещение позволяет приготовить для перелопачивания удобрений кучу длиной 15 м при ширине 2, 0 м, то площадь для смешивания составит 30 м², при высоте кучи 0,3 м объем ее составит 9 м³; при объеме всех трех удобрений 25,8 м³ операцию смешивания на площади длиной в 10 м надо провести два раза и дополнительно один раз на площади длиной в 8 м. При расположении слоев в целях лучшего смешивания следует класть удобрения с меньшим объемным весом на низ, а с большим — на верх.

Затрата времени на ручную работу по смешиванию удобрений составляет в среднем 3—5 ц в час.

Химические и физические свойства удобрений зачастую ограничивают возможность производить их смешивание друг с другом. Ниже остановимся на ряде примеров, показывающих причины как невозможности, так и ограниченной возможности приготовления смесей из отдельных удобрений.

Первым примером невозможности смешивания удобрений из-за потери питательных веществ является смешивание удобрений, содержащих аммиак, с удобрениями, содержащими известь. Поэтому

нельзя смешивать навоз, всегда содержащий аммиак в поглощенном состоянии, с известковой мукой или едкой известью. Рассеянная по пашне известь по разбросанному навозу должна быть по возможности скорее запахана. Нельзя смешивать сульфат или нитрат аммония с известью или томасшлаком, так как частично образуется углекислый аммоний—летучее соединение; однако для хлористого аммония имеем исключение, так как 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 $1\frac{1}{2}$ суток. Далее, при излишне кислом суперфосфате нельзя производить смешивание с натронной или норвежской селитрой, так как в этом случае могут выделяться красно-бурые окислы азота. Если выделение идет на воздухе, то происходит потеря азота, если в почве, то окислы азота могут оказать вред для растений.

Вторым примером, обычно исключающим возможность смешивания удобрений из-за ухудшения удобрительного их достоинства, может служить смесь суперфосфата с удобрениями, содержащими 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 и к тому же усилится процесс ретроградации P_2O_5 суперфосфата до образования безводных фосфатов алюминия и железа.

Третьим примером, исключающим возможность смешивания удобрений из-за образования сильно гигроскопичных соединений, является смесь кальциевой селитры с удобрениями, богатыми хлором, так как образующийся хлористый кальций еще более гигроскопичен, чем нитрат кальция. Ограничивается возможность смешивания удобрений с основной известковой частью (например томасшлак, цианамид кальция), с удобрениями, содержащими хлористый кальций 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 устранено.

Четвертый пример: сильная гигроскопичность азотнокислого аммония и гигроскопичность мочевины делают невозможным или сильно ограничивают возможность смешивания их с целым рядом удобрений, так как приготовленная смесь способна быстро растекаться, например смесь мочевины или азотнокислого аммония с суперфосфатом через несколько часов настолько сыреет, что получается мажущаяся масса.

Приведенными примерами можно ограничиться, так как для более быстрой ориентации о возможности производить смешивание друг с другом различных удобрений ниже приводятся две схемы (см. рис. 1 и 2).

Зная свойства удобрений, рассмотренные в общем курсе и частично затронутые в этой главе, нетрудно понять причину невозмож-

ности или ограниченной возможности приготовления той или иной смеси из отдельных удобрений.

Рисунок 1 представляет собой многоугольник, на вершинах которого указаны отдельные удобрения (единичные или сходные по ряду свойств) [1]. Удобрения, которые можно смешивать между собой, не опасаясь изменения их свойств, не опасаясь потери питательных веществ и т. д., соединены друг с другом сплошной жирной линией; удобрения, которые можно смешивать, но благодаря тому, что при лежании смеси они приобретают ряд неблагоприятных свойств, например излишняя гигроскопичность, затвердеваемость и прочее, — после смешения должны быть вскоре использованы (не более 24—36 часов после приготовления смеси). В этих случаях удобрения соединены между собой пунктирной линией. Удобрения, не соединенные друг с другом линиями, нельзя смешивать.

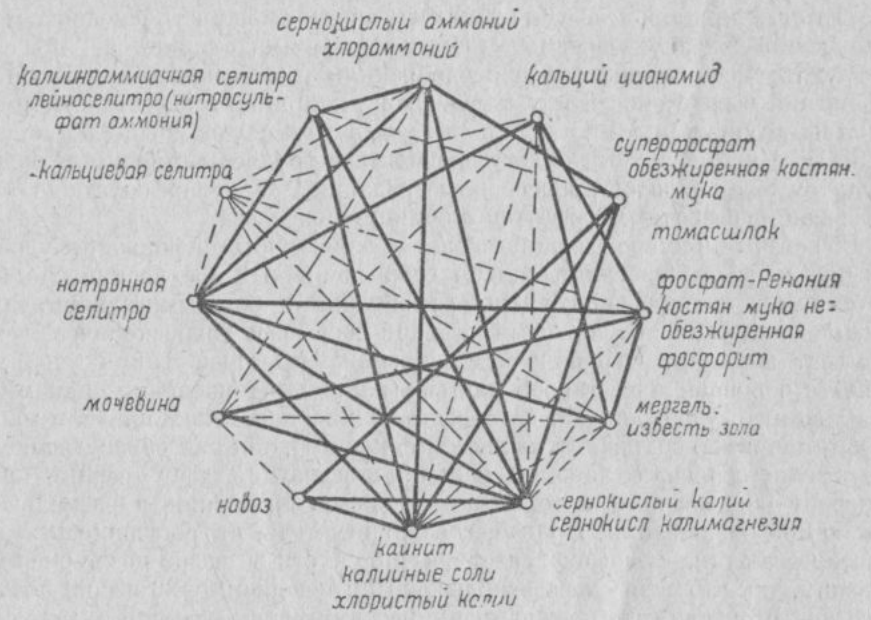


Рис. 1. Смешивание искусственных удобрений.

Удобрения, соединенные жирной линией (———), можно смешивать во всякое время. Удобрения, соединенные пунктиром (— —), можно смешивать лишь непосредственно перед внесением их. Не соединенные между собой удобрения совсем нельзя смешивать.

Рисунок 2 заменяет собой многоугольник (см. рис. 1). Он представляет собой квадрат, в котором отдельные удобрения расположены по вертикальным и горизонтальным рядам, поэтому каждому сочетанию двух отдельных удобрений отвечает свой квадратик в том или ином участке большого квадрата. Возможность или невозможность или ограниченная возможность смешивания удобрений представлена на рисунке 2 следующим образом: при полной возможности смешивания удобрений квадратик на месте пересечения вертикального и горизонтального ряда пустой; при ограниченной возможности смешивания квадратик заштрихован и при полной невозможности — квадратик имеет сплошную штриховку.

[1] В рисунке 2 отсутствует навоз, так как смешивание навоза с минеральными удобрениями — практически нецелесообразная мера. Иногда к навозному удобрению добавляют фосфаты, реже калийные и еще реже азотные удобрения. В этом случае навоз и минеральные удобрения вносятся раздельно: причем по разбросанному в поле навозу всегда можно рассевать фосфаты и калийные соли с последующей заделкой.

Рис. 2. Таблица для смешивания удобрения.

Одно из подлежащих смешиванию удобрений следует найти в вертикальном ряду, другое — в горизонтальном ряду. Проследить направление обоих рядов до места их совпадения в одном квадратике (поле). По отличительному признаку этого квадратика делается тот или иной вывод. Квадратики обозначают: белые квадратики — смешиваемые удобрения; заштрихованные квадратики — условно смешиваемые удобрения, т. е. рано или поздно смешивание будет подвержено известным изменениям; черные квадратики — не смешиваемые удобрения.

«а» — означает возможность выделения газов (у сернокислого аммония в случае присутствия в нем свободной кислотности; «в» — возможность ретроградации P_2O_5.

Удобрения, не подлежащие смешиванию, не следует вносить в поле быстро одно за другим без предварительного забороновывания первого удобрения [1].

Следует отметить, что иногда побочные примеси в удобрениях могут оказать существенное влияние на возможность смешивания их друг с другом, например введение аммиака в суперфосфаты (так называемые аммонизированные суперфосфаты) создает возможность смешивания их с кальциевой и другими селитрами и с цианамидом кальция. Кроме того до настоящего времени полностью не изучены изменения в свойствах удобрений при их смешивании, поэтому нередко приходится сталкиваться с несколько противоречивыми указаниями, которые имеются и при сопоставлении рис. 1 и рис. 2. Рис. 2 предложен Farbenindustrie A. G. и апробирован Научным институтом по удобрениям и инсектофунгисидам.

[1] При тройных смесях сначала рассматривают попарную возможность смешивания удобрений, невозможность или возможность попарного смешивания определяет возможность или невозможность тройной смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Вольфкович и Р. Е. Ремен. Труды НИУ, в. 46, 1927.
2. С. И. Вольфкович и Л. В. Владимиров. Труды НИУ, в. 55, 1929, обе статьи («Влажность и гигроскопичность суперфосфата» и «К вопросу о свободной кислотности суперфосфатов»).
3. O. Nolte. «Хранение и смешивание искусственных удобрений.» Honcamp. Handbuch f. Agricultur. T. II, 1932. Berlin.
4. A. Nostitz и I. Weigert. Die künstlichen Düngemittel. Stuttgart. 1928.
5. Крез, Уай и Брехэм. «Как предупредить слеживание удобрений», Производство удобрений за границей; сборник второй, 1932 г., изд. Научн.-технич. издател., Москва.
6. Е. Е. Пестов — Справочник по удобрениям, 1933, стр. 408—416.
7. Золотов — Справочник по удобрениям, 1933, стр. 439.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Введение. Задачи агрохимии и роль минеральных удобрений в деле поднятия урожаев на Западе и у нас 7

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ (ОБЩАЯ)

А. Корневое питание растений 16

1. Минеральная теория питания растений, главные этапы ее развития 16
2. Роль отдельных элементов 23
3. Поступление веществ в корень из окружающего раствора 27
4. Особенности питания растений азотом 36

Б. Почва как посредник между растением и удобрением 42

1. Поглотительная способность почв 42
2. Зависимость реакции и других свойств почвы от состава поглощающего комплекса 51
3. Органическое вещество почвы 60
4. Вынос питательных веществ из почвы с урожаем и возмещение их убыли при помощи удобрений 71

ЧАСТЬ ВТОРАЯ (СПЕЦИАЛЬНАЯ)

Азотистые удобрения 82

1. Чилийская селитра ($NaNO_3$) 83
2. Калийная (или туркестанская) селитра (KNO_3) 99
3. Кальциевая (или норвежская) селитра [$Ca(NO_3)_2$] 100
4. Аммиачные соли 103
   - Аммиак каменного угля 103
   - Синтетический аммиак 104
5. Значение сульфата аммония как азотистого удобрения 109
6. Цианамид (кальциевое производное, $CaCN_2$) 115
7. Мировая азотная промышленность и пути возможного развития азотной промышленности у нас 122
8. Богатые азотом отбросы органического происхождения 124

Стр.

9. Непосредственное использование азота воздуха на удобряемом поле (зеленое удобрение) . . . 130

Фосфаты . . . 140

1. Фосфориты . . . 143
2. Хибинские апатиты . . . 149
3. Производство суперфосфата . . . 152
4. Двойной суперфосфат и преципитат . . . 157
5. Томасов шлак . . . 162
6. Термическая переработка фосфатов . . . 167
7. Костяная мука . . . 169
8. О сравнительном значении различных фосфатов, доставляемых промышленностью, и об условиях применения фосфоритной муки . . . 173
9. Действие фосфатов на растения . . . 192

Калийные удобрения . . . 197

1. Общие условия применения калийных солей . . . 205
2. Нефелин и другие калийные силикаты как калийное удобрение . . . 214
3. Зола как калийно-фосфатно-известковое удобрение . . . 215

Сложные удобрения (концентраты двойного и тройного действия). . . . 219

Концентраты тройного действия (тип азофоска) . . . 224

Полные удобрения органического происхождения . . . 231

1. Навоз . . . 231

Различные способы хранения навоза . . . 246

Особые приемы хранения навоза и его компонентов . . . 255

Приготовление искусственного навоза из соломы . . . 258

Применение неперепревшей соломы в качестве удобрения . . . 262

Об оценке удобрительного действия навоза . . . 266

Применение навоза в разных зонах Союза; размеры его действия . . . 283

2. Торф . . . 292

Об использовании торфа для приготовления навоза под скотом и без скота (искусственный навоз). . . . 292

Торфяной компост (искусственный навоз из торфа); разные приемы компостирования. . . . 300

Непосредственное применение торфа на удобрение . . . 301

3. Смешанный компост как способ использования различных отбросов усадьбы . 302
4. Городские нечистоты . . . 304

Косвенные удобрения . . . 310

1. Поваренная соль . . . 310
2. Известь . . . 312

Признаки почв, бедных известью и богатых ею . . . 320

Отбросы промышленности, богатые известью . . . 331

О вредном действии избыточного известкования . . . 331

Стр.

3. Гипс . . . 334
4. Внесение серы в качестве удобрения . . . 337

Бисульфат натрия . . . 339

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Полевой опыт . . . 340

1. Химические методы определения потребности почв в удобрении . . . 360
2. Попытки использовать вегетационный метод в целях определения потребности почв в удобрении . . . 363
3. Микробиологические методы определения потребности почвы в удобрении. . 365
4. Вегетационный метод и его основная роль в агрохимии . . . 366

Приложение

Хранение удобрений (сост. проф. Д. В. Дружининым) . . . 377

1. Свойства удобрений, с которыми нужно считаться при хранении . . . 377
2. Склады для хранения удобрений . . . 383
3. Отдельные случаи хранения наиболее распространенных удобрений . . 389
4. Смешивание удобрений . . . 391

Редактор Б. Кривошлык, техн. редакт.
А. Щербаков, корректор К. Челышева.

Тираж 20 000. Объем 25 п. л. Знаков в печ. листе 52 000. Формат бумаги 62×93/16.
Сдано в производство 16/VIII 1934 г.
Подписано в печать 2/XII 1934.
Уполн. Главлита Б-39403.
Инд. 23-ГУ-СХГИЗ 4000. Зак. № 3832.

1-я Образцовая типография треста
Огиза РСФСР «Полиграфкнига».
Москва, Валовая, 28.

Цена 5 р. Переплет 1 р.

13

ЦЕНА 6 РУБ.