

631.8

71.853 и.р

12245

ДСТВА и ПОСОБИЯ ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ

Н. Д. ПРЯНИШНИКОВ

КРАТКОЕ
РУКОВОДСТВО
ПО УДОБРЕНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

52 631.8
— 7-85—

Отз. А.ч. Пособий
Ф. В-кен Т.О. Х.А.
№ 2637/2

Handwritten text: 5228

五



РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ ДЛЯ ТЕХНИКОВ

631.6
Т-85

Н. Д. ПРЯНИШНИКОВ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ С.-Х. АКАДЕМИИ ИМ. К. А. ТИМИРЯЗЕВА

КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО УДОБРЕНИЮ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФЕССОРА
Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА

Отд. Уч. Пособий
Ф. В-ки Т.С.-Х.А.
№ 2654

7224

631.6-18245

Научно-технической секцией Государственного Ученого Совета
допущено в качестве руководства для техникумов

139224
О.-Х. АКАДЕМИИ
ИМ. ТИМИРЯЗЕВА



ПРОВЕРЕНО
1935 г.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА * 1927 * ЛЕНИНГРАД

кр 76
О.Б.И.Т.С.-Х.А.
№

Библиотека
№
Ф.З.И.Т.

631.8
Т.859
18245

18245

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Цель настоящей книжки — дать в краткой и, по возможности, доступной форме изложение основ учения об удобрении, применительно к условиям и состоянию сельского хозяйства в СССР. В силу этого наибольшее развитие получили отделы, посвященные вопросам, связанным с применением навозного удобрения, торфа, зеленого удобрения, фосфоритной муки и извести; меньшее внимание уделено таким, пока еще мало доступным у нас, удобрениям, как селитра, сернокислый аммоний и др. Совершенно незатронутой оставлена история предмета, которую интересующийся читатель сможет найти в других, более обширных, руководствах.

По своему объему книжка рассчитана на удовлетворение запросов учащихся с.-х. техникумов и тех отделений с.-х. вузов, где вопросы растениеводства имеют второстепенное значение; характер изложения предполагает наличие у читателя элементарных сведений по химии. Возможность более широкого распространения книжки (весьма вероятная при существующей бедности книжного рынка руководствами по удобрению) заставила включить в изложение и более детальные и сложные вопросы, вынесенные, для удобства занимающихся, в мелкий шрифт.

Можно предвидеть, что глава, посвященная описанию свойств почвенного поглощающего комплекса и причин, определяющих реакцию почв, покажется трудной некоторым из читателей; но труд, затраченный на ознакомление с содержанием этой главы, должен окупиться той простотой, с какой объясняются разнообразные процессы взаимодействия, протекающие между почвой и удобрением, с точки зрения развившегося в последние годы учения о почвенном поглощающем комплексе.

При составлении этой книжки, кроме ее редактора, своими советами и предоставлением материалов мне оказали большую помощь Е. К. Алексеев, Д. Л. Аскинази, А. Н. Бомолов, проф. Д. П. Барлин, Д. А. Блуос, Д. П. Дружинин, проф. А. А. Калужский, З. В. Логвинова, проф. Ф. Т. Перитурин, проф. В. А. Харченко, проф. А. В. Чайнов и др. лица; пользуясь случаем выразить им свою признательность.

Н. Прянишников.

15 января 1927 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
Глава I. Элементы питания растений	9
Азот	13
Фосфор	16
Калий	19
Прочие элементы питания	21
Круговорот элементов питания	23
Глава II. Почва как посредник между растением и удобрением	29
Почвенный раствор, его состав, концентрация и реакция	30
Поглотительная способность почвы	39
Органическое вещество почвы	49
Глава III. Навоз	55
Состав свежего навоза	—
Изменения, происходящие при хранении навоза	60
Вывозка и заделка навоза	67
Удобрительное действие навоза	70
Причины недостатка навоза и пути к повышению урожаев	81
Глава IV. Торф и зеленое удобрение	90
Торф	—
Торфяная подстилка	—
Самостоятельное применение торфа как удобрения	93
Зеленое удобрение	99
Культура люпинов	100
Глава V. Продажные азотистые удобрения	107
Минеральные азотистые удобрения	—
Чилийская селитра	—
Сернокислый аммоний	111
Циан-амид кальция	112
Норвежская селитра	113
Синтетический аммиак	114
Азотнокислый аммоний	115
Органические азотистые удобрения	116
Глава VI. Фосфорнокислые удобрения	119
Суперфосфат	123
Томасов шлак	127
Костяная мука	128

Фосфоритная мука	129
Условия применения и удобрительное действие различных фосфорнокислых удобрений	137
Глава VII. Калийные удобрения	145
Зола	149
Глава VIII. Косвенные удобрения	153
Известкование и мергелевание почвы	—
Гипс	168
Сера	170
Глава IX. Определение потребности почв в удобрениях	172
Полевой метод	—
Вегетационный метод	177

631.6
А-15

ГЛАВА I.

ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ.

Культура растений в сельскохозяйственной промышленности имеет целью получение органического вещества, создаваемого растением при помощи энергии солнечных лучей. В качестве материала для создания органического вещества растение использует воду и содержащийся в воздухе углекислый газ. Углекислый газ и вода под влиянием солнечных лучей, падающих на зеленый лист растения, вступают в реакцию, в результате которой получается углевод (сахар, крахмал) и выделяется кислород:



Образовавшиеся в листе углеводы перемещаются затем из листа в другие части растения, где используются в разнообразных направлениях: расходуются на дыхание, служат для построения клеточных стенок, образуя клетчатку или древесину, или же отлагаются в виде запасного материала в зернах, корнях или клубнях. Углеводы же, подвергаясь разнообразным превращениям, дают материал для образования других органических веществ, слагающих организм растения; важнейшими из этих веществ будут жиры и белки.

Для успешного произрастания растения нуждаются, кроме притока света к листьям, тепла, воздуха и воды, также в достаточном снабжении корней так называемыми питательными веществами.

Питательными веществами, необходимыми для жизни растений (не считая угольной кислоты, поглощаемой листьями из воздуха), являются следующие элементы: азот, фосфор, сера, калий, магний и железо. Хотя эти элементы поглощаются корнями растений не в одинаковых количествах, но тем не менее каждый из них является совершенно необхо-

Отд. Уч. Пособий
Ф. Б-хл Т.О.-Х.А.
№ 26314

димым, и рост растений останавливается, если в почве не хватает хотя бы одного из этих веществ. При этом недостаток одного питательного вещества не может быть пополнен избытком другого. Таким образом, *высота урожая зависит от того вещества, которое находится в почве в наименьшем количестве* по отношению к потребностям растения. Это положение было установлено в 30-х годах прошлого столетия знаменитым германским ученым Ю. Либихом и носит название Либиховского закона минимума. Наглядным пояснением закона минимума может служить изображение кадки (см. рис. 1), отдельные звенья стенок которой имеют высоту,



Рис. 1.

отвечающую относительному богатству почвы отдельными питательными веществами. Ясно, что уровень воды в кадке не может подняться выше края самой низкой части стенок, — так и высота урожая определяется питательным веществом, находящимся в наименьшем количестве (на нашем рисунке — фосфором). Разумеется, закон минимума справедлив не только по отношению к питательным веществам, но и по отношению к другим условиям роста растений — воде, свету, теплу и пр.

В последнее время проф. Митчерлихом (Кенигсберг) было доказано, что закон минимума в той простой форме, какая была придана ему Либихом, не вполне справедлив. Митчерлих, основываясь на очень большом числе опытов, показал, что, во-первых, урожай растет не пропорционально увеличению находящегося в минимуме фактора; именно, по отношению к питательным веществам, прирост урожая на единицу удобрения уменьшается по мере увеличения количества вносимого вещества. Во-вторых, на величину урожая оказывают некоторое влияние и не находящиеся в минимуме факторы роста растений. Однако влияние этих факторов будет гораздо меньшим, чем фактора, находящегося в минимуме. Таким образом, хотя формально выводы Митчерлиха коренным образом противоречат закону минимума Либиха, практически этот закон сохраняет свое значение.

Свою теорию Митчерлих назвал *законом действия факторов роста* и установил определенную математическую зависимость между величиной того или иного фактора роста и приростом урожая. Формула Митчерлиха, выражающая эту зависимость, едва ли может считаться вполне справедливой.

На рисунке 2 дано графическое изображение закона действия факторов роста по Митчерлиху.

Повидимому, более правильным (на основании теоретических соображений проф. В. П. Горячкина и наблюдений П. Вагнера и др.) будет следующее изображение закона действия факторов роста (см. рис. 3). Если мы на горизонтальной линии (абсциссе) будем отмечать возрастающие количества какого-либо удобрения, вносимого под растения, а на вертикальной линии (ординате) —



Рис. 2. Закон действия факторов роста по Митчерлиху.

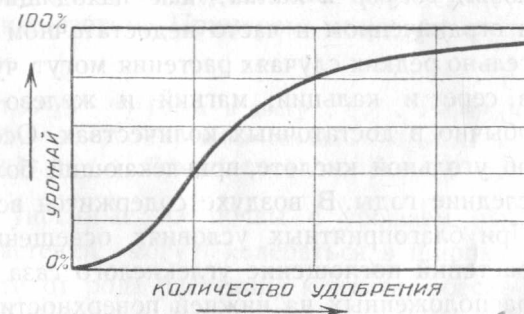


Рис. 3. Закон действия факторов роста по Горячкину.

величину урожая, соответствующего внесенному количеству удобрения, то получим некоторую кривую линию, характеризующую влияние факторов роста (в нашем примере — удобрения). При полном отсутствии какого-либо из питательных элементов урожай будет равен нулю; если мы внесем очень небольшое количество удобрения, то получим весьма небольшой прирост урожая, так как первые, незначительные количества недостающего питательного вещества будут истрачены растением не на увеличение роста, а на восстановление нормального состава своего организма. И лишь по восстановлении нормального состава последующие дозы удобрения вызовут сильный прирост урожая, что и отмечает крутой подъем кривой рисунка 3. Но по мере того, как урожай будет приближаться к наибольшему, возможному в данных условиях, дальнейшее внесение удобрения будет вызывать все меньший прирост урожая — кривая становится параллельной оси абсцисс¹⁾.

¹⁾ Интересующимся ближе вопросом о действии факторов роста рекомендуем ознакомиться со статьей М. К. Домонтовича в „Вестнике сельского хозяйства“ за 1922 г. — „Закон минимума Либиха и закон действия факторов роста Митчерлиха“ и со статьей проф. Горячкина „Общая схема явлений“ в „Научно-Агрономическом Журнале“ за 1924 г. № 1.

Кроме перечисленных выше необходимых питательных веществ, растения поглощают вместе с всасываемой корнями водой целый ряд других, не необходимых веществ, в иных случаях бесполезных, иногда даже вредных. В наибольших количествах из веществ этой категории поглощаются хлор, кремний, натрий, а также некоторые другие элементы.

Значительная доля поглощенных растением веществ (кроме азота) после сжигания остается в виде золы.

Элементы, необходимые для питания растений, могут встречаться в почве (или вноситься в качестве удобрения) в виде различных химических соединений, и не все из этих соединений являются одинаково хорошей пищей для растений; в первую очередь при оценке питательного значения различных соединений необходимо иметь в виду, что корнями поглощаются только *растворенные в воде* вещества.

Из перечисленных выше необходимых питательных элементов наибольший интерес для земледелия представляют азот, фосфор и калий, как находящиеся в наших почвах в ограниченном и часто недостаточном количестве. В сравнительно редких случаях растения могут чувствовать недостаток в сере и кальции; магний и железо содержатся в почве обычно в достаточных количествах. Особняком стоит вопрос об угольной кислоте, привлекающий большое внимание в последние годы. В воздухе содержится всего лишь 0,03% CO_2 . При благоприятных условиях освещения и густом стоянии растений поглощение углекислого газа листьями с помощью расположенных на нижней поверхности листьев устьиц идет столь энергично, что окружающий воздух при отсутствии ветра может заметно обедняться в отношении угольной кислоты, в результате чего дальнейший синтез органического вещества ослабляется. При искусственном увеличении процента CO_2 в воздухе до известного предела (8—10%) увеличивается и энергия образования органического вещества растением. Отсюда возникла мысль об „удобрении“ воздуха под покровом растений углекислым газом. В современных условиях прямое удобрение углекислотой полевых культур едва ли может представлять интерес, но, конечно, будет иметь большое значение для теплиц и оранжерей. В полевых условиях обогащение воздуха над почвой угольной кислотой

происходит за счет содержащихся в почве органических веществ, отщепляющих при своем разложении CO_2 .

А З О Т.

Азот является одним из важнейших элементов питания растений не только потому, что он поглощается растением в значительно большем количестве, чем все другие питательные элементы, но и в силу того значения, которое играют органические соединения азота для питания людей и животных. Роль азота в растении определяется вхождением его в состав белка — одного из важнейших веществ растительного (а равно и животного) организма. В белковых веществах азот содержится в количестве $\frac{1}{6}$, или 16%, от веса белка. Существенная роль азота для жизненных процессов подчеркивается и тем обстоятельством, что наиболее высоким содержанием этого элемента отличаются самые молодые, деятельные ткани растений — молодые листья и побеги, а также семена. Наоборот, старые, огрубевшие части растений сравнительно бедны азотом. Примером могут служить следующие цифры:

Рожь во время колошения. 1,66% N	Горох в цвету 3,48% N
Ржаная солома 0,49 „	Гороховая солома 1,44 „
Ржаное зерно 1,84 „	Горох (зерно) 3,60 „

Количества азота, уносимые из почвы с урожаем различных культурных растений, могут колебаться в широких пределах в зависимости от рода растений, климата, обеспеченности прочими питательными веществами и др. условий. Для примера можно привести следующие данные:

Количества азота, уносимые из почвы урожаем различных растений (без ботвы и соломы).

100 кг ржи 1,80 кг	100 кг картофеля 0,34 кг
100 „ пшеницы 2,00 „	100 „ кормовой свеклы . 0,18 „
100 „ овса 1,75 „	100 „ сахарной свеклы . 0,16 „
100 „ проса 2,00 „	100 „ гороха 3,60 ¹⁾

¹⁾ Горох, как бобовое растение, может усваивать и азот воздуха. Поэтому приведенная цифра, характеризующая содержание азота в горохе, не говорит о том, сколько азота взято горохом из почвы.

Для урожаев средней величины (15 центнеров¹⁾ зерна можно считать, что озимая рожь уносит в надземных частях — зерне и соломе — с гектара около 45 кг (3 п. с десятины) азота, озимая пшеница — около 60—75 кг, картофель — 60 кг, а сахарная свекла — 105 кг. Часть этого азота, заключающаяся в скормливаемой скоту или употребляемой в подстилку ботве и соломе, попадает в навоз и возвращается на поля. Но часть эта обычно невелика, так как солома представляет собой наиболее бедную белковыми веществами, а следовательно — азотом, часть растения.

В воздухе содержится 75% азота (по весу), но газообразный азот, вообще говоря, не может непосредственно потребляться растениями. Исключения составляют, как известно, лишь бобовые растения (клевер, горох и пр.), обладающие способностью использовать азот воздуха при помощи живущих на их корнях бактерий. Всем остальным растениям азот доступен только в связанной форме, в соединении с другими элементами.

Источником питания растений может служить азот или в восстановленной форме — в виде солей аммония (аммиака), например хлористого аммония NH_4Cl , сернокислого $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, углекислого NH_4HCO_3 и др., или же в форме окисленной — солей азотной кислоты (нитратов), как NaNO_3 и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, и солей азотистой кислоты (нитритов), как NaNO_2 и $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$. Все три формы соединений азота могут служить хорошей пищей для растений; так как в белках азот находится в форме восстановленной (в виде производных аммиака NH_3), то аммиак непосредственно потребляется на синтетические процессы, азот же нитратов и нитритов восстанавливается предварительно растением до аммиака. Отсюда не следует, что соли аммония всегда будут лучшей пищей для растений:

При сравнении ценности различных соединений азота как удобрений большее внимание следует уделять, в случае солей аммония, влиянию соединенной с аммонием кислоты или, в случае азотной (и азотистой) кислоты, свойствам соединенного с нею основания. Дело в том, что растение своими корнями поглощает не всю соль целиком, а проявляет как бы „избирательную способность“, потребляя в больших количествах нужную ему составную часть соли. Например, если растение имеет в качестве источника азотистого питания хлористый аммоний NH_4Cl , то поглощение происходит так, как будто в растворе находятся отдельно аммиак NH_3 и соляная кислота HCl ; так как поглощение аммиака, потребляемого на синтетические процессы, идет более энергично, то в питательном растворе (или почве) будет накапливаться соляная кислота, за известным пределом начинающая вредить растению. Точно так же в случае солей азотной кислоты, напр. селитры NaNO_3 , поглощение происходит так, как если бы в растворе существовали отдельно едкий натр NaOH и азотная кислота HNO_3 ($\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{HNO}_3$). Вследствие более энергичного поглощения азотной кислоты в этом случае происходит неблагоприятное для растений подщелочение раствора¹⁾.

Таким образом химически нейтральные соли, в зависимости от отношения к ним растения, могут вызывать изменение реакции питательного раствора; это явление носит название физиологической реакции солей. Селитра NaNO_3 является примером физиологически щелочной соли, а хлористый (или сернокислый) аммоний — физиологически кислой.

В почвах азот содержится преимущественно в виде недоступных растению органических (перегнойных) соединений, частью в виде солей аммиака, азотистой и азотной кислот

вах юго-востока. Содержание азота в подпахотном слое значительно ниже и быстро убывает вместе с глубиной. Всего же в метровом слое почвы, отвечающем глубине распространения корней культурных растений, содержатся значительные количества азота, составляющие даже для бедных подзолистых почв около 20—30 центнеров на гектар, в черноземах же запасы азота могут доходить до 200 центнеров на гектар¹⁾.

Валовое содержание азота далеко не всегда может служить указанием на степень нужды данной почвы в азотистом удобрении; вообще только тучные черноземные почвы способны при надлежащей обработке, облегчающей переход азота органических соединений в доступную растениям форму, обеспечить возделываемые культуры достаточным количеством усвояемого азота.

Почвы всей нечерноземной полосы, как правило, обладают резко выраженным азотным минимумом и, следовательно, нуждаются в азотистых удобрениях (см. карту на стр. 88).

Азот в качестве удобрения вносится в почву или в форме органических соединений — с навозом, торфом, зеленым удобрением и пр. — или в виде минеральных соединений, солей азотной кислоты и аммиака — селитры, сернокислого аммиака и др.

Ф О С Ф О Р.

Важная физиологическая роль фосфора в растении объясняется вхождением соединений фосфорной кислоты в состав вещества клеточных ядер; ядерное вещество является носителем наследственных свойств данного растения, определяющих ход его развития и внешнюю форму. Наибольшее количество фосфора, так же как и азота, содержат нежные, молодые части растения и семена; содержание фосфора изменяется вместе с большим или меньшим богатством азотом.

Содержится фосфорной кислоты в ‰.

В зернах бобовых	0,9—1,5	В клеверном сене	0,6
„ „ масличных	1,0—1,5	„ корнеплодах	0,1
„ „ хлебов	0,5—0,8	„ соломе	0,2—0,3

¹⁾ Содержание азота в пахотном слое, где процессы превращения органических веществ текут наиболее энергично, составляет и для черноземов около 50—120 центнеров (вес пахотного слоя почвы на площади в 1 гектар составляет 30 000—25 000 центнеров).

Потребность культурных растений в фосфоре определяется следующими цифрами:

Количества фосфора¹⁾, уносимые из почвы урожаем культурных растений (без ботвы и соломы).

100 кг ржи	0,85 кг	100 кг картофеля	0,16 кг
100 „ пшеницы	0,80 „	100 „ кормовой свеклы	0,08 „
100 „ овса	0,68 „	100 „ сахарной „	0,09 „
100 „ проса	0,65 „	100 „ греха	0,85 „

В среднем можно принять, что фосфорной кислоты (P_2O_5) в обычном урожае (зерне и соломе) уносится из почвы с гектара посева зерновых хлебов от 11 до 18 кг; бобовых растений — от 15 до 30 кг.

Источниками фосфора для питания растений служат соли фосфорной кислоты H_3PO_4 , которая, как трехосновная кислота, дает три ряда солей (фосфатов): однозамещенные, как KH_2PO_4 , двухзамещенные, как K_2HPO_4 , и трехзамещенные, как K_3PO_4 . Растворы однозамещенных солей фосфорной кислоты обладают кислой реакцией, двухзамещенных — слабо щелочной. Трехзамещенные соли сообщают растворам резко щелочную реакцию. Двухзамещенная соль кальция $CaHPO_4$ мало растворима в воде и поэтому не сообщает питательному раствору щелочной реакции; малая растворимость не препятствует хорошему усвоению этой соли корнями растений. Трехкальциевая соль фосфорной кислоты $Ca_3(PO_4)_2$ еще более трудно растворима и хуже усваивается растениями; усвоение идет лучше в кислой среде.

Малорастворимыми и труднодоступными для растений могут быть также соли железа и алюминия. Их усвоению, напротив, благоприятствует слабо щелочная реакция раствора. Вообще доступность этих малорастворимых солей фосфорной кислоты зависит от ряда причин, в числе которых, кроме реакции раствора, большую роль играет время. Именно, свежесаживаемые соли кальция, железа и алюминия усваиваются легче всего (рисунки 4 и 5 показывают влияние просушивания и прокаливания на доступность растениям фосфорнокислых кальция и железа).

¹⁾ Количество фосфора выражено в пересчете на ангидрид фосфорной кислоты P_2O_5 , как это обычно принято.

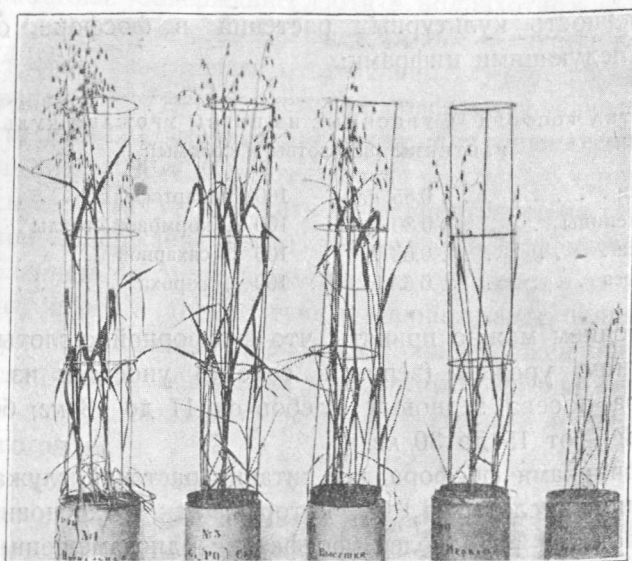


Рис. 4. Нормальн. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ свежесажженный Высушенный Прокаленный Без P_2O_5

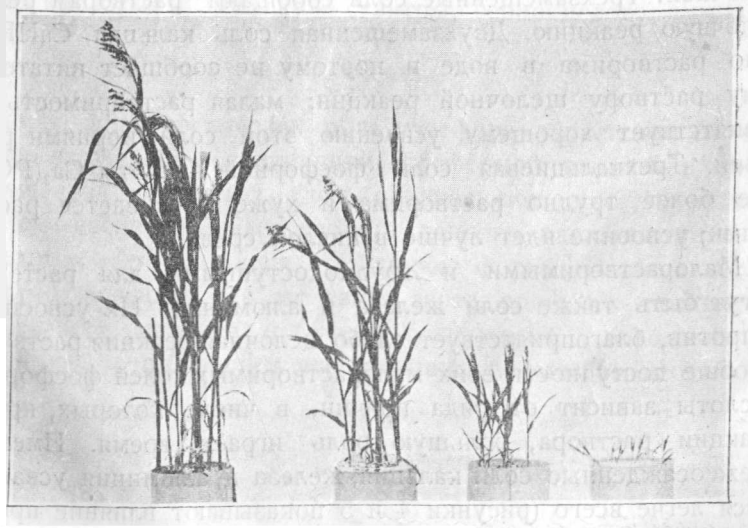


Рис. 5. FePO_4 . Свежеосажденный Высушенный Прокаленный Без P_2O_5

В почвах фосфорная кислота находится как в виде органических, так и в виде минеральных соединений. Органи-

ческие соединения фосфорной кислоты значительно менее прочны, нежели соединения азота, и в почве они быстро разрушаются. Поэтому минеральным соединениям фосфора принадлежит более важная роль, нежели органическим. Органические соединения фосфорной кислоты недоступны корням растений, недоступна им также и большая часть находящихся в почве минеральных соединений. Лишь небольшая часть от всего запаса фосфорной кислоты в почве находится в виде растворимых соединений, хорошо усвояемых растениями.

Содержание фосфорной кислоты в почвах подвержено большим колебаниям — от 0,01% для бедных до 0,2% и более для богатых почв. Если принять для почвы средней плодородности содержание P_2O_5 равным 0,05%, то на гектар такая почва в слое 35 см толщиной содержит 25 ц P_2O_5 . Если бы растения были в состоянии использовать всю фосфорную кислоту почвы, то этого запаса могло хватить на 150—200 лет непрерывной культуры. В действительности же, вследствие недоступности растениям большей части запасов фосфорной кислоты, недостаток в ней начинает чувствоваться значительно раньше. В настоящее время все почвы нечерноземной России и значительная часть черноземных почв нуждаются в фосфорнокислом удобрении; в нем не нуждаются еще мало использованные под культуру степи юго-востока (см. карту на стр. 88).

Потребность почв в удобрении зависит не только от богатства или бедности почвы, но и от усвояющей способности растения. Там, где одни растения (рожь, овес) страдают от недостатка фосфора, другие (гречиха, люпин) могут находить его достаточно.

В качестве удобрений вносятся в почву или растворимые соединения фосфорной кислоты [суперфосфат, содержащий $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] или не растворимые [фосфорит, содержащий $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$]; последние в том случае, если почва сама, вследствие присутствия кислот, способна разлагать и переводить в растворимую форму эти соединения.

КАЛИЙ.

Роль, принадлежащая калию в жизни растений, еще не вполне выяснена. В отличие от азота и фосфора, входящих в больших количествах в состав семян, калия в семенах со-

держится сравнительно мало. Процентно большие количества калия находятся в солоmistых частях; так, в зернах озимой ржи содержится 0,5—0,6% K_2O ¹⁾, в соломе — 0,8—1,0%. Поэтому при продаже зерна на сторону хозяйство теряет относительно мало калия, большая часть его возвращается на поля в навозе. Потребность различных культурных растений в калии характеризуется следующими цифрами:

Количества калия, уносимые из почвы урожаем культурных растений (без ботвы и соломы).

100 кг ржи озимой	0,58 кг	100 кг картофеля	0,23 кг
100 „ пшеницы озимой	0,53 „	100 „ кормовой свеклы	0,20 „
100 „ овса	0,49 „	100 „ сахарной „	0,15 „
100 „ проса	0,33 „	100 „ гороха	0,40 „

Для приблизительных расчетов можно принять, что в зерне и соломе средний урожай озимой ржи уносит с гектара 30 кг калия, озимая пшеница—31 кг, картофель—100 кг и сахарная свекла—120 кг.

Большая часть соединений калия отличается хорошей растворимостью и доступностью для растений. Исключение составляют лишь некоторые минералы, трудно отдающие содержащийся в них калий. Источником для питания растений могут служить разнообразные калийные соли: хлористый калий KCl , сернокислый — K_2SO_4 , азотнокислый — KNO_3 и др.

При поглощении калия растениями некоторые его соли будут обнаруживать явления физиологической кислотности (см. выше, стр. 15) вследствие более энергичного потребления калия, нежели соединенной с ним кислоты; так, физиологически кислой будет соль K_2SO_4 .

В почвах калий находится частью в виде растворимых солей, частью в виде нерастворимых, но непрочных соединений с органическими и минеральными веществами почв, имеющими кислый характер („поглощенный калий“), частью же в виде весьма прочных нерастворимых минеральных соединений. Эти соединения представляют собой еще неуспевшие окончательно разрушиться остатки горных пород, послуживших для образования материнской породы данной почвы.

¹⁾ Количества калия принято пересчитывать на окись калия K_2O . Везде, где говорится о количествах калия, приводимые цифры относятся к окиси калия.

Первые две группы соединений калия могут быть использованы растениями; последняя группа, на которую приходится не менее 90—95% от всего содержащегося в почвах калия, отличается малой доступностью для растений, но под влиянием различных протекающих в почвах химических процессов возможен постепенный переход калия из нерастворимых соединений в более подвижные формы.

Валовое содержание сравнительно подвижных форм калия¹⁾ в различных почвах в среднем характеризуется следующими цифрами:

	Пески	Супеси	Легкие суглинки	Тяжелые суглинки	Глины	Черноземы
K_2O в %	0,08	0,11	0,14	0,20	0,26	0,5

Таким образом почвы средней плодородности содержат в 35-сантиметровом слое на гектар 45—90 центнеров калия в сравнительно доступной для растений форме, могущие обеспечить 120—200 урожаев хлебов. Общее же количество калия значительно выше и может достигать для черноземных почв 750 ц на гектар. Сопоставляя эти цифры с запасами фосфора, можно видеть, что для большей части культурных почв с калием дело обстоит значительно более благополучно, чем с фосфором, несмотря на то, что растения потребляют калий в большем количестве. Острую нужду в калийном удобрении проявляют песчаные, сильно подзолистые и некоторые виды торфянистых почв. В качестве калийных удобрений употребляются преимущественно растворимые соли калия — KCl , K_2SO_4 , K_2CO_3 . Потребность почв в калийном удобрении стоит, разумеется, также в связи с усвояющей способностью корней возделываемых растений.

ПРОЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ.

Кальций, магний, железо и сера, за редкими исключениями, встречаются в почвах в количествах, вполне обеспечивающих правильное развитие растений. В почвах Ca и Mg находятся частью в соединении со сложными кислотными веществами почв („поглощенные Ca и Mg “), частью в виде

¹⁾ По 10% солянокислой вытяжке. Количество непосредственно доступного растениям калия может быть значительно — раз в 8—10 — ниже приведенных цифр.

углекислых солей. Средние углекислые соли кальция и магния, CaCO_3 и MgCO_3 , нерастворимы в воде, но при избытке угольной кислоты они переходят в двууглекислые соли, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, заметно растворимые в воде; растворы двууглекислых кальция и магния имеют нейтральную или слабощелочную реакцию в зависимости от большего или меньшего избытка угольной кислоты и концентрации раствора. Железо может встречаться в виде солей закисного железа, FeO , и солей окисного железа, Fe_2O_3 . Только окисное железо является удобоусвояемой пищей для растений, закисные же соли считаются вредными. Образование закисного железа в почвах может происходить при неблагоприятном течении биологических процессов в почве, например при заболачивании. Кальций, магний и железо входят также в состав нерастворимых минеральных соединений — продуктов неполного выветривания горных пород. Серу растения потребляют в окисленной форме — из солей серной кислоты, как Na_2SO_4 , CaSO_4 , более или менее растворимых в воде. В растении сера входит в состав белковых веществ в восстановленной форме (производные сероводорода H_2S); несмотря на это обстоятельство, восстановленные или неполно окисленные соединения серы (напр. CaS , CaSO_3) для питания растений непригодны.

Потребление элементов питания различными растениями в разные периоды развития идет неодинаково¹⁾. Озимая рожь уже к началу колошения накапливает все необходимое количество питательных веществ и после колошения в поступлении питательных веществ уже не нуждается. Ранние яровые злаки — овес, ячмень, пшеница — заканчивают накопление ко времени цветения, озимая пшеница — к началу образования зерен, а бобовые, корнеплоды, картофель и однолетние травы продолжают потребление питательных веществ в течение всего вегетационного периода.

Периоды наиболее сильного накопления азотистых и зольных веществ для озимых и яровых злаков приходятся на вторую четверть вегетации (от полного кущения до начала или конца колошения), для поздних яровых, бобовых и мор-

1) См. Б. А. Чижов. „Накопление сухого вещества, зольных и азотистых веществ в культурных растениях“. Журнал Опытной агрономии Нижнего и Среднего Поволжья, т. III, вып. I, 1926 г.

кови — на вторую половину развития и середину развития для подсолнечника (время разворачивания и цветения корзинок); у картофеля накопление золы и азота происходит равномерно на протяжении всего времени роста.

КРУГОВОРОТ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ.

Ежегодно, с каждым урожаем, растения уносят из почвы значительные количества питательных веществ. Так, в урожае озимой ржи в 15 центнеров¹⁾ содержится приблизительно 26 кг азота, 11 кг фосфорной кислоты и 8 кг калия; 15 центнерам зерна соответствует примерно 37,5 ц соломы, заключающих 15 кг азота, 7,5 кг P_2O_5 и 30 кг K_2O . Некоторая доля из потребленных растением питательных веществ, содержащаяся в пожнивных остатках — жнивье и корнях, остается на полях и после разложения этих остатков вновь поступает в общий запас питательных веществ почвы. Поэтому эту долю можно не принимать в расчет.

Из свезенного с полей урожая часть элементов питания также возвратится на поля вместе с навозом, полученным из съеденного животными корма и данной в подстилку соломы.

Те же вещества, которые содержатся в продаваемом хозяйством на сторону зерне, мясе, молоке и др. продуктах, теряются для хозяйства уже безвозвратно. Как указывалось выше, запасы доступных корням растений питательных веществ в почве ограничены, и потому, независимо от начального плодородия почвы, при непрерывной культуре она неминуе-



Рис. 6. Падение урожаев при непрерывной культуре.

1) Метрический центнер равен $100 \text{ кг} = 6,1 \text{ пуда}$.

мо рано или поздно должна подвергнуться истощению, если только не будут приняты меры к пополнению ежегодной убыли питательных веществ. Примером истощения почвы непрерывной культурой без внесения удобрений могут служить данные Ротамстедской опытной станции (Англия), полученные при бессменной культуре ячменя (см. рис. 6).

Потери питательных веществ могут происходить не только вместе с продаваемым на сторону урожаем, но и другими путями, из которых для почв нечерноземной полосы заметную роль играет *вымывание*. Просачивающаяся сквозь почву влага вымывает растворимые вещества из поверхностных слоев вглубь. Вместе с грунтовыми водами эти вещества попадают в ручьи и реки и безвозвратно теряются для хозяйства. Особенно значительных размеров потери через вымывание могут достигать на песчаных землях северной части СССР. На землях, не занятых растениями, — паровых полях, — вымывание сказывается сильнее, чем на занятых полях. Растения, с одной стороны, испаряя большое количество влаги, уменьшают тем самым просачивание влаги сквозь почву, с другой стороны, потребляют своими корнями питательные вещества и этим также предохраняют их от вымывания.

В виде примера приведем данные по количеству и составу просачивающейся сквозь почву влаги (в дренаже), заимствованные из работы проф. Ф. Т. Перитурин¹⁾.

1. Количества просачивающейся сквозь почву влаги в литрах на гектар на парах и под культурой.

	Овес Коллектор № 16	Пар Коллектор № 13	Пар Коллектор № 12
Расход воды в коллекторах в летний период 1922 года	350 000	1 310 000	970 000

¹⁾ Ф. Т. Перитурин. Нитраты в дренажных водах (наблюдения над составом дренажных вод в хозяйстве Ново-Ивановском, Московского уезда). 1927

2. Количества азота нитратов, фосфорной кислоты и кальция, попадающие в дренажные воды под различными культурами (с 31/III по 20/V 1924 г.).

№ кол- лекторов	А	З	4	12	13	16
Культура	После корнепло- дов	После ржи, вспа- хано с осени	После овса, не вспахано	Ржанище, вспахано с осени и унаво- жено		Клевер
Расход воды в литрах на гектар . .	1 621 196	1 600 000	800 000	1 620 000	1 620 000	1 100 000
Азота нитратов в кг на гектар . .	18,1	13,0	1,3	19,8	16,7	4,8
Фосфорной кислоты в кг на гектар . .	2,5	1,8	0,8	2,5	2,1	1,1
Кальция (СаО) в кг на гектар . .	75,2	23,2	6,0	35,0	37,9	8,5

Эти данные, полученные на средней суглинистой почве, ясно указывают на влияние обработки и удобрения на количество вымываемых из почвы веществ, главным образом азота в форме нитратов. В значительно меньшей степени подвержены вымыванию фосфорная кислота и калий. Обработка почвы ускоряет разложение органических веществ и переход азота в форму нитратов и увеличивает количество впитываемой поверхностью почвы воды; борьба с вымыванием должна сводиться к недопущению чистых паров на песчаных землях и к замене их занятыми парами¹⁾.

¹⁾ Шнейдевинд для Германии (Бромберг) и Англии (Ротамстед) приводит такие количества вымываемых за 1 год веществ:

Фосфорная кислота . . .	0—5 кг на гектар	
Азот	30—40 кг " "	а при усиленном удобрении и больше
Калий	7 " "	на тяжелых почвах
	51 " "	на песчаных почвах
Кальций	250—500 " "	

Кроме того, значительные потери питательных веществ, преимущественно азота, являющегося наиболее подвижным из всех питательных элементов, происходят при хранении навоза; при неблагоприятных условиях хранения может теряться свыше 50% азота, первоначально бывшего в навозе. Затем внесение в почву неперепревшей соломы и соломи-
Уражение навоза
 стого навоза может вызывать денитрификацию, т.е. превращение азота нитратов в газообразный азот; размеры этих потерь трудно поддаются учету.

Естественными источниками, пополняющими запасы связанного азота в почве, являются растения-азотособи-
с помощью
с помощью
 ратели, к которым относятся бобовые, способные, благодаря со-
с помощью
с помощью
 жителю с помощью бактерий, усваивать свободный азот воздуха; той же способностью обладают и некоторые свободно живущие виды бактерий, напр. распространенный на черноземе азотобактер (*Azotobacter*). Кроме того, с атмосферными осадками приносится связанный азот — аммиак и азотная кислота — в количествах от 4 до 15 кг азота на гектар в год.

Даже в самой истощенной почве анализом можно обнаружить некоторое, часто довольно значительное, количество питательных веществ, находящихся в форме, недоступной корням растений, т.е. в виде нерастворимых органических или минеральных соединений. Наличие в почве запаса питательных веществ в недоступной растениям форме заставляет различать *богатство* почвы, т.е. общее количество питательных веществ, от ее *плодородия*, зависящего от количества доступных растению элементов питания.

Не раз высказывалось заманчивое предположение, что надлежащей обработкой можно ускорить разрушение нерастворимых соединений, заключающих питательные вещества, сделать последние доступными для культурных растений и способствовать таким образом переходу богатства почвы в ее *плодородие*.

Это предположение в общей форме не нашло пока себе подтверждения при опытной проверке. Оно оправдалось лишь по отношению к азоту, входящему в органическое вещество почвы. Действительно, соответствующей обработкой, в особенности на черноземных почвах, удается ускорить разложение органического вещества почвы и тем самым вызвать

переход азота в растворимые формы — соли аммиака и азотной кислоты. По отношению же к фосфорной кислоте и калию дело обстоит значительно хуже. Нерастворимые, недоступные растениям соединения фосфора и калия относятся преимущественно к трудно разрушающейся минеральной части почв, и до сих пор еще неизвестны такие приемы обработки, которыми можно было бы в заметной мере ускорить разрушение этих соединений.

Но даже и в отношении азота не удается так долго, как это, казалось бы, отвечало почвенным запасам, использовать почвенное богатство. Наблюдаемое вначале при рациональной паровой обработке энергичное накопление нитратов, по мере убыли органического вещества, происходит все менее энергично, несмотря на то, что запасы органических веществ и азота в почве еще значительны; это зависит от того, что по разложению менее прочных органических соединений в почве остаются очень стойкие вещества, лишь с большим трудом и крайне медленно отдающие свой азот и вместе с нерастворимыми минеральными соединениями составляющие инертную часть почвенного богатства.

При непрерывной культуре растений без удобрения, как это можно видеть из данных Ротамстедской опытной станции (рис. 5), вначале быстрое падение урожая становится затем более плавным и после достижения уровня в 3—4 ц на гектар идет очень медленно. Можно считать, что при достижении такой „предельной“ величины урожая „плодородие“ почвы, создаваемое запасами доступных растению веществ, сведено к нулю, а потребное для развития растений очень малое количество питательных веществ создается отчасти за счет азота, поступающего с осадками, отчасти за счет всегда имеющего место постепенного перехода из почвенного богатства инертных, недоступных растению веществ в более доступные, активные формы.

Если считать, что, в среднем, „предельный“ урожай даст 3,5 центнера зерна и 7,0 центнеров соломы на гектар, то уносимое им из почвы количество питательных веществ (с поправкой на зерно, служившее для посева) будет отвечать 7,0 кг азота, 3,8 кг P_2O_5 и 5,5 кг K_2O .

Руководствуясь сказанным выше, мы можем подойти к учету баланса питательных веществ в хозяйстве. Урожай-

ность полей зависит от *плодородия* почвы, т.-е. от запасов питательных веществ, находящихся в более или менее доступной для растений форме; приход и расход питательных веществ, определяющих возрастание и убыль плодородия, слагаются так:

Приход.

1. Переход питательных веществ из инертной части „богатства“ в доступные формы.

2. Пополнение запасов азота азотособирающими (и осадками).

3. Внесение минеральных удобрений.

Расход.

1. Отчуждение питательных веществ вместе с продаваемыми на сторону продуктами.

2. Потери при хранении навоза.

3. Денитрификация и вымывание.

Чем больше расход превышает приход, тем скорее утрачивается плодородие почвы, тем сильнее выражен *хищнический* характер хозяйства; такое хищничество еще допустимо на тучных черноземных почвах, обладающих избытком плодородия, но совершенно не может иметь места на выпашанных крестьянских землях нечерноземных районов СССР. Средний для СССР крестьянский урожай хлебов в 7 центнеров зерна с гектара слишком недалеко отстоит от „предельного“ уровня и слишком плохо оплачивает труд земледельца. Надлежащее хранение навоза, обработка, способствующая накоплению растворяемых питательных веществ, борьба с вымыванием — все это способно только *замедлить* падение плодородия почв, но неспособно остановить его, ни, тем более, поднять. А большие площади земель СССР нуждаются именно в поднятии, *восстановлении* плодородия, немыслимом без пополнения запаса питательных веществ, т.-е. без внесения удобрений извне.

ГЛАВА II.

ПОЧВА КАК ПОСРЕДНИК МЕЖДУ РАСТЕНИЕМ И УДОБРЕНИЕМ.

Разумное применение удобрений требует знакомства с важнейшими свойствами почвы, потому что, прежде чем потребляться растением, удобрение вступает во взаимодействие с почвой.

Помимо достаточного содержания питательных веществ, растения предъявляют к почве ряд требований, касающихся физического состояния почвы — ее влажности, воздухопроницаемости и пр. Из „закона минимума“ (или закона действия факторов роста) вытекает, что если в минимуме будет находиться вода или воздух, то никакое богатство почвы питательными веществами не в состоянии увеличить урожай, — удобрения в полной мере действуют лишь тогда, когда нормальному развитию растений мешает только недостаток питания.

Поэтому внесению удобрений должна предшествовать правильная обработка полей, обеспечивающая доступ воздуха и достаточную влажность почвы.

Как известно, зависимость водного и воздушного режима почвы от обработки заключается в следующем. Правильной обработкой создается рыхлое, мелкокомковатое строение пахотного горизонта почвы, обеспечивающее свободный доступ воздуха вглубь и хорошее впитывание дождевой влаги. С другой стороны, мелкокомковатое строение поверхностного слоя почвы предохраняет от потерь влаги через испарение. Поднятие воды из глубины почвы на поверхность происходит по мельчайшим капиллярным промежуткам между почвенными частицами; при разрыхлении поверхностного слоя почвы капиллярные ходы нарушаются и подача воды на поверхность прекращается. Высыхает только тонкий поверхностный слой, а влага, находящаяся в глубине почвы, сохраняется. Правильная обработка паровых полей как раз и ставит своей задачей создание рыхлого, мелкокомковатого строения в поверхностном слое

почвы. Однако для создания *прочного* мелкокомковатого строения недостаточно одной обработки, нужно еще, чтобы почва обладала способностью давать при рыхлении прочные комочки. Главная роль в придании прочности комочкам — или, как говорят, в создании прочности строения почвы — принадлежит органическому веществу и кальцию. Почвы, содержащие мало органического вещества и кальция, не имеют прочного строения, они распыляются или дают глыбы при обработке и заплывают коркой после дождя.

Вопрос о том, что важнее — удобрение или обработка, решается различно в зависимости от местных условий, от того, какие факторы роста растений находятся в минимуме — физические или химические. Естественно, на бедных, истощенных почвах никакая обработка не может дать значительного прироста урожая; на более плодородных почвах, но страдающих от недостатка влаги, от сорняков и пр., обработка дает значительный эффект. Применение удобрений и без надлежащей обработки вызывает увеличение урожая, но при надлежащей обработке культурные растения могут лучше использовать и оплатить удобрение; и обратно, на хорошо удобренных землях обработка дает большие приросты. Однако, по данным Харьковской с.-х. опытной станции, даже на черноземе от удобрения получается больший эффект, чем от ранней вспашки пара.

ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР, ЕГО СОСТАВ, КОНЦЕНТРАЦИЯ И РЕАКЦИЯ.

Почвенная влага вместе с растворенными в ней веществами носит название *почвенного раствора*. Именно из почвенного раствора растения черпают необходимые для них питательные вещества.

Правильная оценка влияния какого-либо приема культуры, внесенного удобрения, на урожай часто бывает невозможна без изучения состава почвенного раствора. Выделение раствора из почвы представляет значительные трудности, так как при обычном содержании влаги в 14—20% влага эта настолько прочно удерживается почвой, что выделить даже небольшую часть ее удастся только применением очень больших давлений или иных, довольно сложных, приемов¹⁾. Количество почвенного раствора, выделяемого при помощи этих приемов, бывает очень невелико, что сильно затрудняет изучение состава раствора. Поэтому часто на опытных станциях взамен почвенного раствора довольствуются изучением водных вытяжек из почвы. Но количество веществ, перехо-

¹⁾ Из этих приемов более прост масляно-эмульсионный метод Дояренко-Шмук, описанный в Н.-Агр. Ж., № 2, 1924, стр. 107—108.

дящих в водную вытяжку, далеко не отвечает количеству, находящемуся в почвенном растворе, и потому едва ли будет правильным рассматривать водную вытяжку как замену почвенного раствора. Скорее следует считать водную вытяжку самостоятельным приемом исследования, имеющим к тому же условный характер, так как количество извлекаемых из почвы веществ зависит от способа приготовления вытяжки.

В виде примера приведем результаты по изучению сравнительного состава почвенной вытяжки и раствора по данным опытного поля Т. С.-Х. А.¹⁾

В миллиграммах на килограмм абсолютно сухой почвы.

Влажность почвы		Сухой остаток	Са	К	Нитраты	P ₂ O ₅
Пар удобренный						
Почв. раствор . . .	15,8%	654	68,1	21,9	285	0,34
Водн. вытяжка . . .		819	54,0	58,9	274	30,9
Пар неудобренный						
Почв. раствор . . .	13,7%	261	35,3	1,49	115	0,09
Водн. вытяжка . . .		334	39,9	8,86	102	1,50

Если подсчитать по этим данным, какое количество питательных веществ находится в почвенном растворе на 1 гектаре, то для нитратов получим 1500 кг (более 100 п.), а для фосфорной кислоты всего только около 2 кг, т.-е. явно недостаточное для обеспечения урожая количество. Водная вытяжка извлекает значительно большие количества P₂O₅, что объясняется переходом в раствор малорастворимых соединений фосфорной кислоты (как СаНРО₄) при обработке большими количествами воды (4 литра на 1 кг почвы).

Изменения в составе почвенного раствора и водной вытяжки дают характеристику хода накопления питательных веществ в почве, но не указывают на общее содержание доступных растению веществ, на нуждаемость почвы в удобрении. Тем не менее необходимо, чтобы некоторое, хотя бы

¹⁾ Работа С. Драчева и Ф. Соболева. Н.-Агр. Ж., № 2, 1926.

очень небольшое, количество веществ постоянно находилось в растворе, чтобы растения могли иметь постоянный источник питания. Нужно только, чтобы по мере потребления корнями растений раствор все время пополнялся новыми количествами питательных веществ или за счет растворения малорастворимых соединений или за счет разлагающегося органического вещества.

Помимо богатства питательными веществами на растения оказывают влияние и другие свойства почвенного раствора. Так, общее содержание растворимых веществ в растворе, концентрация солей, измеряемая осмотическим давлением раствора ¹⁾, оказывает влияние на величину и состав урожая.

Это влияние видно из следующих цифр (по данным Станции питания растений Т. С. Х. А.):

(Опыт Т. Демиденко)

Урожай горчицы	Давление (в атмосферах)				
	1	2	3	4	5
Урожай зерна	5,05	4,85	4,99	5,27	5,71
Валовой урожай	30,5	27,98	25,39	23,86	20,44

(Опыт Н. М. Тулайкова)

Пшеница	Давление (в атмосферах)			
	1	3	5	7,4
Процент азота в зерне .	2,23	2,25	2,63	2,61

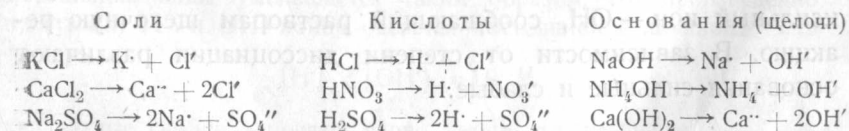
¹⁾ Растворы солей обладают способностью притягивать к себе воду. Если налить раствор соли в сосуд с так наз. полупроницаемыми стенками, напр. из пористой глины, или в мешочек из пергамента, и поместить этот сосуд в воду, то можно наблюдать, что заключенный в сосуде раствор притягивает воду извне и стремится таким образом увеличить свой объем. Увеличение объема вызывает давление на стенки сосуда; величину этого давления обычно выражают в атмосферах. Наблюдать осмотическое давление можно только в сосудах, имеющих полупроницаемые стенки, т.е. относительно хорошо пропускающих воду и плохо — растворенное вещество. Величина давления зависит от числа находящихся в растворе молекул и не зависит от природы вещества.

Из всех свойств почвенного раствора наибольшее внимание исследователей в последнее время привлекает его реакция. Многочисленными работами как иностранных, так и русских ученых доказано существенное влияние реакции почвенного раствора на развитие растений.

Во-первых, реакция раствора непосредственно влияет на корни растений, подавляя или способствуя их развитию; наилучший рост для большинства культурных растений наблюдается при нейтральной или слабо-кислой реакции раствора. Во-вторых, деятельность почвенных бактерий в сильнейшей степени зависит от реакции раствора; поэтому и энергия разложения органических веществ, и характер образующегося гумуса, и количества накапливающихся питательных веществ определяются реакцией почвенного раствора. В-третьих, от реакции раствора зависит большая или меньшая доступность растениям труднорастворимых питательных веществ.

Столь большое значение, какое приписывается в настоящее время реакции почвенного раствора, степени его кислотности, заставляет несколько подробнее остановиться на выяснении самого понятия кислотности и на причинах, ее вызывающих.

Как известно, ряд химических соединений — соли, кислоты, щелочи — обладает способностью в водных растворах распадаться на ионы, т.е. части молекул, имеющие противоположные электрические заряды. Соединения эти, называемые электролитами, сообщают растворам способность проводить электрический ток; прохождение тока через раствор сводится к передвижению частиц, несущих заряды, т.е. ионов. Процесс распада на ионы носит название электролитической диссоциации. Ионы, несущие положительный заряд, или катионы, обозначаются точкой, а ионы с отрицательным зарядом, или анионы, — запятой; например:



Распадение на ионы никогда не идет нацело; всегда в растворе, наряду с ионами, остается еще некоторое количество нераспавшихся молекул. Чем большее число молекул распа-

дается на ионы, тем больше будет степень диссоциации вещества.

Для всех кислот характерным является водородный атом, способный в растворе отщепляться как ион. Кислый характер растворов вызывается именно присутствием иона водорода и не зависит от того, с каким кислотным радикалом этот водород был связан.

Кислоты бывают сильные и слабые; различие между теми и другими заключается в степени диссоциации. Например, мы имеем в растворе (децинормальном) в одинаковых объемах воды по 100 молекул соляной и уксусной кислоты. HCl, являющаяся сильной кислотой, диссоциирует очень сильно, скажем, в данных условиях 98% ее молекул распадутся на ионы, и в растворе получится 98 водородных ионов. Уксусная кислота значительно слабее соляной и распадается на ионы в тех же условиях всего на 1%, т.-е. создает концентрацию H-иона в 98 раз меньшую.

Концентрация ионов водорода в растворе определяет активную кислотность раствора. От активной кислотности следует отличать потенциальную кислотность, которая зависит от содержания в растворе недиссоциированных молекул кислоты. Эти молекулы, не принимая участия в создании активной кислотности, тем не менее 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 ₃ COOH
Серная H ₂ SO ₄	Угольная H ₂ CO 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.

Сильные основания	Менее сильные	Слабые
NaOH	Ca(OH) ₂	Fe(OH) ₃
KOH	NH ₄ OH	Al(OH) ₃

При нейтрализации из кислоты и щелочи получается соль. Образование соли сводится к получению из водородного иона кислоты и гидроксильного иона щелочи нейтральных молекул воды, а ионы Cl и Na не претерпевают изменений.



Соляная кислота	Едкий натр	Поваренная соль	Вода
-----------------	------------	-----------------	------

Вместе с исчезновением водородных и гидроксильных ионов исчезает и кислый, или основной, характер раствора.

По отношению к почве, так же как и в растворах, различают активную и потенциальную кислотность. Под активной кислотностью почвы разумеют концентрацию водородных ионов в почвенном растворе или в водной вытяжке из почвы, а под потенциальной кислотностью — содержание нерастворимых кислотных соединений, обладающих способностью связывать, поглощать основания.

Для обозначения активной реакции растворов принято пользоваться символом pH. Численная величина pH растет с уменьшением кислотности, для нейтральной реакции pH = 7, для щелочной реакции — больше 7, что видно из следующей схемы:

pH:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
						Слабо-кислая	↑	Слабо-щелочная					
						←	Нейтральная реакция	→					
						Кислая						Щелочная	

Совершенно чистая вода, хотя и в очень небольшой степени но распадается на ионы: $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$, так, что во всяком растворе, и в щелочном и в кислом, всегда присутствуют оба иона — и OH' и H'. В случае присутствия кислоты или щелочи диссоциация воды уменьшается таким образом, что произведение (не сумма!) H- и OH-ионов остается постоянной величиной:

$$[\text{H}] \times [\text{OH}] = 10^{-14}$$

(квадратные скобки заменяют слово „концентрация“).

Растворяя кислоту в воде, мы увеличиваем концентрацию H-ионов и уменьшаем число OH', но так, что произведение их всегда равно 10^{-14} . Для чистой воды количество H-ионов равно количеству OH-ионов: $[\text{H}] = [\text{OH}]$, и, следовательно, вме-

сто $[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$ мы можем написать: $[H^+] \cdot [H^+] = [H^+]^2 = 10^{-14}$, и концентрация H^+ -иона в чистой воде равна $[H^+] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$.

Так как изменения концентрации водородного и гидроксильного ионов связаны определенной законностью, то для характеристики реакции раствора достаточно знать концентрацию одного из них. Обычно принято указывать концентрацию H^+ -иона. При нейтральной реакции концентрация H^+ -иона, как мы видели, равна 10^{-7} , при щелочной она меньше, напр. 10^{-8} или 10^{-9} , при кислой — больше, напр. 10^{-6} , 10^{-5} и т. д. Проф. Зеренсен (Дания) предложил писать вместо выражений 10^{-7} или 10^{-6} и т. д. только один показатель степени с обратным знаком, т. е. 7 или 6. Полученные числа выражают активную реакцию раствора и обозначаются символом рН.

Как меняются значения рН в зависимости от концентрации иона водорода, можно видеть из следующей таблицы:

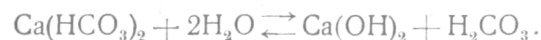
Концентрация H^+ -иона	рН
1 - нормальная ¹⁾	0
0,1	1
0,01	2
0,001	3
0,0001	4 и т. д.

Следовательно, при переходе от одного целого числа рН к следующему кислотность раствора изменяется в 10 раз.

Наиболее существенное влияние на реакцию почвенного раствора оказывают содержащиеся в растворе угольная кислота H_2CO_3 и двууглекислый кальций $Ca(HCO_3)_2$.

Угольная кислота, всегда в достаточном количестве находящаяся в почве, является очень слабой кислотой и потому может создавать только слабую кислотность в почвенном растворе — до рН = 5,0.

Двууглекислый кальций, соль сильного основания и очень слабой кислоты, в водных растворах подвергается гидролитическому расщеплению, приводящему к образованию небольших количеств $Ca(OH)_2$ и, следовательно, к слабой щелочности раствора — до рН = 8,0:



¹⁾ При 1-нормальной концентрации раствор содержит 1 грамм-ион водорода в 1 литре. Более точно величина рН определяется как отрицательный логарифм концентрации H^+ -иона. Напр., концентрация H^+ равна $0,02 = \text{норм.}$, или $2 \cdot 10^{-2}$; $\lg(2 \cdot 10^{-2}) = \lg 2 - 2 = 0,30 - 2 = -1,70$ и рН = 1,7.

Таким образом в пределах рН от 5,0 до 8,0 реакция почвенного раствора может зависеть только от относительных количеств угольной кислоты и двууглекислого кальция.

Большая кислотность — до рН = 4,0 и даже 3,6 — встречается на сильно оподзоленных или заболоченных почвах и зависит от содержания более сильных, чем угольная, органических кислот или небольших количеств сильных минеральных кислот. Более высокая щелочность может появляться в случае одновременного присутствия в почве углекислого кальция $CaCO_3$ и растворимых солей натрия, например:



Образующаяся при этой реакции сода и служит причиной щелочности (рН = 10 и выше), губельно действующей на растительность. Столь высокую щелочность почв можно встретить на солончаках юго-востока Европ. части СССР.

Для большинства культурных растений наиболее благоприятные значения реакции лежат в пределах между рН 5—7, что можно видеть из следующей таблицы (по данным Аррениуса и Тренеля):

Растение	Наилучший рост при	Растет в пределах	Растение	Наилучший рост при	Растет в пределах
Картофель . . .	5—6	4—8	Свекла сах. . .	6—7	6—8
Овес	5—6	4—8	Люпин	4—5	4—6
Рожь	5—6	4—7	Горох	6—7	5—8
Пшеница	6—7	4—8	Клевер кр. . . .	6—7	5—8
Ячмень	7—8	5—8	Лен	—	—

Но, повидимому, оптимум рН для одного и того же растения не является постоянной величиной, а меняется в зависимости от состава раствора, из которого растение черпает свою пищу. По всей вероятности, этим объясняются несовпадения результатов, полученных при опытах на различных почвах ¹⁾.

¹⁾ Напр. L. v. Kreybig (Венгрия), работавший на лессовидных почвах в ползасушливом климате, приводит как дающие наивысшие урожаи почвы со следующими рН: для пшеницы — 7,26 — 7,87; ржи — 7,50 — 7,60; ячменя — 7,60 — 8,20 и 6,10 — 6,50; овса — 6,72 — 8,40; свеклы — 7,60 — 8,50; клевера 6,0 — 7,40 и для люцерны — 8,30 — 8,70. См. Comptes rendus de la deuxième commission de l'association interantionale de la Science du sol. v. A. Groningen, 1926.

Существуют разнообразные методы для определения активной реакции почвы. Не останавливаясь на описании приемов, требующих сложной лабораторной обстановки, и отсылая интересующихся к руководствам В. В. Кудряшева и М. К. Домонтовича¹⁾, мы ограничимся описанием наиболее простого колориметрического способа определения рН в почвенной вытяжке (по Wherry), вполне осуществяемого даже в полевой обстановке.

Для осуществления этого способа нужно иметь набор индикаторов Сларка (бромфенолблау, метилрот, бромкрезолпурпур, бромтимолблау, фенолрот), белую фарфоровую пластинку с углублениями, несколько пробирок, пипетку и дистиллированную воду. Берут небольшое количество (ок. 1—2 г) почвы, помещают в пробирку, взбалтывают с 2—4 куб. см воды и дают отстояться в течение $\frac{1}{2}$ часа. Маленькой пипеткой берут пробу осветлившейся жидкости и помещают по несколько капель в углубления фарфоровой пластинки. Затем размешивают пробы концом стеклянной палочки, смоченным в растворе индикатора, и наблюдают полученное окрашивание.

Руководствуясь нижеприведенной таблицей, по цвету индикатора судят о рН вытяжки.

Название индикатора.	Окраска и отвечающее ей рН.				
1. Бромфенолблау . .	Желтая — серая — зеленая — коричнево-фиолетовая — фиолетовая.	3,0	3,5	4,0	4,5
	5,0				
2. Метилрот	Красная — оранжево-красная — оранжево-желтая — желтая.	4,5	5,0	5,5	
	6,0				
3. Бромкрезолпурпур.	Желтая — грязно-желтая — коричнево-фиолетовая — темно-фиолетовая.	5,0	5,5	6,0	
	6,5				
4. Бромтимолблау . .	Желтая — желто-зеленая — сине-зеленая — синяя.	6,0	6,5	7,0	7,5
5. Фенолрот	Желтая — оранжевая — розовая — красная.	6,5	7,0	7,5	8,0

При пользовании этой таблицей необходимо помнить, что показания каждого индикатора имеют значение только в определенных интервалах рН. Так, например, показания метилрота действительны только в пределах 4,5—6,0. При всех рН ниже 4,5 он будет

¹⁾ В. В. Кудряшев. Определение активной реакции. Изд. Торфяной части НКЗ, 1926.

М. К. Домонтович. рН-определение концентрации водородных ионов. Изд. „Новый Агроном“, 1926.

давать красную, при всех рН выше 6,0 — желтую окраску. Реакцию раствора желательно установить не по одному индикатору, а по нескольким.

Этот метод, хотя и не отличается точностью, тем не менее заслуживает широкого распространения, так как знание кислотности почвы, даже приблизительное, необходимо для решения ряда агрономически-важных вопросов.

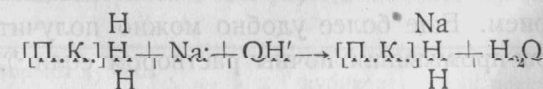
ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ.

В почве содержатся нерастворимые соединения кислотного характера, неспособные, в силу своей нерастворимости, распадаться на ионы и непосредственно подкислять почвенный раствор; кислые свойства этих соединений могут проявляться только в форме потенциальной кислотности — при приливании щелочи они способны удерживать основание, поглощать его.

Кислотные соединения почв отличаются разнообразием и сложностью химического состава и по природе своей могут принадлежать и к органической (гуматной) и к минеральной („цеолитной“) части почв. Обычно обе эти группы соединений объединяют под общим названием *поглощающего комплекса* почв. Свойства почвы в сильнейшей степени зависят от характера и свойств поглощающего комплекса, так как именно этот комплекс является наиболее подвижной, активной частью почвы.

Свойства же самого поглощающего комплекса зависят от количества и характера поглощенных оснований. Но прежде чем перейти к описанию свойств почвы в зависимости от состояния поглощающего комплекса, следует остановиться на самом механизме явлений поглощения.

Схематически явления поглощения можно изобразить так: символом [П. К.] мы обозначим частицу поглощающего комплекса, содержащую несколько водородных атомов, способных замещаться ионами металлов:

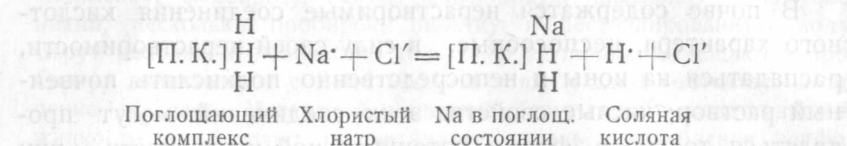


Поглощающий комплекс Едкий натр Na в поглощ. состоянии

При действии щелочи получается подобное соли, но нерастворимое соединение, содержащее в поглощенном состоя-

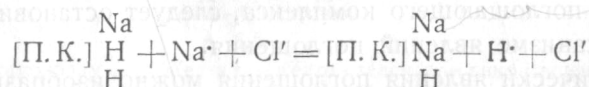
нии натрия. В нашем примере только часть водорода поглощающего комплекса замещена натрием; следовательно, при дальнейшем прибавлении щелочи поглощающий комплекс сможет связать еще некоторое количество основания — до тех пор, пока не будет достигнуто полное насыщение.

Поглощающий комплекс может вступать во взаимодействие не только со щелочами, но и с нейтральными солями, обменивая свой водород на ион металла соли:



Так, если почву с ненасыщенным, т.е. содержащим поглощенный водород, поглощающим комплексом взболтать с раствором хлористого натрия, то можно заметить, что происходит подкисление раствора, зависящее от того, что натрий, поглощаясь, вытесняет водород, дающий с ионом хлора соляную кислоту.

Правда, при этом могут образоваться только очень небольшие количества соляной кислоты (рН не ниже 4,0), так как соляная кислота во много раз сильнее притягивает основание, чем почвенный поглощающий комплекс. Но если слить раствор и взболтать почву еще раз со свежим — нейтральным — раствором, то снова небольшое количество натрия из раствора поглотится почвой, и взамен поглощенного натрия в раствор перейдет водородный ион:

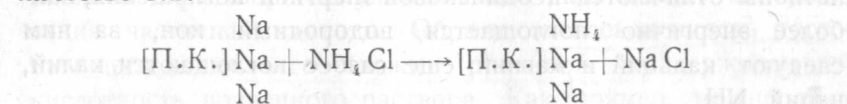


Взбалтывая многократно почву со свежими растворами NaCl, можно добиться окончательного вытеснения водорода и полного насыщения почвы (точнее — ее поглощающего комплекса) натрием. Еще более удобно можно получить тот же результат при промывании почвы раствором соли ¹⁾.

¹⁾ Описанный прием, т.е. промывание почвы раствором нейтральной соли, служит для количественного учета ненасыщенности почвы. Если прошедший сквозь почву раствор протитровать щелочью, то по количеству прошедшей на нейтрализацию щелочи можно судить о количестве вытесненного водорода, т.е. о ненасыщенности почвы.

Обратно, если насыщенную натрием почву обрабатывать разведенной соляной кислотой, то будем наблюдать частичную нейтрализацию соляной кислоты и появление в растворе хлористого натрия: водородный ион кислоты будет вытеснять натрий из поглощающего комплекса. Вытеснение будет идти до тех пор, пока не установится известное равновесие между концентрациями Na-иона и H-иона в растворе и содержанием этих ионов в почве.

Вообще поглощающий комплекс связывает основания не прочно, поглощенные основания отличаются подвижностью и легко замещают друг друга. Например, если к почве, насыщенной натрием, прилить раствора хлористого аммония, то часть ионов NH₄ поглотится почвой, вытеснив некоторое количество Na:



Вытеснение опять-таки будет идти до тех пор, пока не установится известное равновесие между концентрациями NH₄⁺ и Na⁺ в растворе. Многократным взбалтыванием со свежими растворами можно добиться полного вытеснения натрия и замены его на аммоний.

Уже из того, что поглощающий комплекс составляют нерастворимые соединения, ясно, что явления поглощения могут протекать только на поверхности соприкосновения почвенных частиц с раствором. Поэтому вместе с возрастанием поверхности почвенных частиц будет возрастать и их поглотительная способность. Величина поверхности частиц находится в связи с их размерами, именно, для одного и того же весового количества частиц поверхность будет тем больше, чем мельче сами частицы ¹⁾.

¹⁾ Иллюстрацией к этой зависимости может служить следующая таблица, показывающая возрастание поверхности по мере дробления тела (кубика).

Длина стороны кубика	Число кубиков	Их общая поверхность
1 миллиметр	1	6 кв. мм
0,01 миллиметра	1 000 000	600 кв. мм
0,0001 мм, или 0,1 микрона . . .	10 ¹²	600 кв. см
0,001 микрона, или 1 миллимикрон	10 ¹⁸	60 000 кв. см

Частицы, линейные размеры которых не превышают 0,0001 миллиметра, носят название коллоидально-раздробленных частиц; именно среди коллоидально-раздробленных частиц почвы явления поглощения протекают наиболее интенсивно. Высоким содержанием коллоидальных частиц (так называемого ^иила") отличаются почвы глинистые и почвы с большим количеством гумуса; следовательно, глинистые и содержащие гумус почвы будут обладать наибольшей величиной поглощающего комплекса, или, как говорят, наибольшей *емкостью поглощения*.

Свойства поглощающего комплекса, а вместе с тем и свойства всей почвы меняются в зависимости от степени насыщенности основаниями и от природы этих оснований. Различные катионы отличаются неодинаковой энергией поглощения; наиболее энергично поглощается водородный ион, за ним следуют кальций и магний, еще слабее поглощаются калий, натрий, NH_4 .

Из всех оснований наиболее видная роль в почвах принадлежит кальцию. Кальций, поглощаясь значительно энергичнее других оснований, сообщает в то же время погло-

песса, который в свою очередь зависит от климатических условий местности¹⁾.

Почвы черноземной полосы, находящиеся в умеренно-влажном климате, отличаются очень большой емкостью поглощения и высокой степенью насыщенности основаниями. Большая емкость поглощения этих почв объясняется высоким содержанием органических веществ (4—10%), хотя и минеральная часть поглощающего комплекса довольно значительна; поглощенные основания на 75% состоят из Са; на Mg приходится около 20% и не более 5% на все прочие основания (К, Na). Соли натрия и калия, образующиеся в процессе почвообразования как один из продуктов разрушения остатков горных пород, отличаются хорошей растворимостью и в большей части вымыты из почвы нисходящим током воды. Находившийся также в материнской породе углекислый кальций — CaCO_3 — значительно менее растворим и трудно поддается вымывающему действию воды; на известной глубине в черноземных почвах можно обнаружить так называемый горизонт вскипания, — в этом горизонте скопляется вымываемый из вышележащих слоев CaCO_3 , дающий при смачивании почвы соляной кислотой энергичное вскипание. Вследствие богатства почвы кальцием почвенный раствор имеет слабо-щелочную реакцию (рН около 7,5), обусловленную присутствием $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Богатство питательными веществами, теплый климат, слабо-щелочная реакция почвенного раствора, благоприятствующая деятельности бактерий, обуславливают высокое плодородие черноземных почв.

К югу и юго-востоку от черноземной полосы лежат области с более сухим климатом. Степень увлажнения там уменьшается настолько, что даже легкорастворимые соли щелочных металлов, давно вымытые в полосе чернозема, не уносятся из почвы и могут скопляться в заметных количествах. При достаточно засушливом климате, вследствие усиленного испарения с поверхности почвы, в толще почвы создается ток воды по капиллярам снизу вверх. Вместе с водой двигаются и находящиеся в растворе легкорастворимые соли (NaCl , Na_2SO_4 , Mg Cl_2), скопляющиеся на поверхности почвы и по-

¹⁾ См. К. К. Гедройц. Почвенный поглощающий комплекс как основа генетической почвенной классификации. Изд. Носовской с.-х. опытной станции, вып. 38, 1925.

вышающие концентрацию почвенного раствора. При высокой концентрации ион натрия может начать конкурировать с поглощенным кальцием и вытеснять кальций, становясь на его место. Вхождение в поглощающий комплекс натрия имеет следствием ухудшение почвенной структуры и разрушение поглощающего комплекса. Получается солонец — почва с плохой структурой, повышенной концентрацией почвенного раствора и малопродуктивная.

В случае же одновременного присутствия в почве натрия и углекислого кальция может происходить значительное увеличение щелочности почвенного раствора, исключающее возможность культуры растений (см. стр. 37). В почвах засушливой зоны — так называемых каштановых суглинках — большая роль в поглощающем комплексе принадлежит минеральной части.

К северу от черноземной полосы климатические условия меняются в сторону большего увлажнения. Вымывающее действие воды сказывается сильнее — не только легкорастворимые соли, но даже и CaCO_3 вымываются из почвы: по мере движения к северу от полосы тучного чернозема горизонт вскипания уходит все глубже и глубже от поверхности почвы и наконец совсем исчезает.

Просачивающаяся сквозь почву вода всегда содержит угольную кислоту и вследствие этого обладает слабо-кислой реакцией. Как указывалось выше, водородный ион по сравнению со всеми другими катионами обладает наибольшей энергией поглощения. Поэтому даже при той ничтожной концентрации, какая создается угольной кислотой, водородный ион начинает понемногу вытеснять Са и становится на его место. В черноземных почвах этому противодействует углекислый кальций, дающий с угольной кислотой растворимый двууглекислый кальций:



который не дает возможности водороду вступать в поглощающий комплекс. Но после того как весь углекислый кальций вымыт из почвы, поглощающий комплекс оказывается незащищенным, водородный ион начинает понемногу вытеснять поглощенный Са и создавать ненасыщенность почвы.

К северу от полосы тучного чернозема находятся так называемые выщелоченные черноземы, лишенные углекислого кальция. Еще севернее лежат области деградированных черноземов и серых лесных земель, лишившихся уже части поглощенного кальция и обладающих в силу этого некоторой ненасыщенностью.

Вместе с появлением ненасыщенности идет и разрушение поглощающего комплекса; поэтому емкость поглощения для этих почв будет ниже, чем для типичного чернозема. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН 6,2—7,0).

Наконец в зоне дерново-подзолистых почв — в северной половине СССР — вытеснение кальция и следующее за этим появление ненасыщенности и разрушение поглощающего комплекса выражены особенно сильно. Процесс образования оподзоленных почв и заключается в удалении поглощенных оснований и в разрушении водой, подкисленной угольной кислотой, а может быть и другими кислотами, образующимися при разложении органических веществ, поглощающего комплекса, в особенности минеральной его части. Емкость поглощения этих почв невелика, при чем большая часть (около 65—70%) приходится на долю органической части; хотя разрушение гуматной части комплекса идет также достаточно интенсивно, однако ежегодное пополнение запасов органического вещества почвы за счет растительных остатков дает перевес этой части над минеральной. С какой энергией идет вынос Са из поглощающего комплекса в подзолистой зоне, можно судить по данным состава дренажных вод, приведенным на стр. 25. Реакция почвенного раствора на этих почвах обычно ниже рН=6,0 и доходит иногда до 4,0. Однако и в подзолистой зоне можно встретить более или менее насыщенные почвы, в особенности в пониженных частях рельефа местности, где скопляется вымываемый кальций.

Большой емкостью и вместе с тем высокой ненасыщенностью и кислотностью (рН до 3,6) обладают некоторые торфянистые почвы (моховые).

Распределение почв по зонам в Европейской части СССР схематически представлено на прилагаемой почвенной карте (рис. 7). Примерные цифры емкости поглощения, ненасыщенности и реакции водной вытяжки для различных почв приведены в нижеследующей таблице:

Емкость поглощения, ненасыщенность и реакция водной вытяжки для различных почв.

П о ч в а	Емкость поглощения в г Са на 100 г почвы	Ненасыщенность	Реакция водной вытяжки (рН)
Оподзоленная супесчаная . .	0,056	0,021	5,4
„ суглинистая . .	0,115	0,018	5,6
Деградированный чернозем .	0,555	0,035	6,2
Чернозем	0,588	0	7,2
Торф (моховой)	1,80	1,69	4,5

Разница между емкостью поглощения и ненасыщенностью дает содержание поглощенных оснований.

В дальнейшем, обсуждая вопросы, касающиеся применения минеральных удобрений, нам придется все время считаться с взаимодействием между удобрительными материалами и поглощающим комплексом: выбор надлежащих удобрений возможен только при знакомстве с состоянием поглощающего комплекса в данной почве.

Для решения вопросов, связанных с приемами известкования и фосфоритования, необходимо учитывать степень ненасыщенности почвы. Применяемые для этой цели методы описаны в главе об известковании (стр. 155). Здесь уместно, однако, указать на существование упрощенных, применимых в полевой обстановке, приемов, позволяющих хотя бы приблизительно судить о степени ненасыщенности почвы.

Уже по реакции водной почвенной вытяжки можно судить о ненасыщенности почвы: почвы с кислой реакцией не могут быть насыщенными основаниями. Еще более наглядно указывает на ненасыщенность определение рН (хотя бы по Wherry) в вытяжке, содержащей KCl (7,5%). Вытесняемый калием водородный ион вызывает более сильное подкисление раствора по сравнению с водной вытяжкой.

Наиболее простым является метод Комбера: в пробирке взбалтывают 1—2 г почвы с 5 куб. см 4% спиртового раствора роданистого калия KCNS. На ненасыщенных почвах получается красное окрашивание, тем более интенсивное, чем выше степень ненасыщенности. Окрашивание появляется не тотчас: первое наблюдение делают через 1 час после взбалтывания; но на слабо-ненасыщен-

ных почвах окрашивание не удается заметить и по истечении этого срока, — оно появляется лишь после более длительного, напр. 24-часового, стояния.

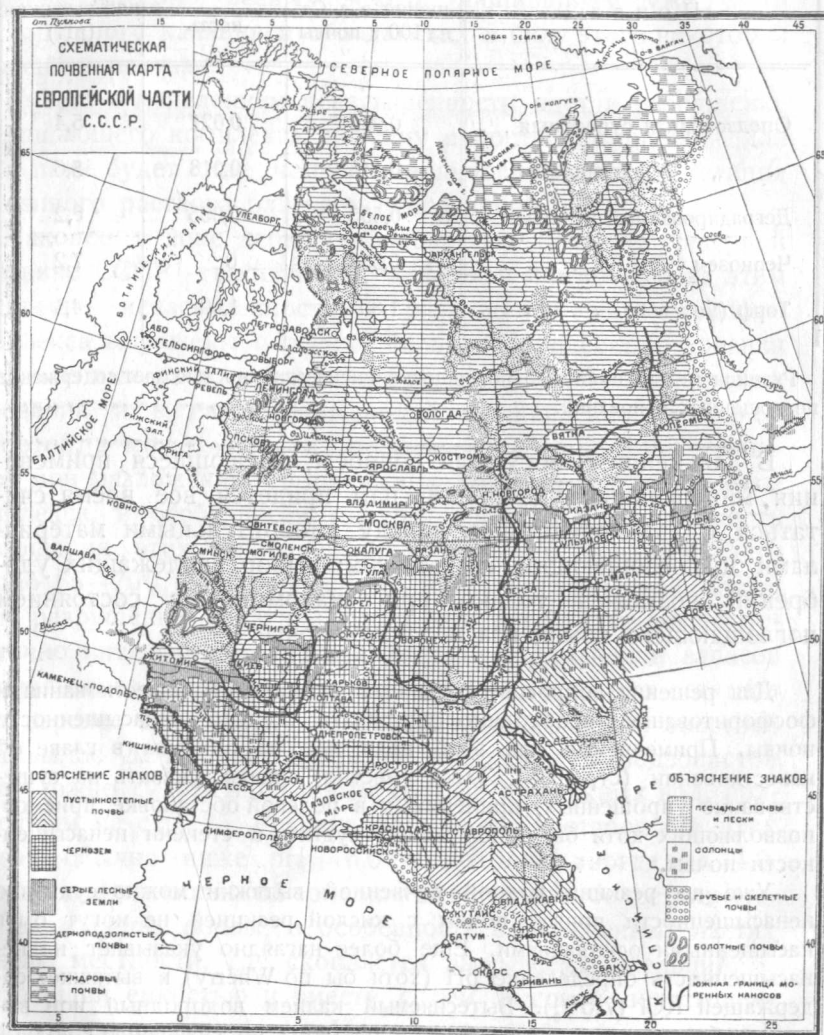


Рис. 7.

Реакция на ненасыщенность с реактивом Комбера получается только в том случае, если почва содержит железо. Количество железа в ионной форме, дающей окрашивание с $KCNs$, зависит от степени ненасыщенности почвы. Но на почвах, лишенных железа,

как, напр., некоторых торфянистых почвах, нельзя получить реакции Комбера, несмотря на высокую степень ненасыщенности.

Особняком стоит способность почвы задерживать, *поглощать фосфорную кислоту*. Эта способность зависит от того, что фосфорная кислота дает труднорастворимые соли с всегда имеющимися в почве кальцием, железом или алюминием. В последнее время установлена даже известная связь между содержанием Ca^{++} и P_2O_5 в почвенном растворе: именно, увеличение содержания Ca^{++} понижает растворимость вообще малорастворимых кальциевых солей фосфорной кислоты и тем уменьшает содержание последней в растворе. В свою очередь переходу Ca в раствор способствует накопление больших количеств нитратов, имеющее место на насыщенных, богатых гумусом, почвах.

Помимо описанных явлений химического поглощения, почвы проявляют способность вообще *понижать концентрацию растворов*, соприкасающихся с почвой. Этот тип поглощения является физическим процессом (адсорбция), свойственным не только почве, но и ряду других тел, напр. углю.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ.

Существенная роль органического вещества — *гумуса* — в деле создания плодородия почв уже ясна из его участия в явлениях поглощения. Кроме того, гумус является источником углекислоты, влияющей на реакцию почвенного раствора, и источником азота для питания растений.

Материалом для образования почвенного гумуса служат корневые и пожнивные остатки растений, вносимый в почву навоз, а также другие удобрения органического происхождения, как торф, зеленое удобрение и пр.

Эти материалы подвергаются переработке, разложению почвенными микроорганизмами — бактериями и грибами (плесенью). Некоторое участие в этом деле принимают и животные, напр. дождевые черви.

Микроорганизмы работают с различной энергией, в зависимости от условий влажности, температуры, доступа воздуха и реакции почвенного раствора. Увеличение притока воздуха увеличивает энергию разложения, недостаток влаги задерживает или даже совсем прекращает; точно так же за-

держивающим образом влияет и избыток влажности, затрудняющий доступ воздуха. Повышение температуры до известных пределов (30—35°) повышает энергию разложения. Большое влияние оказывает на ход разложения реакция среды: при кислой реакции разложение задерживается, нейтральная же или слабо-щелочная (до $pH = 8,0$) благоприятствует ему; поэтому на ненасыщенных почвах внесение $CaCO_3$ значительно повышает энергию разложения органических веществ. Различные микроорганизмы неодинаково относятся к изменению условий: так, напр., грибы легче переносят кислую реакцию раствора, нежели бактерии. Продукты разложения при различных условиях также получаются неодинаковыми, что зависит от деятельности различных групп микроорганизмов, а также от природы исходных материалов.

При разложении органические вещества значительно теряют в весе; эта убыль веса идет преимущественно за счет кислорода и водорода, выделяющихся в виде CO_2 и H_2O . Углерода теряется в процентном отношении значительно меньше, азот почти совсем не теряется. В конечном итоге получается перегной (гумус), заметно обогащенный углеродом и азотом по сравнению с исходными материалами. Так, обычно растительные остатки и навоз содержат 1,5—2,0% азота и около 50% углерода (считая на сухое вещество). Перегной же содержит около 58% углерода и обычно от 3,5 до 5% азота. С химической стороны природа перегнойных веществ очень мало изучена. Одно время считали, что большая часть почвенного гумуса относится на счет перегнойных кислот — гуминовой, креновой и др. Но работы более позднего времени показали, что то, что ранее считали за перегнойные кислоты, является очень сложной смесью разнообразных органических веществ, частью близких к обычно находящимся в теле растений белковым веществам.

Гумус значительно более стоек по отношению к действию бактерий, чем свежие растительные остатки, но все же и он постепенно разлагается дальше. При этом происходит уже полное разрушение органического вещества: углерод и водород дают угольную кислоту и воду, а азот выделяется в форме аммиака — NH_3 . Но в условиях доступа воздуха аммиак в почве оказывается весьма недолговечным — он быстро окисляется бактериями в азотную кислоту. Процесс

Мощность гумусового горизонта, содержание гумуса и азота в различных почвах.

П о ч в ы	Мощность гумусового горизонта в сантиметрах	Процент гумуса в почве	Процент азота в почве	Процент азота в гумусе
Подзолистые	2—20, обычно 5—10	1—5, обычно 2—3	0,08—0,2	4—6
Серые лесные земли	20—50	3—5	0,15—0,25	—
Черноземные	50—150, обычно 75—100	5—15	0,25—0,8	3—8

Окисления азота аммиака в азотную кислоту носит название *нитрификации*; в этом процессе принимают участие два рода бактерий — одни окисляют аммиак до азотистой кислоты, а другие продолжают это окисление, переводя азотистую кислоту в азотную. Так как в природных условиях оба рода бактерий встречаются совместно, то аммиак и азотистая кислота не накапливаются в почвах, но быстро превращаются в азотную ¹⁾. Эти микроорганизмы очень чувствительны к реакции среды и уже при слабо-кислой реакции ($pH = 5,0$) почвенного раствора их деятельность подавляется. Поэтому образование азотной кислоты в больших количествах идет лишь тогда, когда в почве имеется достаточный запас оснований для ее нейтрализации, напр. на черноземах. Производимое накапливающейся в результате деятельности бактерий азотной

¹⁾ Схема процесса нитрификации по Омелянскому.

Виды бактерий	Органич. азот	NH_3	HNO_2	HNO_3	
$a + b + c$					$a = Bac. ramósus$
$a + b$					$b = Nitrosomonas$
$a + c$					$c = Nitrobacter$
$b + c$		Никакого действия.			

кислотой слабое подкисление почвенного раствора в некоторых случаях может способствовать улучшению фосфорнокислого питания растений, увеличивая доступность труднорастворимых фосфатов.

Нитрифицирующие бактерии чувствительны также к избыточно-щелочной реакции, задерживающей их деятельность, при чем более чувствительными оказываются бактерии, превращающие азотистую кислоту в азотную, а не бактерии, окисляющие аммиак в азотистую кислоту или образующие аммиак. Вследствие этого при щелочной реакции, получающейся, напр., при избыточном известковании почвы, возможно накопление относительно больших количеств аммиака и нитритов, хуже переносимых растением в высоких концентрациях, чем соли азотной кислоты (нитраты).

Избыток неразложившихся органических веществ вредит процессу нитрификации, но присутствие перегнойных веществ не мешает; поэтому при правильной обработке на паровых полях в почве может накапливаться за счет азота гумуса большое количество нитратов — в благоприятных условиях до 1500 кг на гектар (сравни данные на стр. 31).

Количества нитратов, накапливаемые на различных парах, по данным 20 опытных учреждений в среднем (в килограммах азота на гектар).

Виды пара	1 мая	1 июня	1 июля	1 августа	1 сентября	1 октября
Черный . . .	14,0	13,1	46,0	58,2	71,2	37,8
Ранний . . .	13,2	22,8	40,5	58,8	73,7	66,5
Поздний . . .	7,8	5,6	8,3	24,4	24,4	22,5

(См. А. Г. Дояренко. Вестник С. Х., № 7, 1926.)

Способность накапливать значительные количества нитратов является показателем хорошего состояния и правильной обработки почвы. Как уже указывалось, на легких почвах во влажном климате накопление больших количеств нитратов связано с возможностью потерь через вымывание. Другим источником потерь азота, связанным с накоплением ни-

тратов в почве, является процесс *денитрификации*. Процесс этот является также результатом деятельности особого рода бактерий и заключается в следующем. В случае одновременного присутствия в почве нитратов и неразложившегося органического вещества, напр. соломы, при ограниченном доступе воздуха денитрифицирующие бактерии начинают окислять органические вещества, отнимая кислород от нитратов, азот же нитратов при этом безвозвратно теряется, выделяясь в форме свободного, газообразного азота¹⁾. Обстоятельство это имеет значение при удобрении недостаточно перепревшим навозом, содержащим неразложившуюся солому. Точно так же при обработке жнивья нужно стараться, чтобы разложение солоmistых пожнивных остатков происходило при хорошо обеспеченном доступе воздуха, во избежание денитрификации. Более уместной поэтому является неглубокая заделка жнивья (лушение), а не запашка на полную глубину.

Познакомившись в общих чертах с требованиями растений, а также с важными для нас свойствами почв и текущими в них процессами, мы можем перейти к рассмотрению отдельных удобрений. Под удобрениями мы будем разумеать все вещества, вносимые в почву с целью повышения урожаев. Повышение урожаев может происходить от непосредственного увеличения содержания в почве какого-либо питательного вещества, — этот случай мы имеем при внесении *прямых удобрений*. Прямые удобрения могут содержать только одно питательное вещество, тогда они называются *односторонними*; или они содержат в разных количествах все питательные вещества и тогда называются *полными удобрениями*.

При внесении другого рода удобрительных веществ мы вызываем в почве реакции, в результате которых освобождается то или другое необходимое для растений питательное вещество, устраняются вредные вещества или наконец улучшаются физические свойства почвы; удобрения, действующие таким образом, называются *косвенными удобрениями*.

¹⁾ По данным Т. М. Захаровой (Труды Научного Ин-та по удобрениям, вып. 15), денитрификация при pH 6,0 идет очень медленно и совершенно прекращается при pH 5,5. Оптимум лежит при pH 7,0—8,2.

Разумеется, и прямые удобрения могут одновременно проявлять и некоторое косвенное действие.

Мы начнем рассмотрение удобрительных материалов с наиболее универсального и распространенного удобрения — навоза, представляющего собой полное удобрение органического происхождения, и затем уже рассмотрим последовательно материалы, дополняющие или заменяющие навоз при его недостатке.

ГЛАВА III.

НАВОЗ.

Навоз образуется извержениями животных и подстилкой, представляющими собой растительные продукты, подвергнувшиеся переработке пищеварительными органами животного или изменившиеся при хранении навоза. Поэтому свежий навоз содержит те же зольные вещества и азот, которые были в корме животных и подстилке, и в тех соотношениях, в которых эти вещества вообще встречаются в растениях.

Мы рассмотрим последовательно состав свежего навоза, познакомимся с изменениями, происходящими во время хранения, выясним условия рационального хранения и лишь после этого перейдем к вопросам, связанным с применением навоза как удобрения.

СОСТАВ СВЕЖЕГО НАВОЗА.

Получаемая с.-х. животными растительная пища при прохождении через кишечник делится на две части — переваримую и непереваримую. Переваримая часть состоит из крахмала (а также из других углеводов, как сахара, гемицеллюлозы) и ~~большой части белков, а непереваримую часть, выделяемую животными в виде кала, попадает преимущественно клетчатка (а также другие, близкие к ней вещества — пентозаны, лигнин и пр.).~~

Некоторые белковые вещества, отличающиеся трудной переваримостью, как, например, белки, богатые фосфором (так называемые нуклеопротеиды, слагающие ядерное вещество клеток), также выделяются вместе с калом.

В переваримой части крахмал и другие углеводы после ряда превращений попадают в кровь животного, где окисляются нацело до угольной кислоты и воды. Выделяющаяся при окислении энергия расходуется животными на работу

и для поддержания температуры тела. Белковые вещества также подвергаются сложным превращениям, но не сжигаются до конца: продукты их превращений — *мочевина* и др., содержащие весь бывший в белках азот, выделяются через почки в виде мочи.

Если не принимать во внимание происходящий у животного прирост мяса или отделение молока и шерсти, то можно считать, что в сумме азот твердых и жидких выделений вполне отвечает азоту пищи. То же относится и к зольным веществам. Так как значительная доля — примерно около половины — потребленной животными пищи переваривается и окисляется, то оказывается, что экскременты, заключая то же количество азота и зольных веществ, какое было в пище, процентно оказываются более богатыми ими. Как типичный пример, можно привести следующие данные, полученные при опыте с рогатым скотом:

	Сырые	Сухие	В них, считая на сухое вещество	
			Азота	Золы
Корм.....	98,0 <i>K</i>	21,0 <i>K</i>	1,46%	6,95%
Извержения	81,8 „	10,5 „	2,90..	14,0 „

1

Состав жидких и твердых извержений резко различен; жидкие извержения содержат в среднем 8—9% сухих веществ, из них 1% приходится на азот и 3% на зольные вещества. Если перевести на сухое вещество, то на азот придется 10—12%, на зольные вещества—30—40%• Для зольной части мочи травоядных животных характерным является малое содержание фосфорной кислоты и богатство калием, что можно видеть из следующих цифр:

	1		
	Азот N %	Фосфорной к-ты P2O- %	Калия K2O %
Кал.....	0,4—0,6	0,1 -0,3	0,1—0,4
М о ч а.....	0,8—1,2	0,05-0,15	1,2—1,8

чисто-механической роли, подстилка принимает участие в создании удобрительных свойств навоза и содержащимися в ней элементами питания растений. Поэтому при выборе подстилочных материалов следует принимать во внимание не только их способность задерживать влагу, но и их состав. Наиболее обычной подстилкой является солома озимых хлебов; кроме того, употребляются: солома других растений, мох, древесная листва, торф и пр.

Влагоемкость и состав некоторых подстилочных материалов.

	Влаго- емкость %	Азота %	P ₂ O ₅ %	Калия %	Кальция %
Солома озимая . . .	170	0,4	0,25	0,8	0,3
„ „ резаная . . .	260	—	—	—	—
„ яровая . . .	200	0,6	0,28	1,6	0,4
„ гороха . . .	280	1,2—2,0	0,3—0,4	0,6—1,8	1,6
Листья древесн. . .	200—300	1,0	0,25	0,25	1,8
Хвоя	150—250	0,8	0,2	0,13	1,6
Еловая лапка . . .	70	—	—	—	—
Опилки	420	0,2	—	—	—
Стружки	300	0,2	—	—	—
Торф	500—1 000	1—2	0,05—0,2	0,03—0,1	0,2—1,0
Мох	300—400	1,0	0,16	0,3	0,3

Конечно, на возможность применения тех или иных подстилочных материалов, помимо их технических качеств, влияет их доступность для хозяйства. Поэтому применение в подстилку соломы бобовых, несмотря на ее хорошую влагоемкость и богатство азотом, мало вероятно: ее выгоднее использовать в качестве корма, а в подстилку она может пойти только в случае излишней грубости (например, солома бобов).

Количество подстилки зависит от ряда условий — состава корма, времени года и рода животных. Естественно, при во-

дьянистых кормах, вызывающих усиленное отделение мочи, идет больше подстилки; влияет также температура воздуха, определяющая ход испарения. В среднем считают, что для лошади необходимо около 2—4 кг подстилки в сутки, для рогатого скота—3—5 кг, для свиньи—2—4 кг и для овцы—около 1/2 кг. При стойловом содержании скота, когда моча отводится из стойл по желобам, требуется значительно меньше подстилки, чем при содержании скота в хлевах, на навозе; в первом случае подстилка составляет около 0,3 веса сухого вещества корма, во втором—0,5—0,6, а иногда и больше.

Подводя итог вышесказанному, можно будет принять, что одна голова крупного скота дает в год в среднем следующие количества свежего навоза (и элементов питания в нем):

	Количество навоза	Элементы питания		
		Азот	Фосфорная кислота	Калий
Кал	6 000 кг	38,0 кг	19,0 кг	29,0 кг
Моча	1 200 „			
Подстилка	1 000 „			
Всего	8 200 кг или 500 п.	43 кг (0,52%)	21,0 кг (0,26%)	37,0 кг (0,45%)

Сколь значительны могут быть колебания в составе отдельных образцов свежего навоза, можно судить по данным анализов М. А. Егорова, А. Н. Острякова, А. А. Помасского и др., обнаруживающим различия в содержании азота от 0,3% до 2,6% и фосфорной кислоты от 0,6% до 2,3%, считая на сухое вещество.

По Шнейдевинду, содержание азота в навозе различных животных колеблется в следующих пределах:

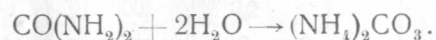
	Азота %			Азота %	
Овечий навоз	в среднем	0,899	Навоз крупного рогат. скота	в среднем	0,487
	максимум	1,530		максимум	0,758
	минимум	0,546		минимум	0,366
Конский навоз	в среднем	0,586	Смешан. навоз	в среднем	0,505
	максимум	0,796		максимум	0,972
	минимум	0,386		минимум	0,308

ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ХРАНЕНИИ НАВОЗА.

Накопление навоза в хозяйстве идет постепенно, а вывозка его на поле обычно производится одновременно, крупными порциями; поэтому он должен так или иначе сохраняться до времени вывозки. Кроме того, свежий навоз не считается достаточно хорошим удобрением, и хранение имеет целью повысить его удобрительное действие.

Навоз является полным удобрением, но в зависимости от свойств почвы он может действовать односторонне, не всеми, а лишь частью или даже одним из содержащихся в нем питательных элементов. Так, на некоторых черноземных почвах, достаточно богатых гумусом и азотом, навоз действует преимущественно как фосфорнокислое удобрение, азот же навоза в этом случае не имеет большой цены для хозяина. Напротив, на бедных подзолистых почвах нужны все составные части навоза и азот в первую очередь. Таким образом приемы хранения навоза могут меняться в связи с потребностями почвы. Независимо от способа хранения, в хранящемся навозе можно различить несколько текущих последовательно процессов, существенно изменяющих его свойства.

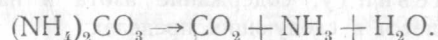
Первым процессом, который наблюдается в свежем навозе, будет превращение мочевины под влиянием бактерий в углекислый аммоний — так называемое аммиачное брожение мочевины:



мочевина

углекислый аммоний

Углекислый аммоний представляет собой очень непрочное соединение и легко, особенно в теплую погоду, распадается на углекислый газ, аммиак и воду:



Улетучивание образовавшегося из мочевины аммиака вызывает характерный резкий запах (нашатырного спирта) в стойлах и является причиной крупных потерь азота. Аммиачное брожение мочевины начинается очень быстро; так, если моча отводится из стойл в навозохранилище сточной канавкой или жолобом, то уже во время стекания часть мочевины успе-

влет превратиться в аммиак. В этой стадии разложения навоза потери азота, происходящие вследствие улетучивания аммиака, бывают значительны и обычно составляют около 20—30% от всего количества бывшего в навозе азота. Борьба с этими потерями должна сводиться или к возможно быстрому удалению мочи из стойл или к введению в подстилку веществ, способных удерживать, связывать аммиак. Одним из таких веществ является торф. Вследствие содержания большого количества перегнойных веществ кислого характера, торф поглощает аммиак и предохраняет его от потерь. Ниже (стр. 91) мы будем иметь случай подробнее остановиться на этих свойствах торфа¹⁾.

Следующая стадия разложения навоза характеризуется более глубокими изменениями, в которых принимают участие и белковые вещества и углеводы (клетчатка и пр.) навоза.

Изменения эти совершаются под влиянием разнообразных бактерий и грибов и в случае обильного доступа воздуха сопровождаются значительным повышением температуры — навоз „горит“. Подъем температуры стоит в связи с богатством навоза азотистыми веществами — конский и овечий навоз, как более богатые азотом, сильнее и быстрее разогреваются. Наиболее сильное разогревание для конского навоза (до 70°) наблюдается уже в конце первой недели хранения, после чего температура постепенно падает. Навоз рогатого скота, более водянистый, разогревается значительно медленнее — максимум достигается после 2—3 недель хранения (40—50°). Ход разложения навоза сильно зависит, кроме того, от температуры воздуха, влажности навоза и большего или меньшего доступа воздуха внутрь навозной кучи: приток воздуха сильно повышает энергию разложения. Но

¹⁾ В западно-европейских странах, где с большой тщательностью относятся к хранению навоза и навозной жижи, часто применяют в качестве связывающего аммиак вещества гипс. Гипс в водном растворе вступает в обменное разложение с углекислым аммиаком, образуя нелетучую серно-аммиачную соль и углекислый кальций:



Количество гипса высчитывается на основании количеств подлежащего связыванию аммиака; как наименьшее количество, можно указать 0,5 кг на 1 голову рогатого скота в день; в Германии иногда считают возможным применять до 2 кг в день.

обычно разложение навоза протекает преимущественно в отсутствии воздуха — в анаэробных условиях, — так как кислород воздуха быстро поглощается бактериями, населяющими поверхностные слои навозной кучи, и не может проникнуть глубоко внутрь.

Таким образом аэробное разложение навоза имеет место только в поверхностных слоях кучи; при сухой погоде, в рыхло сложенном навозе аэробное разложение заходит далее в глубь кучи, а при обильном увлажнении и уплотнении приближается к поверхности. В глубоких слоях кучи течет анаэробное разложение, связанное с образованием метана. По Дегерену, газы в различных частях навозной кучи имеют следующий состав:

	CO ₂ %	O ₂ %	N ₂ %	Метан CH ₄ %
На поверхности кучи	21,6	0,0	78,4	0,0
В середине кучи	31,0	0,0	35,5	33,3
В глубоких слоях	22,7	0,0	0,0	77,3

✓ Аэробное разложение, как приводящее к потерям азота, при хранении навоза является нежелательным.

✓ По мере разложения меняется внешний вид навоза: он приобретает более темную, бурую окраску; солоmistые части также темнеют и утрачивают прочность. Водная вытяжка из навоза, имевшая желтую или зеленоватую окраску, становится темнокоричневой. Считается, что именно в этой стадии разложения навоз обладает наибольшим удобрительным действием. Солоmistые части такого навоза уже утрачивают способность вызывать денитрификацию.

При более длительном хранении — в течение многих месяцев — навоз приобретает еще более темную окраску, землистый вид, солоmistые части становятся неразличимыми, незаметными — все превращается в перегнойные вещества, трудно поддающиеся дальнейшему разложению. Водная вытяжка из такого навоза бесцветна, его удобрительное действие понижено.

Параллельно с изменением внешнего вида в навозе текут химические процессы, еще сравнительно мало изученные, но связанные с значительной убылью сухого вещества навоза и уменьшением количества аммиака, который при образовании перегнойных веществ прочно связывается в форме органических соединений; точно так же убывает и общее количество растворимых азотистых веществ.

Хранение навоза связано с возможностью значительных потерь питательных веществ. Так, при обильном доступе воздуха в поверхностных частях навозной кучи может происходить глубокое разложение органических веществ навоза, приводящее к отщеплению азота в виде аммиака, легко улетучивающегося. Кроме того, образовавшийся аммиак может подвергаться при хорошем доступе воздуха нитрификации, а накопление нитратов в данном случае представляет собой крайне нежелательное явление, так как при изменении условий или просачивании нитратов в глубь кучи легко может пойти процесс денитрификации, приводящий к потерям азота. Энергичный ход денитрификации в навозных кучах доказан опытным путем, при искусственном прибавлении селитры к навозу. Затем потери как азота, так и других питательных веществ могут происходить при просачивании навозной жижи в землю. Применение цементных навозохранилищ исключает эти потери. Размеры потерь, вообще говоря, бывают очень значительны, но сильно меняются в зависимости от способа и длительности хранения, а также от времени года. В жаркое время потери всегда больше.

✓ Хранение навоза производится или в стойлах, под ногами животных, или в особых навозохранилищах, гноищах. ✓ Хранение под ногами животных очень распространено в крестьянском хозяйстве — оно упрощает до минимума уход за навозом, кроме того, выделяющаяся при разложении навоза теплота используется для обогрева хлева в зимнее время. Навоз утаптывается животными и постоянно смачивается мочей; доступ воздуха в толщу навоза затруднен, и разложение происходит в анаэробных условиях — оно течет медленно, без большого разогревания и потерь сухого вещества, составляющих всего 10—15%. Потери азота также бывают невелики. Вообще, с точки зрения сохранения питательных веществ навоза, этот способ является довольно совершенным. Удобрительное действие такого навоза также вполне удовлетворительно. Зато хранение навоза под скотом встречает решительные возражения со стороны зоотехников: правильный уход за скотом связан с утеплением хлевов и хранением навоза в особых навозохранилищах.

Считается, что при хранении навоза в навозохранилищах для достижения наилучших условий разложения навозная

жижа должна свободно, не застаиваясь, стекать с навоза и собираться отдельно; во избежание пересыхания навоза, которое всегда ведет к крупным потерям азота, производят периодическую поливку навоза жижой. Указанием на недостаточную влажность и избыточный доступ воздуха служит обильное развитие плесеней. Нити (гифы) плесневых грибов при этом так плотно переплетают комки навоза, что впоследствии затрудняют равномерное распределение по полю.

Устройство навозохранилищ может быть весьма разнообразно. Навозохранилище должно быть расположено недалеко от стойл животных, и устройство его не должно затруднять наполнение и выгрузку навоза.

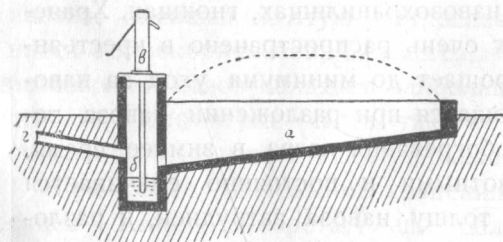
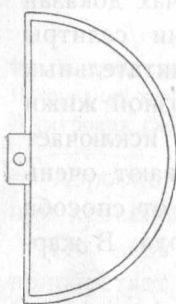


Рис. 8. Навозохранилище.
а — платформа навозохранилища; б — колодец для жижи; в — насос для поливки; г — труба, отводящая в колодец мочу из стойл.
Вверху — уменьшенный вид изображен. план навозохранилища.

рисунка (рис. 8).

Поливка навоза жижой производится насосом того или иного простого устройства или черпаком на длинной ручке; во всяком случае должно достигаться равномерное увлажнение всей кучи.

Разумеется, цементные навозохранилища осуществимы

лучше всего из цемента (бетона) или кирпича на цементной кладке или, по крайней мере, из плотно убитой глины. Особенно следует обращать внимание на непроницаемость колодца, в котором собирается жижа. Примерное устройство навозохранилища можно видеть из прилагаемого

только в крупных культурных хозяйствах, но и в мелком крестьянском хозяйстве возможно устройство простых навозохранилищ, допускающих надлежащий уход за навозом. Проф. А. Г. Дояренко¹⁾ описывает такое навозохранилище, устроенное по образцу хранилища опытного поля Тимирязевской с.-х. академии крестьянином В. Н. Бушовым.

„У стены скотного сарая, отступя от нее на один аршин, выкопана в земле яма в форме ложки, с одной отвесной стенкой и полусферической остальной поверхностью, несколько вытянутой в овал, сводящийся постепенно к поверхности (см. рис. 9).

Глубина ямы в центре, близ вертикальной стенки, около 1 сажени, откуда дно ямы постепенно подымается к поверхности во все стороны. Вертикальная стенка и дно ямы утрамбовываются глиной, чем достигается непроницаемость для жижи. Жижа по наклонному дну стекает к самому глубокому месту в середине вертикальной стенки, где устроено подобие колодца из двух

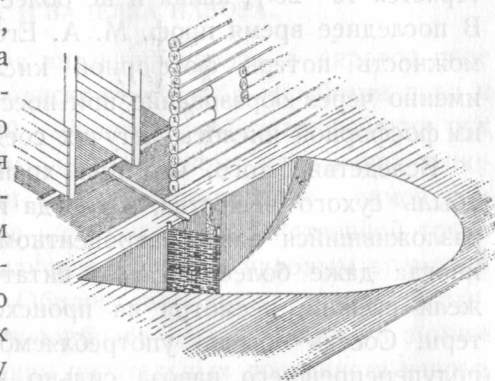


Рис. 9. Крестьянское навозохранилище.

поставленных под углом щитков, которые со стенкой образуют треугольный колодец, на дне которого скопляется жижа, которую достают черпаками и поливают ею навоз, выбрасываемый ежедневно из сарая в это навозохранилище“.

Убыль сухого вещества при хранении в гноище вследствие большого доступа воздуха бывает значительнее, чем при хранении под скотом, — около 30—40%, вместо 10—15%. Потери азота также обычно велики, размер их зависит от тщательности ухода, сводящегося к выравниванию поверхности кучи и уплотнению навоза, достигаемому несильным трамбованием или утаптыванием, и к периодической поливке жижой; летом поливку производят, в зависимости от погоды,

¹⁾ А. Г. Дояренко. О возможности рационального хранения навоза в крестьянском хозяйстве. Вестник Сельского Хозяйства, № 6, 1924 г.

⁵ Краткое руководство по удобрению

2—4 раза в месяц, зимой — 1 раз в месяц. При длительном хранении навоза бывает полезно, во избежание улетучивания аммиака, накрывать кучу слоем земли или торфа. При отсутствии ухода убыль азота может достигать 60% от количества, бывшего в свежем навозе; при тщательном же уходе потери составляют всего 20—30%, главным образом за счет улетучивания аммиака при аммиачном брожении мочевины. Потери калия и фосфорной кислоты происходят при просачивании навозной жижи в почву, и при бетонных навозохранилищах эти потери могут быть сведены к нулю; в обычных условиях теряется 10—20% калия и не более 10% фосфорной кислоты. В последнее время проф. М. А. Егоровым была указана возможность потерь фосфорной кислоты и другим путем — именно через образование при восстановительных процессах из фосфорной кислоты летучих соединений фосфора.

Вследствие того, что при хранении навоза происходит убыль сухого вещества, а иногда и уменьшение влажности, разложившийся навоз в процентном отношении оказывается иногда даже более богатым питательными веществами, нежели свежий, несмотря на происходящие при хранении потери. Состав обычно употребляемого в качестве удобрения полуперепревшего навоза сильно колеблется в зависимости от происхождения и условий хранения, так что привести какие-нибудь средние данные затруднительно. Но для приблизительных расчетов, для смешанного навоза можно принять такие цифры: воды — 75%, азота — 0,5%, фосфорной кислоты — 0,2%, калия — 0,5% и кальция — 0,8%.

Что касается количества получающегося в хозяйстве навоза, то можно считать, что одна голова крупного скота в среднем дает в год около 6 200 кг навоза в полуперепревшем состоянии (лошадь несколько меньше, корова — больше). По Вольфу, количество свежего навоза вычисляется по количеству корма, — исходя из предположения, что половина сухого вещества корма попадает в навоз и что навоз содержит 75% воды, — при помощи формулы

$$N = \left(\frac{K_{\text{сух}}}{2} + П \right) \times 4,$$

где N — количество навоза, $K_{\text{сух}}$ — количество сухого вещества в корме и $П$ — количество подстилки.

Для расчета объема навозохранилищ полезно знать соотношение между весом и объемом навоза. Принимают, что

1 куб. метр свежего навоза весит . . .	300—400 кг
„ „ уплотненного . . .	700
„ „ полуразложившегося . . .	800
„ „ влажного, разложившегося . . .	900

На 1 голову скота должно приходиться около 4 кв. м площади навозохранилища и около 0,5 куб. м объема колодца для собирания жижи.

ВЫВОЗКА И ЗАДЕЛКА НАВОЗА.

При обычно принятом внесении навоза в паровое поле время вывозки навоза зависит от способа обработки пара и от хозяйственных условий — наличия свободных рабочих рук и лошадей. При позднем „крестьянском“ паре навоз вывозится обычно летом, при раннем чистом паре — зимой или весной и при черном паре — с осени. С хозяйственной точки зрения в большинстве случаев наиболее удобным временем вывозки является зима. Обилие свободного времени и санный путь делают вывозку наиболее легкой именно в зимнее время. В смысле сохранения питательных достоинств навоза, в особенности по отношению к азоту, время вывозки не является безразличным, — наименьшие потери азота будут при вывозке в зимнее время. Теплая погода благоприятствует потерям азота.

В задачу этой книжки не входит сравнение достоинств различных способов обработки пара; отметим лишь, что поздний пар, помимо того, что способствует размножению сорняков, иссушению почвы и создает неблагоприятные условия для накопления растворимых питательных веществ, сопряжен, кроме того, с летней вывозкой навоза, связанной с неизбежными потерями азота. По поводу черного пара заметим, что хранение всего запаса навоза в течение всего лета нецелесообразно — навоз „горит“, так как разложение в жаркое время года заходит дальше, чем нужно, и что осенняя вывозка связана часто с хозяйственной неуправкой. Поэтому во многих отношениях более целесообразной следует считать зимнюю или раннюю весеннюю вывозку навоза с запашкой ранней весной, тем более, что, по данным рус-

ских опытных учреждений, ранний пар не уступает черному, а иногда и превосходит его по урожаям.

При вывозке в теплое время года не следует оставлять навоз незапаханным, в обычных небольших кучах, распределяемых по полю при сбрасывании с возов, с последующим ручным разбрасыванием перед запашкой. В дождливую погоду такие кучи промачиваются дождем, растворимые питательные вещества проникают вместе с дождевой водой в почву, и место под кучей окажется переудобренным. При разбрасывании остальные части поля получают главным образом солому, которая не окажет положительного или даже проявит отрицательное действие. Следствием является типичная картина пестрого поля, на котором темной зеленью и пышным развитием выделяются места бывших куч, в то время как остальная часть поля покрыта плохо развитыми растениями с бледной окраской.

Такое пестрополье всегда связано с неравномерностью созревания, — пышно развитые растения с переудобренных мест всегда созревают позднее. В сухую погоду мелкие кучи легко просыхают и теряют при этом много азотистых составных частей, уносимых в виде аммиака пронизывающим кучу воздухом.

Точно так же для более равномерного по качеству распределения навоза рекомендуется при нагрузке навоза брать его из гноища во всю высоту кучи, а не снимать слоями, так как верхние слои, позднее поступившие в навозохранилище, будут менее разложившимися.

Если вывозка навоза производится тогда, когда его нельзя запахать, то рекомендуется складывать навоз на краю поля в большие кучи, которые подстилаются и прикрываются землей во избежание потерь жижи и аммиака; земля эта впоследствии разбрасывается по полю вместе с навозом. В таких кучах навоз продолжает разлагаться так же, как в гноище, до тех пор, пока будет возможно распределить его по полю и запахать. Неудобство больших куч заключается в необходимости вторичной нагрузки и возки навоза при распределении.

Сказанное выше о недостатках мелких куч не относится к зимней вывозке навоза, — малые кучи легко промерзают и сохраняются без изменения до весны, так что потерь не

происходит. Так как под кучей снег тает медленнее, то при таянии снега кучи остаются лежать как бы на ледяных подставках; оттаивание почвы под кучей также замедляется. Чтобы избежать неравномерности оттаивания, а также выщелачивания питательных веществ из кучи тающим снегом или потерь азота при высыхании, нужно весной не запаздывать с разбрасыванием навоза. Часто разбрасывание приходится производить в два приема, по мере оттаивания навоза, сначала разбрасывая верхушку кучи, а потом уже остальную часть, когда она окончательно оттаяет. Разбросанный навоз, лежа на холодной и влажной почве, теряет мало азота, и растворимые питательные вещества, вымываемые весенними дождями, равномерно впитываются почвой, почему зимняя вывозка навоза может не уступать весенней вывозке, если только не запоздать с запахиванием. В виде примера приведем данные Уральской областной с.-х. опытной станции:

1. Чердынское опытное поле (среднее за 7 лет).

	1. Рожь.	2. Овес.	Всего.
Летняя вывозка под 2-ю вспашку пара . . .	19,7	22,1	41,8 ц
Зимняя вывозка под 1-ю вспашку пара . . .	21,6	19,4	41,0 „

2. Менделеевское опытное поле (1925 г.).

	Урожай ржи.	Прибавка от удобрения.
1) Без удобрения	10,8	—
2) Зимняя вывозка 360 ц в малые кучи, разброска по сходе снега и запашка под 1-ю вспашку	17,8	+ 7,05 ц
3) Вывозка 360 ц тотчас после сева яровых и немедленная запашка под 1-ю вспашку	20,8	+ 10,05 „

С другой стороны, на Полтавском опытном поле не наблюдалось заметных различий между зимней и ранней весенней вывозкой навоза.

Совершенно недопустимым является оставление навоза на поле в мелких кучах в летнее время, что можно видеть из следующих данных, полученных на черноземе при опыте с озимыми:

	Урожай озим.
Навоз лежал в кучах в течение месяца	18,0 ц
„ тотчас разбросан и запахан	27,4 „

На подзолистых почвах, более нуждающихся в азотном удобрении, отрицательные стороны хранения навоза в мелких кучах должны сказываться еще резче.

Что же касается запашки навоза, то следует иметь в виду, что глубина заделки может оказывать влияние на разложение навоза в почве; на связных почвах при глубокой заделке разложение навоза замедляется, и увеличивается возможность денитрификации. Как правило, рекомендуется при заделке запахивать навоз на половину от полной глубины вспашки, так как, если его запахать на полную глубину, то при следующей перепашке поля — „двойке“ — он будет вывернут на поверхность. Если же заделка была произведена на полглубины, то двойкой достигается хорошее перемешивание навоза с почвой, без выворачивания его на поверхность. При мелкой вспашке (11—13 см) приходится, конечно, сразу заделывать на полную глубину.

Скопляющаяся в колодце навозохранилища навозная жижа, в состав которой входят жидкие извержения животных, а также перешедшие в раствор вещества из твердых извержений, является преимущественно азотисто-калийным удобрением. Состав и количество навозной жижи сильно меняются в связи с условиями хранения навоза и количеством попадающей в навозохранилище дождевой и снеговой воды. В среднем считают, что 1 литр жижи содержит 2,3 г азота и 4,6 г калия. Питательные вещества в жиже находятся в хорошо доступной для растений форме, почему жижа действует быстро, но кратковременно. Жижу употребляют для поверхностного удобрения лугов и для удобрения полей, напр. под корнеплоды, при чем считают, что 100 бочек жижи соответствуют 140—160 центнерам навоза. С добавкой фосфорнокислых удобрений жижа приобретает значение полного удобрения.

УДОБРИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ НАВОЗА.

Удобрительное действие навоза может быть очень различно в зависимости от свойств и количеств внесенного навоза, а также от почвенных условий. Понятно, что бедные почвы должны быть отзывчивее на удобрение, чем почвы более плодородные, и давать на каждую единицу веса навоза больший прирост зерна. На почвах, обеспеченных всеми питательными веществами, навоз совсем не действует или оказывает даже некоторое отрицательное действие — таковы, например, черноземные почвы юго-востока. Находящиеся дав-

но в культуре черноземные почвы, еще достаточно богатые азотом и калием, начинают уже чувствовать нужду в фосфоре и потому реагируют на навозное удобрение.

В связи с потребностями почвы меняются также требования, предъявляемые к хранению и вывозке навоза. На почвах, имеющих в минимуме лишь фосфорную кислоту, можно не дорожить азотом и калием навоза и не бояться потерь навозной жижи и улетучивания аммиака. В местностях с недостатком влаги иногда вывезенный в поле навоз разбрасывают тонким слоем и оставляют лежать так некоторое время до заделки. Лежащий на поверхности почвы навоз затрудняет развитие сорняков и уменьшает испарение воды из почвы, чем и объясняется успех этого приема. Проф. Егоров¹⁾ предлагает даже вывозить на поля предварительно высушенный свежий навоз, так как этим избегаются возможные потери фосфорной кислоты, а опасность денитрификации на почвах, богатых азотом, при заблаговременной заделке навоза вообще невелика.

Почвы нечерноземной полосы нуждаются уже не только в фосфоре, но и в азоте и калии; здесь навоз действует всеми своими питательными веществами, и отсюда вытекает необходимость тщательного хранения навоза. В области оподзоленных почв навоз действует не только как прямое удобрение, снабжающее растения пищей, но и как косвенное удобрение, улучшающее структуру почвы; перегнойные вещества, образующиеся при разложении навоза, увеличивают коллоидальную часть почвы, повышают емкость поглощения и вследствие содержания кальция способствуют склеиванию почвенных частиц в прочные комочки. На бедных подзолистых почвах с высокой ненасыщенностью роли органического вещества и кальция навоза придается меньшее значение, чем прямому удобрительному действию. При значительной ненасыщенности почвы основаниями косвенное действие на почву навоза может оказаться недостаточным для того, чтобы обеспечить нормальное развитие растений и хорошее использование ими питательных веществ навоза. В этих слу-

¹⁾ См. М. А. Егоров. Рационализация применения навоза как удобрения. Харьков, 1926 г.

чаях совместное с навозом внесение извести сильно повышает эффект от навозного удобрения.

Количество вносимого в почву навозного удобрения сильно меняется в зависимости от почвенных условий, севооборота и запасов навоза в хозяйстве. Принято считать нормальным количеством навозного удобрения 360 центнеров¹⁾ на гектар (2 400 п. на десятину); в этом количестве навоза содержится 180 кг азота, 72 кг фосфорной кислоты, 180 кг калия, 9 000 кг органических веществ и 280 кг кальция, то-есть количества питательных веществ, значительно превышающие потребности самого крупного урожая хлебов и достаточные для получения 3—4 хороших урожаев. Причина внесения одновременно таких, казалось бы, избыточных количеств навоза лежит в том, что питательные вещества навоза — азот, фосфорная кислота и, быть может, отчасти калий — находятся в форме недоступных растению органических соединений, сравнительно медленно разлагающихся и лишь постепенно отщепляющих заключенные в них питательные вещества. Поэтому в первый год по внесении навоза растения могут использовать лишь некоторую часть питательных веществ, большую или меньшую в зависимости от состава навоза. В среднем считают, что в первый год растения могут использовать только 25% содержащихся в навозе азота и фосфорной кислоты и до 50% калия; но в отдельных случаях коэффициент использования может быть и больше, даже до 60% для азота и P_2O_5 . Таким образом, внося в паровое поле 36 000 кг навоза, мы фактически даем озимому хлебу только необходимое количество питательных веществ²⁾; вещества, не использованные первым хлебом, постепенно потребляются последующими культурами. Поэтому влияние навозного удобрения не ограничивается первым по внесении годом, а растягивается на большее или меньшее число лет, в зависимости от почвенных условий; наименее длительным действие навоза будет на легких песчаных землях, на которых наблюдается более

1) Метрический центнер (называемый в Германии двойным центнером) равен 100 кг, или 6,1 пуда. Для перевода величин, выраженных в пудах на десятину, в центнеры на гектар следует пользоваться коэффициентом 0,15.

2) См. в главе I, на стр. 13—20 количества питательных веществ, потребляемых урожаем культурных растений.

быстрое разложение навоза и вымывание питательных веществ. Если наблюдать урожаи на смежных делянках, из которых одна получила навоз, другая же не получила, то обычно урожаи удобренной делянки сравниваются с урожаями неудобренной через 4—6 лет. Но если почва в течение длительного срока получала хорошее навозное удобрение, то на связных почвах можно наблюдать действие такой основательной заправки навозом в течение значительно более долгого времени — 20—25 лет, что объясняется накоплением в почве стойких, очень медленно разлагающихся перегнойных соединений, содержащих питательные вещества.

Размеры удобрительного действия навоза понятным образом могут быть очень различны. Кроме состава навоза, на размер действия оказывают влияние и свойства почвы, и метеорологические условия, и приемы обработки. Для примера приводим данные различных опытных учреждений СССР.

1. Харьковская областная с.-х. оп. станция¹⁾.

На суглинистом черноземе навоз дает приросты урожая зерна (средние за 10 лет) в центнерах:

	Озимая рожь по позднему пару	Озимая рожь по раннему пару
Навоз 180 ц	19,8	24,9
Без удобрения	12,0	15,9
Прирост	7,8	9,0

На харьковском черноземе, где навоз действует преимущественно как фосфорнокислое удобрение, уже половинное против нормального удобрения дает больший прирост, чем ранняя вспашка пара.

	Количество навоза					Севооборот
	Без удобрения	90 ц	180 ц	360 ц	540 ц	
Урожай озимой ржи .	15,6	18,6	19,4	21,0	21,1	1. Пар 2. Озимая рожь
Урожай яровой пшеницы и следующего за ней ячменя . . .	16,1	17,6	19,8	23,6	26,1	3. Яровая пшеница 4. Ячмень

1) Б. Н. Рождественский и Э. О. Заславский. Главнейшие выводы полевых опытов 1913—1923 гг. № 20. Харьков, 1924.

Внесение больших количеств навоза мало повышает урожай первого хлеба, но зато благоприятно отзывается на последующих.

2. Плотянская опытная станция (чернозем).

	Озимая пшеница	Кукуруза	Яровая пшеница	Севооборот
По навозу 360 ц . . .	25,3	22,8	14,7	1. Пар.
Без удобрения	20,1	19,5	11,0	2. Озимая пшеница.
				3. Кукуруза.
				4. Яровая пшеница.
Прирост	5,25	3,30	3,75 ц зерна	

3. Уральская центральная опытная с.-х. станция—на бедных супесях Чердынского у. ¹⁾.

УРОЖАЙ ЗЕРНА И СЕНА.

	Навоз 540 ц	Без удобрения	Прирост	Севооборот
1. Озимая рожь	14,6	6,8	7,8	1. Пар.
2. Овес	12,6	7,8	4,8	2. Озимая рожь.
				3. Овес.
3. Клевер с тимopheевкой	21,4	8,1	13,4	4. Клевер.
4. Клевер 2-й г.	15,2	6,8	8,4	5. "
5. Клевер 3-й г.	9,9	5,1	4,8	6. "
6. Овес	14,3	9,0	5,8	7. Овес.

Итого прирост от 540 ц навоза за 6 лет составил 17,9 ц зерна и 17,5 ц сена, кроме того, было получено на 25,4 ц больше соломы.

¹⁾ В. Н. Варгин. Результаты работы опытных полей Уральской области. Свердловск, 1924.

Эффект от навоза по 49 опытным учреждениям ¹⁾.

	Число лет опыта	Урожай (в центнерах)		Прибавка в %
		Без навоза	По навозу	
Нечерноземная область				
1. Новозыбковская опытная станция	2	3,2	6,1	93
2. Шуйское опытное поле	7	10,2	18,5	83
3. Московская обл. станция	3	8,8	16,0	81
4. Княжедворская обл. станция	4	7,7	13,6	78
5. Могилевское опытное поле	3	5,5	9,1	70
6. Мишенское " "	11	10,6	18,0	69
7. Тульское " "	7	6,8	11,2	65
8. Энгельгардтовская опытная станция	4	10,9	17,8	61
9. Московское картоф. опытное поле	2	105,0	168,0	59
10. Козьмодемьянское " "	4	14,9	22,8	53
11. Клинское " "	6	16,4	23,9	46
12. Владимирское " "	9	15,3	21,3	39
13. Запольская опытная станция	10	9,0	12,4	37
14. Чарторийская " "	5	16,5	22,3	35
15. Лаишевское опытное поле	3	16,2	21,4	33
16. Радомысльская опытная станция	1	4,2	5,6	32
Среднее по нечернозему по 16 станциям за 81 год	81	—	—	—
Чернозем				
17. Ливенское опытное поле	6	8,0	18,9	139
18. Орловское " "	6	10,0	18,0	81
19. Драбовское " "	1	17,4	30,1	75
20. Прилукское " "	3	11,8	20,1	70
21. Елецкое " "	6	15,2	21,9	46
22. Плотянская опытная станция	8	17,9	25,2	41
23. Красноградское опытное поле	4	13,3	18,5	40
24. Носовская опытная станция	1	13,2	18,3	40
25. Спасская " "	6	13,2	18,2	39

¹⁾ А. Г. Доярченко. Вестник Сельского Хозяйства, № 3, 1926.

	Число лет опыта	Урожай (в центнерах)		Прибавка в %
		Без навоза	По навозу	
26. Золотоношское опытное поле . . .	6	16,2	22,2	37
27. Харьковская областная станция . .	11	15,6	21,0	35
28. Сумская опытная станция	8	20,1	26,8	33
29. Морочанское опытное поле	4	15,0	18,9	26
30. Аджамская опытная станция	5	17,0	21,1	25
31. Воронежская „ „	6	20,1	24,4	22
32. Донское опытное поле	8	17,9	21,7	22
33. Роменское „ „	3	20,7	24,6	19
34. Одесское „ „	12	12,9	15,0	17
35. Шатиловская опытная станция . . .	3	16,5	19,2	16
36. Ивановская „ „	3	21,0	23,7	13
37. Верхнеднепровское опытное поле . .	1	7,5	8,4	12
38. Полтавская опытная станция	16	18,3	20,5	12
39. Сеть сахарных заводчиков	15	21,3	23,7	11
40. Андреевское опытное поле	3	31,6	33,4	6
41. Херсонская опытная станция	16	22,6	20,7	8
Среднее по чернозему: по 25 станциям за 161 г.	161	—	—	30,3
Юго-Восток				
42. Чишминская опытная станция	4	17,4	19,6	13
43. Новоузенское опытное поле	3	19,5	21,9	12
44. Безенчукская опытная станция . .	14	15,6	17,2	11
45. Тамбовская „ „	1	20,1	21,7	8
46. Вольское опытное поле	3	22,2	22,6	2
47. Анненковская опытная станция . . .	5	15,3	15,4	1
48. Сердобское опытное поле	2	27,1	26,9	— 1
49. Саратовская опытная станция	8	16,9	21,1	— 2
Среднее по Юго-Востоку: по 8 станциям за 40 лет	40	—	—	6

В согласии с законом действия факторов роста первые порции вносимого в севооборот навоза оплачиваются лучше последующих; так, в вышеприведенном примере Харьковской станции имеем такие приросты зерна на 100 кг навоза.

Название зерна	Колич. навоза			
	90 ц	180 ц	360 ц	540 ц
Озимая рожь	3,75	2,0	1,5	1,0 кг
Яровая пшеница + ячмень	1,25	2,0	2,0	1,75
Сумма	5,0	4,0	3,5	2,75

На супесях Чердынского уезда Уральской области 540 ц навоза дают прироста озимой ржи 1,45, всего же в севообороте по трем хлебам 3,25 кг на 1 ц навоза. В условиях Северо-Западной области 360 ц навоза дают 1,5—1,9 кг на центнер навоза. Прирост соломы по первому году составляет около 2,5—3,75 кг на 100 кг навоза при нормальном количестве. В среднем можно считать, что один центнер навоза дает прибавку в урожае по первому хлебу в 1,75 кг зерна и 3,5 кг озимой соломы или 2,5 кг яровой соломы, при внесении в количестве 360 ц на гектар.

Вследствие того, что приросты урожая на 1 ц навоза падают при увеличении количеств, вносимых на единицу площади, при недостатке навоза правильнее будет дать навозное удобрение, хотя и не в полном количестве, — например $\frac{1}{2}$ или даже $\frac{1}{3}$ нормального, — но всему паровому клину, чем часть удобрить в полном размере, часть же оставить вовсе неудобренной. Но на очень бедных почвах небольшие дозы навоза могут не оказывать желательного действия, прирост урожая на 1 ц оказывается меньшим, чем это следует по вышеприведенному расчету, и вносить на таких почвах меньше 90—120 ц на гектар бывает уже нецелесообразно.

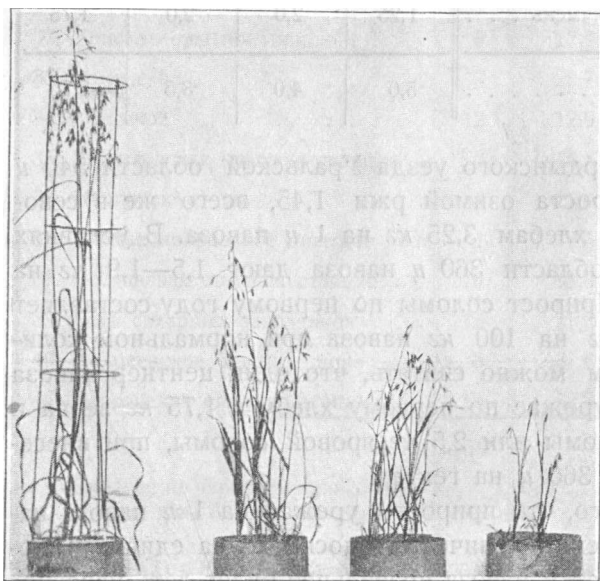
Помимо влияния на величину урожая, удобрение меняет и состав растений, повышая в них содержание азота, фосфорной кислоты и т. д.

Иногда навоз может оказывать и понижающее действие

на урожай, именно в том случае, если он содержит *неперепревшую солому*. Отрицательное действие неперепревшей соломы проявляется двойным образом: с одной стороны, она вызывает денитрификацию, приводящую к безвозвратным потерям азота; с другой стороны, она способствует исчезновению нитратов иным путем, служа пищей для микроорганизмов, поглощающих азот нитратов и переводящих его в белковые вещества своего тела; этот азот не является безвозвратно потерянным, но отмирании бактерий и грибов он

снова может переходить в доступные растениям минеральные формы.

Поэтому, если вносить солоmistый навоз непосредственно перед посевом растений, например весной под яровое, то можно вызвать значительное понижение урожая; такое же понижающее действие оказывает и свежий, неразложившийся кал



Без соломы 1^я 2^я 3^я соломы
Рис. 10. Овес в полевой культуре (опыт Чирикова).

животных, содержащий много солоmistых частей. В особенности резко понижающее действие проявляется на связных почвах, так как денитрификации благоприятствуют плохой доступ воздуха и высокая влажность почвы (см. рис. 10). При обычном же внесении навоза заблаговременно в паровое поле солоmistый навоз может и не вызвать значительного понижения урожая, потому что ко времени посева озимых солоmistые части разложатся, и успеет накопиться достаточное количество нитратов. В некоторых случаях наблю-

дается даже положительное действие соломы. Так, на Менделеевском опытном поле (Уральская область) были получены такие результаты (средние за 4 года):

	1. Рожь.	2. Овес.
Без удобрения	13,7	15,1 ц на г.
При внесении в паровос под 180 цент- неров солоmistой резки	16,5	18,7 ц на г.

Вопрос о том, под какое растение бывает выгоднее вносить навоз, решается различно в зависимости от экономических и климатических условий, и общего ответа на него дать нельзя. Напр. для Архангельской губ. ячмень является более выгодным и надежным растением, чем рожь, подверженная вымочкам и вымерзанию; в средней части СССР озимая рожь пользуется наибольшим вниманием, а в южных губерниях лучшие всего оплачивают удобрение сахарная свекла и озимая пшеница.

Вообще по отзывчивости на навозное удобрение на первом месте следует поставить корнеплоды — сахарную и кормовую свеклу, турнепс и картофель, затем озимые хлеба, пшеницу и рожь; из яровых более отзывчивым является ячмень. Если в севообороте имеется пропашной клин с картофелем, то бывает целесообразно внести под озимь только половину навоза, другую же положить под картофель. Больших количеств под картофель вносить не следует — при этом наблюдается ухудшение вкуса картофеля, понижение крахмалистости и стойкости при хранении.

Значительно сложнее дать экономическую оценку действия навозного удобрения в силу трудности учета стоимости навоза, являющегося рыночным продуктом. В обычных у нас крестьянских хозяйствах с непродуктивным „навозным“ скотоводством, где лошади держатся не столько ради молока, сколько ради навоза, и лошадь работает меньшее число дней, чем это нужно, чтобы окупить свое содержание, — стоимость навоза будет слагаться из стоимости кормов и подстилки, расходов по уходу за скотом и вывозке навоза, за вычетом стоимости получаемых от животных продуктов и работы. Иными словами, при непродуктивном скотоводстве стоимость навоза определяется убыточностью скотоводства плюс расходы по вывозке. При доходном скотоводстве по большей

части навоз рассматривают как побочный продукт, и стоимость навозного удобрения определяют только по расходам на уход за навозом и его вывозку.

Стоимость вывозки навоза при расстоянии полей от усадьбы не более 1 версты составляет около 5 коп. на центнер навоза, при стоимости рабочего дня для 1 взрослого рабочего 75 коп., а лошади — 1 руб.

Однако едва ли будет справедливым оценивать навозное удобрение по расходам на вывозку¹⁾, правильнее раскладывать все расходы по животноводству на все продукты, доставляемые этой отраслью хозяйства; в этом случае стоимость 1 центнера навоза выразится уже 18—20 копеек.

Еще более высокие цифры дает оценка навоза по содержанию в нем питательных веществ, при условии, что стоимость этих веществ приравнивается стоимости их в минеральных удобрениях, могущих заменить навоз. По такому расчету 1 ц навоза будет оцениваться в 70—100 коп.; но в наших условиях, при несоразмерно высоких ценах на минеральные удобрения, в особенности азотистые, такой способ оценки едва ли приемлем. Оценка навозного удобрения по обусловливаемому им приросту урожая отвечает 8 коп. на центнер по эффекту на первой культуре и 18 коп. — по всему севообороту (при стоимости 16 кг озимого хлеба в 95 к., ярового — 60 к., 16 кг озимой соломы — 10 к., яровой — 20 к. и стоимости возки навоза — 3,7 к. с центнера).

Как некоторую среднюю, приближенную цифру, А. В. Чаянов указывает 11 коп. за центнер (6 пудов) навоза²⁾.

Большое содержание воды в навозе (75%) и связанный с этим низкий процент содержания удобрительных веществ в нем делают необходимым внесение больших масс навоза. Стоимость вывозки представляется существенным расходом для хозяйства и делает часто невозможным регулярное применение навозного удобрения на участках, расположенных далеко от усадьбы; поэтому применение минеральных удобрений, связанное с значительно меньшими расходами на возку, особенно большое значение имеет именно для далеких от усадьбы участков.

С повышением качества навоза, с улучшением его удобрительных свойств, расширяется и возможность его применения на отдаленных участках. Для того чтобы нагляднее представить доход от улучшенного ухода за навозом, мы опять-таки воспользуемся примерным расчетом. Пусть имеется хозяйство в 3 гектара с трехпольным севооборотом: пар, озимая рожь, овес, — применяющее ежегодно 180 ц навоза. Без удобрения на данной почве — подзолистом

¹⁾ А. В. Чаянов. Сельскохозяйственная таксация, „Новая Деревня“, 1925; см. стр. 128—145, посвященные критическому обзору различных приемов оценки навоза.

²⁾ Применительно к условиям Волоколамского у. Московской губ.

суглинке — получают урожаи в 7,5 ц ржи. Навозное удобрение дает прирост 6,75 ц зерна и 10,5 ц соломы озимой ржи, 3,0 ц зерна и 4,5 ц соломы овса в год. Если принять в среднем стоимость 1 ц зерна в 4 руб. 50 коп., а 1 ц соломы в 60 коп., то прибыль от навозного удобрения выразится в 52 руб. 75 коп. На оподзоленных почвах нужда в азоте выражена резко; поэтому можно рассчитывать, что сбережение в навозе 30% азота (легко теряются наиболее доступные формы азота) дает прибавку в урожае около 20%, стоимостью в 10 руб. 50 коп. Подобные же соображения позволяют решить вопросы о целесообразности устройства навозохранилищ и пр.

ПРИЧИНЫ НЕДОСТАТКА НАВОЗА И ПУТИ К ПОВЫШЕНИЮ УРОЖАЕВ.

Навоз является наиболее доступным в хозяйстве и надежным по действию из всех удобрительных средств, при правильном применении обеспечивающим высокую урожайность полей. Количество навоза — потребное и получаемое в хозяйстве — находится в зависимости от принятого севооборота, размеров кормовой площади и размеров скотоводства. Господствующие сейчас в крестьянском хозяйстве чисто зерновые севообороты связаны с недостатком кормовых средств, бездоходным скотоводством, с получением недостаточных количеств навоза, к тому же плохого качества, и, что для нас является наиболее существенным, с отчуждением большого количества азота и зольных элементов в продаваемом на сторону зерне и следующим за этим падением плодородия полей. Значительно благоприятнее слагаются обстоятельства при переходе к многопольным севооборотам с посевами кормовых растений при одновременном развитии скотоводства, когда основу бюджета хозяйства составляет уже не зерно, а продукты животноводства. Хотя и эти продукты содержат элементы питания растений, но при более высокой цене мяса, молочных продуктов и пр. уже относительно небольшие их количества способны дать ту же прибыль, что и зерно, при значительно меньших потерях питательных элементов. Так, для получения 100 кг свинины требуется скормить около 500 кг зерна, которое содержит 10 кг азота, в то время как 100 кг свинины заключают только 4 кг; следовательно, большая часть азота, а также зольных веществ попадает в навоз и возвращается на поля, результатом чего является замедление падения урожаев и возможность при небольшом добавле-

нии элементов питания со стороны—вместе с скармливаемым скоту сеном с лугов или в минеральных удобрениях—поддерживать урожаи на достаточно высоком уровне.

Выше мы имели уже случай говорить о балансе питательных веществ в хозяйстве; теперь же, познакомившись с удобрительным действием навоза, мы можем несколько подробнее остановиться на этом вопросе и попытаться выяснить, при каких условиях возможна такая организация хозяйства, при которой потребность полеводства в питательных веществах вполне покрывалась бы получаемым в хозяйстве навозом. Решение этого вопроса всецело зависит, во-первых, от плодородия почвы и, во-вторых, от того, на каком уровне урожаев желательно остановиться.

Сравнительная оценка различных севооборотов в отношении обеспеченности навозом и количества площади лугов, потребной для пополнения недостатка хозяйства в кормах и навозе, для условий Сев.-Зап. области ¹⁾ дала следующие результаты:

Севооборот	Получается навоза	Отношение площади луга к пашне
3-полье — пар, рожь, овес	39,7	1,7:1
4 „ вигов. пар, рожь, картофель, овес . . .	63,0	1,4:1
5 „ (проф. Дояренко) пар, рожь, $\frac{1}{2}$ клеv. + + $\frac{1}{10}$ карт.: $\frac{1}{10}$ клеv. + $\frac{1}{10}$ карт., овес .	65,5	1,1:1

Эти данные получены в предположении, что по навозному удобрению получают урожаи в 22,5—26 центнеров озимой ржи, что возможно на полях, дающих без удобрения около 15 ц и при укосах с гектара луга в 12 ц, т.е. для сравнительно благоприятных для крестьянского хозяйства условий. Для средне-русских условий,—т.е. когда без удобрения урожаи полей не выше 7,5 ц с гектара, укосы сена на суходольных лугах составляют всего 7,5—10,5 ц, а малоземелье не позволяет отводить под кормовые культуры слишком большую площадь,—недостаток навоза в хозяйстве должен быть выражен еще более резко, в особенности если принять во внимание малое количество лугов (по данным Центр. Стат. Комитета, в 1913 г. для Европейской России площадь лугов составляла $\frac{1}{3}$ от площади пашни).

По некоторым подсчетам количество навоза, получаемого в хозяйствах Тульской губ., достаточно для удобрения лишь $\frac{1}{10}$ части площади пашни ¹⁾.

Но если даже в некоторых местностях имеется достаточная площадь лугов для обеспечения полеводства кормами и навозом, то во всяком случае едва ли можно считать правильным постоянное истощение лугов в пользу пашни; низкие урожаи сена, к тому же низкого качества, слишком плохо оплачивают труд по косьбе и уборке, и при рациональной организации хозяйства сейчас же должен возник-

во всяком случае получается достаточно обеспечивающее удобрение полей количество, так как на черноземных почвах пополнение убыли питательных веществ за счет богатства почвы идет в значительных размерах. Но еще является вопросом, сколь долго может одно навозное удобрение поддерживать урожай на одном уровне ¹⁾.

Во всяком случае для всей нечерноземной полосы, и отчасти для чернозема, имеется острый недостаток навоза, зависящий не только от неправильной организации полеводства, но в значительной мере и от истощенности полей и лугов. Часто эта истощенность является препятствием к введению более совершенных хозяйственных форм: посевы клевера и других кормовых растений не удаются на бедных почвах, — недостаток навоза делает невыгодным посев более требовательных, чем рожь и овес, растений. Там, где нет заливных лугов, а суходольные луга и пашни истощены, никакая организация хозяйства и никакая обработка не могут заметным образом увеличить урожай. В этом случае необходимо озаботиться внесением дополнительно к навозу питательных веществ со стороны. Иногда даже *однократное* применение удобрений, улучшающих питание растений или свойства почвы, позволяет перевести хозяйство на более высокий уровень. Сильно развившиеся растения с мощной корневой системой используют питательные вещества более глубоких слоев почвы, бывшие недоступными для растений, не получавших удобрения. Большой урожай кормов обеспечит лучшим снабжением навозом последующие культуры и даст возможность ввести в севооборот более продуктивные растения. Дальнейшее повышение урожая до более высокого уровня становится возможным только при регулярном применении удобрений.

В западно-европейских странах уже давно были приняты меры борьбы с падением урожаев, позволившие не только остановить дальнейшее падение, но и поднять урожай на небывалую дотоле высоту; главнейшей из этих мер было широкое применение минеральных удобрений — селитры,

¹⁾ В виде примера может быть приведен опыт одного хозяйства в Германии, не покупавшего удобрений со стороны, но правильно применявшего навоз и тем не менее наблюдавшего постепенное падение урожаев (за 40 лет урожай упал на 25%).

суперфосфата, калийных солей и пр. Нижеследующая диаграмма (рис. 11) представляет рост урожаев в различных странах с 1885 по 1923 г. Сравнение современного уровня урожаев в отдельных странах с количествами применявшихся в 1913 г. в разных странах минеральных удобрений (в кг на гектар): Голландия 650, Германия 300, Франция 120, Россия 0,45 — не оставляет сомнений во взаимной связи этих двух явлений; но, разумеется, не одни только минеральные удобрения являются причиной столь больших урожаев, какие мы видим в Бельгии или Германии. В Германии считают, что в деле подъема урожая на долю минеральных удобрений следует отнести 50%, на долю успехов селекции, давшей более урожайные сорта, — 25% и 25% за счет улучшенной обработки и пр.

Сколь большим может быть в отдельных случаях количество применяемых удобрений, можно видеть на примере некоторых хозяйств Бельгии,

кладущих под сахарную свеклу кроме 30 000 кг навоза с осени еще 800 кг селитры, 1 000 кг суперфосфата и 400 кг высокопроцентной калийной соли на гектар. Получаемый при таком удобрении урожай сахарной свеклы в 375 центнеров уносит до 210 кг азота.

Разумеется, столь широкое распространение минеральных удобрений, какое мы видим в западных странах, у нас вероятно, и не по недостаточной отзывчивости наших почв,

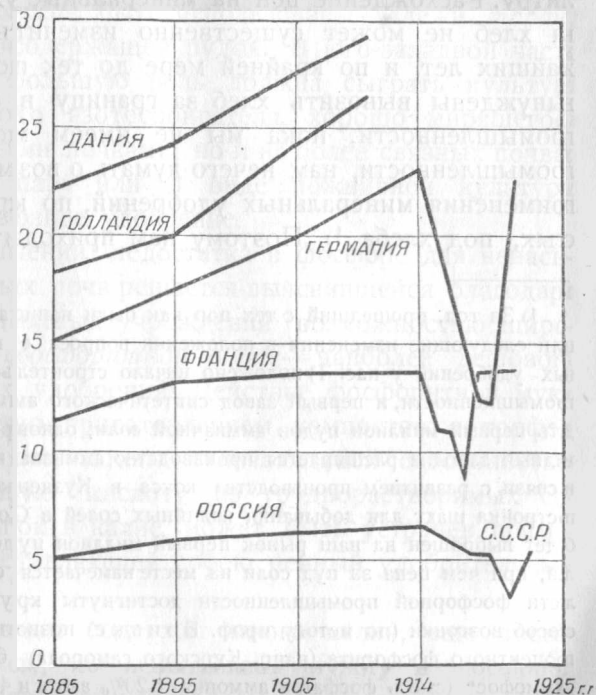


Рис. 11.

не вследствие некультурности нашего крестьянства, а в силу экономических причин. Технически мы можем получать на наших почвах те же результаты, что получаются на Западе, но относительно низкие цены на хлеб и высокая стоимость минеральных удобрений создают экономические препятствия к распространению их: если 10 кг селитры, стоящих 2 рубля, дают прирост урожая ржи в 30 кг, стоящих 1 руб. 50 коп., то никакая пропаганда не заставит население применять селитру. Расхождение цен на минеральные удобрения с ценами на хлеб не может существенно измениться в течение ближайших лет, и по крайней мере до тех пор, пока мы будем вынуждены вывозить хлеб за границу в обмен на изделия промышленности, пока мы не имеем мощной химической промышленности, нам нечего думать о возможности широкого применения минеральных удобрений, по крайней мере азотистых, под хлеба ¹⁾. Поэтому нам приходится искать другие

¹⁾ За год, прошедший с тех пор как были написаны эти строки, произошли следующие изменения в положении: вопервых, о применении минеральных удобрений у нас: 1) положено начало строительству в области азотной промышленности, и первый завод синтетического аммиака к 1928 г. должен дать первый миллион пудов аммиачной соли; одновременно строится цианидный завод и расширяется производство аммиака на коксовальных печах, в связи с развитием производства кокса в Кузнецком бассейне; 2) начата постройка шахт для добывания калийных солей в Соликамске, и через год будет выброшен на наш рынок первый миллион пудов своих калийных солей, при чем цена за пуд соли на месте намечается около 10 коп.; 3) в области фосфорной промышленности достигнуты крупные успехи, именно способ возгонки (по методу проф. Брицке) позволяет получать из низкопроцентного фосфорита (напр. Курского саморода) 60% суперфосфат или „аммофос“ (смесь фосфатов аммония) с 20% азота и 40% P_2O_5 при намечающемся значительном понижении стоимости пудопроцента воднорастворимой P_2O_5 . Первая доменная печь для воспроизведения способа возгонки в заводском масштабе должна начать действовать в Константиновке в настоящем (1927) году.

Кроме достижений технического характера приняты важные решения в области экономических мероприятий; кроме организации 2-летнего кредита для крестьян, покупающих удобрения, Госпланом намечено снижение цен до 3,5 коп. за пудопроцент P_2O_5 и до 8 коп. за пудопроцент азота, что означает для селитры цену в 1 р. 50 коп., т.-е. вдвое ниже современной и равняется цене на селитру в Германии. Конечно, это не создает еще у нас германского масштаба применения удобрений (ибо цены на хлеб в производящих губерниях у нас вдвое ниже германских), но все же дает очень существенный сдвиг, расширяя сбыт удобрений под технические культуры

пути к пополнению недостатка навоза и к восстановлению плодородия почв, по возможности не применяя покупных удобрений или пользуясь наиболее дешевыми из них.

На почвах подзолистой зоны имеется недостаток во всех питательных веществах, в первую очередь — в азоте и фосфоре. Вопрос об азоте должен решаться распространением культуры азотособирателей, преимущественно клевера; там, где бедность почвы или малоземелье не позволяют ввести посевы клевера, должны быть использованы залежи торфа, являющегося азотосодержащей рудой. В юго-западной части подзолистой зоны большую роль должна сыграть культура люпина, энергичного азотособирателя, хорошо мирящегося с бедными песчаными почвами; но и на более связных почвах посевы люпина в пару или в виде пожнивной культуры могут заменять навозное удобрение.

Вопрос о пополнении недостатка в фосфоре для ненасыщенных подзолистых почв решается выяснившейся благодаря работам русских опытных учреждений возможностью широкого применения фосфоритной муки — наиболее дешевого из фосфорнокислых удобрений. Действие фосфоритной муки может быть усилено приготовлением компостов с торфом или внесением ее под люпин, отличающийся способностью усваивать фосфорную кислоту из труднорастворимых соединений. Недостаток в калие может быть устранен применением золы, представляющей собою ценный удобрительный материал.

Черноземные почвы содержат много калия, еще достаточно богаты азотом, но испытывают нужду в фосфоре. В северной части черноземной полосы, на деградированных черноземах еще действует фосфоритная мука при условии внесения ее в больших количествах, но на типичных черноземах недостаток в фосфорной кислоте может быть устранен только применением более дорогих удобрений, содержащих

(хлопчатник, свекла, табак и пр.) и под хлеба в губерниях потребляющих, особенно в Московской, где цены на хлеб близки к германским.

Экономические мероприятия в области хлебной торговли и пр., которые позволят применять удобрения даже под „серые хлеба“ в производящих губерниях, служили предметом обсуждения на съезде химической промышленности 1927 г., труды которого должны вскоре появиться в печати.

Примечание редактора.

фосфорную кислоту в легко доступной для растений форме, как суперфосфат и томасшлак. Внесение суперфосфата под

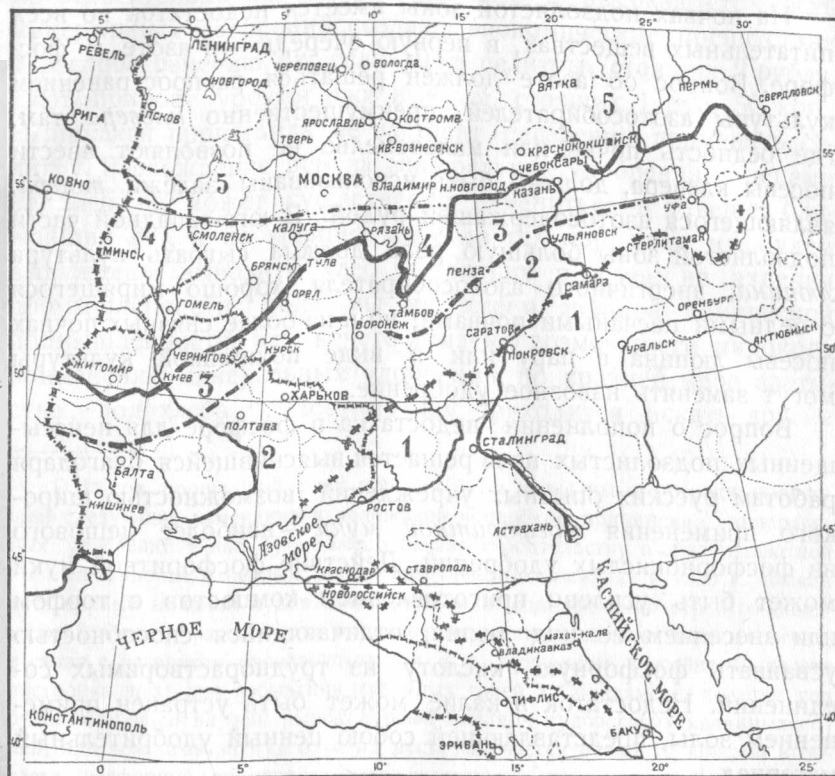


Рис. 12.

- Северная граница высева люпина.
- - - Северная граница почв, не нуждающихся в азоте.
- + + + Южная граница применения фосфоритной муки.
- Граница почв, не нуждающихся в удобрениях.

Районы почв:

- 1 — почвы, не нуждающиеся в удобрениях;
- 2 — почвы, нуждающиеся в фосфоре, но реагирующие только на суперфосфат или томасшлак;
- 3 — почвы, нуждающиеся в фосфоре и реагирующие на фосфоритную муку;
- 4 — почвы, на которых потребность в азоте может быть удовлетворена культурой люпина, а потребность в фосфоре — фосфоритной мукой;
- 5 — почвы, на которых азотный вопрос разрешается культурой клевера и применением торфа, а фосфатный — применением фосфоритной муки.

более ценные культуры — сахарную свеклу — хорошо оплачивается повышением урожая свеклы и благоприятно отражается на последующих посевах хлебов.

Большую роль в деле повышения урожая в нечерноземной полосе должна сыграть также *известь*. Внесение извести в почву, одной или совместно с навозом или торфом, улучшает физические свойства почвы и повышает использование растениями питательных веществ почвы и навоза, в особенности в отношении азота.

Прилагаемая схематическая карта применения удобрений дает общую картину мероприятий по пополнению недостатка азота и фосфора применительно к различным почвенно-климатическим зонам европейской части СССР ¹⁾.

¹⁾ См. Д. Н. Прянишников. Успехи агрономии. Книга 2, 1925.

ГЛАВА IV.

ТОРФ И ЗЕЛЕНое УДОБРЕНИЕ.

ТОРФ.

В использовании торфа в целях удобрения полей следует различать два основных направления:

- 1) торф используется в качестве подстильного материала, для замены соломы или в дополнение к ней;
- 2) торф применяется как самостоятельное удобрительное средство, подготовляемое к вывозке на поле проведением или через скотный двор или через компостные кучи.

ТОРФЯНАЯ ПОДСТИЛКА.

В качестве подстильного материала употребляется торф, отличающийся по возможности большей влагоемкостью и способный дать хорошее гигиеническое ложе животным; собственные удобрительные свойства торфа имеют в данном случае второстепенное значение.

Влагоемкость торфяной подстилки.

Подстильный материал	Одна часть подстилки поглощает частей воды
Малоразложившийся торфяной мох (сфагнум)	12—18
Моховой малоразложившийся торф	8—12
Торфяной порошок	10—12,5
Солома	2—4,5

Для приготовления торфяной подстилки пользуются мало разложившимся волокнистым торфом¹⁾. Моховое болото подсушивают открытыми канавами и на участке, предназначенном к выработке, удаляют кочки и корчуют пни.

Поверхность болота разрыхляется мотыгами или желез-

¹⁾ См. брошюру И. И. Вихляева. Торфяная подстилка. Изд. Торфяной части НКЗ, М. 1920.

ными граблями, торфяная масса высушивается, сгребается в кучи и хранится под навесом, откуда и берется для употребления. Или же ведут разработку, нарезая торф плитками, которые высушиваются на болоте и после высушивания хранятся под навесом. Плитки перед употреблением разбиваются мотыгой или измельчаются на трепалках (волк-машинах); полученную рыхлую подстильную массу просеиванием через сито отделяют от торфяного порошка. Торфяной порошок, обладая высокой поглотительной способностью по отношению к воде и газам, также находит себе употребление для засыпки выгребных ям, клозетов и пр.

Сухой торфяной подстилки дают на одну корову 5—6 кг, на лошадь—3—4 кг в сутки; бывает полезно первое время покрывать подстилку тонким слоем соломы, чтобы постепенно приучить животных к необычному для них виду подстилки.

Навоз, получаемый на торфяной подстилке, превосходит по своему удобрительному действию обычный навоз на соломенной подстилке не только потому, что лучше впитывает и удерживает жидкие выделения животных, но еще и потому, что содержание в торфе большого количества свободных перегнойных кислот обеспечивает хорошее поглощение аммиака и почти полностью устраняет потери азота, получающиеся при аммиачном брожении мочевины при обычной подстилке.

Поэтому введение торфа в подстилку одновременно оказывает благоприятное влияние на здоровье животных, улучшая воздух в стойлах, и устраняет ряд возражений, приводимых против хранения навоза под скотом.

Содержание аммиака в воздухе конюшни при замене соломенной подстилки на торфяную изменяется таким образом¹⁾:

Аммиак в мг на литр воздуха.

	Соломенная подстилка	Торфяная подстилка
1-й день	—	0
2-й "	0,27	0
3-й "	0,42	0
4-й "	0,33	0
5-й "	0,42	0

¹⁾ Опыты В. Ю. Болсуновского и П. Р. Купреенко.

В других опытах (Feilitzen, Швеция) при хранении в течение 3 месяцев в навозохранилище навоза на торфяной и соломенной подстилке, данных в равных количествах, наблюдались такие потери азота:

соломенная подстилка	20%
торфяная „	7,4%

Другим достоинством навоза на торфяной подстилке является возможность внесения его, даже не вполне перепревшего, непосредственно перед посевом растений, например весной под яровые, так как *этот навоз не вызывает денитрификации*.

Урожаи по навозу на торфяной подстилке заметно *превышают урожаи по обычному навозу¹⁾*, например:

	Урожай ржи	Урожай вики с овсом
Без удобрения	100%	100%
Соломенный навоз	134%	138%
Торфяной навоз	152%	159%

Особенно сильная разница в действии между торфяным и обыкновенным навозом была получена при внесении его весной под картофель:

	В центнерах на гектар		
Внесено навоза	150	270	360
Прирост урожая от обыкновенного навоза	+10,4	+28,2	+26,2
Прирост урожая от торфяного навоза	+50,7	+56,1	+77,7

Поэтому употребление торфяной подстилки следует рекомендовать не только для замены недостающей соломы, но и как меру, имеющую самостоятельное значение, повышающую качество навоза и создающую более гигиенические условия содержания скота. Большое значение торфяная подстилка может иметь для городов: вследствие большой влагоемкости ее можно класть в меньших, чем солому, количествах, что облегчает уход за животными. Для перевозки на большие расстояния торфяную подстилку прессуют в обычных сенных прессах.

¹⁾ Опыты И. В. Якушкина и П. Ф. Константинова; XI т. отчетов лаборатории Д. Н. Прянишникова, 1916 г.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФА КАК УДОБРЕНИЯ.

Торф в 2—4 раза богаче азотом, чем солома; поэтому употребление торфа в подстилку, в количествах больших, чем это требуется для поглощения выделений животных, позволяет увеличить количество получаемого в хозяйстве навоза, не понижая его качества.

Состав торфа может сильно меняться в зависимости от происхождения торфяника и от степени разложения торфа.

Различают два типа торфяников — *верховые и низовые*.

Первые слагаются преимущественно из остатков мха (сфагнума), пушицы и довольно богаты азотом, но бедны зольными веществами; в связи с малым содержанием оснований отличаются высокой кислотностью — pH в водной вытяжке ниже 5,0 и доходит до 3,6.

В образовании низовых торфяников принимают участие, кроме зеленых мхов (гипнумы), также осоки и тростник, а из деревьев обычно заметную роль играет ольха. Низовые торфяники часто бывают более богаты азотом и характеризуются высоким содержанием зольных веществ, которые приносятся с выступающими на поверхность грунтовыми водами. В связи с этим стоит и меньшая кислотность низовых торфяников — pH обычно выше 5,0 и часто приближается к 7,0.

Состав торфа различного происхождения.

В процентах на абсолютно сухое вещество.

	Золы	Азота	Фосфорной кислоты	Калия	Кальция
Моховой торф . . . 1—4	0,7—1,9	0,04—0,07	0,03—0,1	0,2—1,0	
Торф переходного бо- лота 3—6	1,5—3,0	0,05—0,15	0,1	1—2	
Низовой торф . . . 5—12	1,6—3,5	0,1—0,25	0,1—0,2	1—5	

По мере разложения вследствие происходящей при этом убыли углерода и водорода происходит обогащение торфа азотом:

Сфагновый торф неразложившийся содержит . . . 0,89% азота
„ „ сильно разложившийся содержит . 1,35 „ „

Таким образом торф, в особенности моховой, беднее соломой по содержанию зольных веществ — фосфорной кислоты

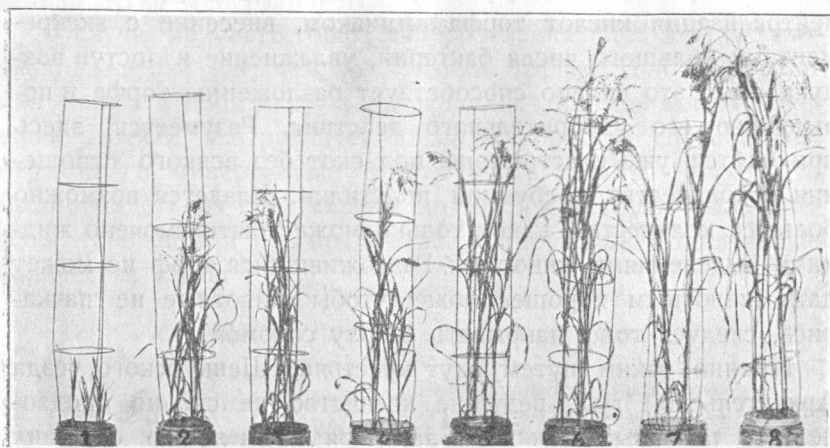
и калия, но значительно богаче ее азотом. При расчетах следует помнить, что высушенный на воздухе торф содержит 20—30% влаги.

Прежде считали, что азот торфа, по крайней мере из моховых торфяников, настолько прочно закреплен в трудно разлагающемся органическом веществе, что практически недоступен для растений. Однако исследования последнего времени показали, что если уничтожить высокую кислотность (ненасыщенность) торфа, то азот последнего сравнительно легко минерализуется.

В случае мохового торфа минерализация идет в этих условиях даже быстрее, чем при луговом торфе. При употреблении торфа в подстилку получающийся при брожении моче-

и в этом случае применением торфа можно пополнить запасы азота в почве. Но для этого следует брать уже не мало разложившийся, волокнистый торф, который употребляется для приготовления подстилки, а торф более разложившийся, богатый азотом и легче отдающий его растению. Нельзя брать с торфяника торф сразу, без подготовки, вывозить в поле, — кислотность торфа может оказать неблагоприятное влияние на растение и вместо ожидаемой прибавки вызвать уменьшение урожая. Подготовка торфяного удобрения заключается в проведении торфа через скотный двор; частичная нейтрализация кислот торфа аммиаком, внесение с экскрементами большого числа бактерий, увлажнение и доступ воздуха — все это сильно способствует разложению торфа и повышению его удобрительного действия. Разумеется, здесь

(„трунду“, по местному выражению). Стремление приготовить возможно большее количество торфяного удобрения заставляет хозяев класть под скот торф в количествах больших, чем может быть смочено выделениями животных; отсюда вытекает обыкновение класть под скот не высушенный торф, а влажный, который скот, перетапывая, лучше смешивает с экскрементами и соломой. Однако такой прием едва ли может быть рекомендован — было бы целесообразнее класть под скот сухой торф, слоем из кирпичей, выре-



Без N. Возрастающие дозы торфа. Нормальная.

Рис. 13. Моховой торф в песчаной культуре как источник азота.

занных и высушенных на болоте или под навесом, а недостающее количество удобрения готовить с помощью компостных куч. Но, конечно, местные условия могут делать более удобными и другие приемы.

Способность мохового торфа отдавать свой азот вполне доказана опытами внесения торфа под растения, лишенные иных источников азота (см. рис. 13)¹⁾. При выращивании растений в вегетационных сосудах и при внесении в сосуды с почвой торфа из расчета 360 центнеров на гектар оказывалось, что до 28% азота, данного в торфе, усваивалось рас-

¹⁾ См. П. Р. Купреенко. Торф и торфяной навоз как удобрение. Изд. „Новая Деревня“, 1924.

тениями. Благоприятное влияние на урожай торфа, даже не смешанного с экскрементами животных, отмечалось неоднократно и в полевых опытах; но для того чтобы избежать вредного влияния кислотности, нужно дать торфу предварительно „проветриться“ в рыхлых кучах; начинающееся при хорошем доступе воздуха разложение торфа приводит к уменьшению кислотности и частичной минерализации азота.

Еще лучшим приемом приготовления торфяного удобрения будет компостирование торфа, к которому приходится прибегать при отсутствии или недостатке скота. Приготовление торфяного компоста имеет целью вызвать в торфе аэробные бактериальные процессы, для чего необходимо позаботиться, кроме обеспечения доступа воздуха, еще и о нейтрализации торфяных кислот и заражении торфа бактериями почвы или экскрементов; хорошим материалом для заражения бактериями будут всевозможные домашние отбросы, помои и пр. Содержимое выгребных ям и отхожих мест также с большим успехом применяется для смешения с торфяным компостом и сильно повышает его удобрительное действие. Нейтрализация торфяных кислот, особенно необходимая при употреблении мохового торфа, достигается внесением в компост извести — в количестве 4—5% от веса торфа. Еще уместнее для этой цели использовать золу (древесную или соломенную), богатую калием и известью и значительно повышающую качество компоста. Даже остающуюся в хозяйстве после приготовления щелока выщелоченную золу следует класть в компост; эта зола хотя и лишена большей части калия, но содержит еще всю известь и фосфорную кислоту.

По некоторым опытам¹⁾, при компостировании торфа с известью в течение нескольких месяцев, до 15% азота торфа переходило в растворимые формы, в то время как при компостировании без извести накоплялось не более 5% растворимых форм азота.

Для того чтобы из торфа приготовить полное удобрение, нужно обогатить его калием и фосфором; обогащение калием достигается проще всего внесением золы, а введение фос-

¹⁾ См. П. Р. Купреенко. О приемах перевода азота торфа в усвояемое состояние. („Из результатов вегетационных опытов“, т. XIII, 1925).

фора лучше осуществить с помощью самого дешевого из фосфорнокислых удобрений — фосфоритной муки. Фосфорная кислота фосфоритов трудно доступна для растений, но кислоты торфа могут перевести ее в более усвояемые формы. Фосфоритную муку не следует смешивать с торфяным компостом, содержащим известь, золу или большое количество экскрементов, а нужно в отдельной куче перемешать торф с фосфоритной мукой и только перед вывозкой в поле смешать обе кучи вместе. Ниже мы будем иметь случай вернуться к этому вопросу при описании способов использования фосфоритной муки.

Что же касается использования растениями фосфорной кислоты, содержащейся в самом торфе, то здесь наблюдаются различия между верховыми и низовыми торфами, именно, торф с верховых болот, несмотря на малое содержание фосфорной кислоты, легко отдает ее растениям, в то время как фосфорная кислота низовых торфов растениями почти не усваивается.

Уход за компостными кучами сводится к поливке в случае высыхания и периодическому перелопачиванию, обеспечивающему доступ воздуха и равномерность разложения торфа. Хорошо приготовленный компост по своему удобрительному действию может превышать навоз.

Влияние компостирования на доступность растениям азота торфа можно видеть на рис. 14¹⁾.

Этот опыт, в почвенных культурах, дал следующие результаты:

Удобрение	КР	КР + торф не компост.	КР + торф, компост. с CaCO_3	КР + CaCO_3 без торфа	КР + торф, комп. с навоз. жижей	КР + торф, компост. с жижей + CaCO_3
Урожай в %/о . .	100	107	153	105	142	152

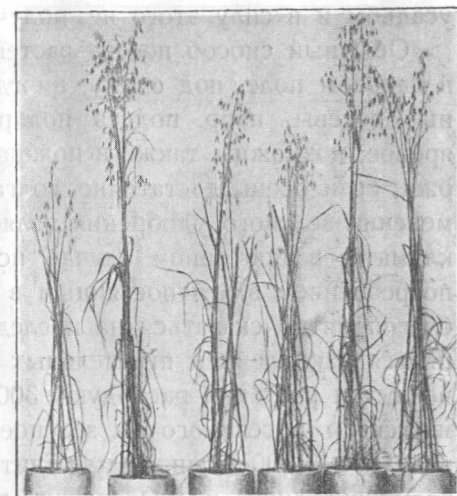
Широкое применение торфяного удобрения возможно только в хозяйствах, имеющих по соседству торфяные болота;

1) См. З. В. Логвинова. Торфяной компост как удобрение. Труды Института по удобрениям, вып. 32, 1926.

в противном случае возка больших масс торфа становится слишком тяжелой, непосильной для хозяйства.

Но богатство нечерноземной части СССР торфяниками позволяет надеяться, что торф сможет сыграть крупную роль в поднятии урожайности полей, как это уже имеет место на нашем севере.

Рис. 14. Влияние компостирования на доступность азота торфа.



Процент площади, занятой болотами в различных губерниях, по данным Центр. стат. комитета 1887 года.

Московская	5,6%
Тверская	12,2
Владимирская	7,75
Рязанская	6,7
Костромская	7,95
Ярославская	6,9
Псковская	16,8
Новгородская	19,4
С.-Петербургская	16,5
Могилевская	15,3
Смоленская	9,22
Калужская	4,2
Олонецкая	12,9
Вятская	3,25
Пермская	6,95
Вологодская	52,5
Архангельская	54,2

Без удобрения
Полное удобрение (KPN)
КР (без азота)
КР + торф, не компост.
КР + торф, комп. с CaCO_3
КР + торф + CaCO_3 не компост.

ЗЕЛЕНое УДОБРЕНИЕ.

Под зеленым удобрением разумеют запахивание выращенной на месте зеленой массы растений; для этой цели культивируются почти исключительно азотособиратели — бобовые растения, почему зеленое удобрение следует рассматривать по преимуществу как азотистое удобрение. Но выбором растений с особо сильной корневой системой, способной использовать труднорастворимые минеральные соединения почвы, можно приблизить зеленое удобрение к значению полного удобрения.

Там, где отсутствие залежей торфа не позволяет увеличить количество навоза, а бедность почв препятствует культуре клевера, зеленое удобрение дает возможность биологическим путем, за счет энергии солнечных лучей, накопить большие количества азота и органического вещества и обеспечить им последующие культуры. В особенности уместно зеленое удобрение на участках, расположенных далеко от усадьбы и в силу этого не получающих навоза.

Обычный способ посева растений на зеленое удобрение — в паровом поле, под озимь; иногда встречаются промежуточные посевы, напр. подсев под рожь и запашка осенью под яровое; возможны также и пожнивные посевы — после уборки ржи, если осень достаточно долгая. Основным условием применения зеленого удобрения является достаточная влажность климата; в противном случае иссушение почвы, вызванное потреблением влаги посеянным в пару растением, может неблагоприятно сказаться на последующей культуре и не окупиться накоплением питательных веществ. На единицу сухого вещества растения расходуют 300 и более единиц воды, что на гектар посеянного на зеленое удобрение растения составит 1000—1500 тонн воды. Считают, что зеленое удобрение возможно лишь в местностях, имеющих не менее 550 мм осадков в год (что соответствует 5500 тоннам на гектар); однако это не вполне верно, потому что влажность климата определяется не только количеством осадков, но и размером испарения. Наиболее распространенными растениями для зеленого удобрения являются люпины, синий и желтый; значительно реже используются сераделла, вика и клевер из бобовых и горчица, сурепка, шпегель из других семейств.

КУЛЬТУРА ЛЮПИНОВ.

Распространенность посевов люпина на зеленое удобрение объясняется помимо того, что люпин является азотособирающим, высокой усвояющей способностью корневой системы люпинов по отношению к труднорастворимым соединениям фосфорной кислоты; поэтому люпин можно возделывать на бедных песчаных почвах, на которых не могут расти другие бобовые растения, напр. клевер. Нетребовательность люпинов по отношению к почве зависит также от мощного развития их глубоко идущей корневой системы и способности исполь-

зовать вследствие этого питательные вещества, находящиеся в более глубоких слоях почвы, куда не проникают корни других растений. Характерным для люпинов является неблагоприятное отношение к извести, которая подавляет развитие люпинов; вообще люпины предпочитают более кислые, насыщенные почвы ($pH = 4-5$). У нас возделывается преимущественно синий люпин (см. рис. 15); желтый менее распро-

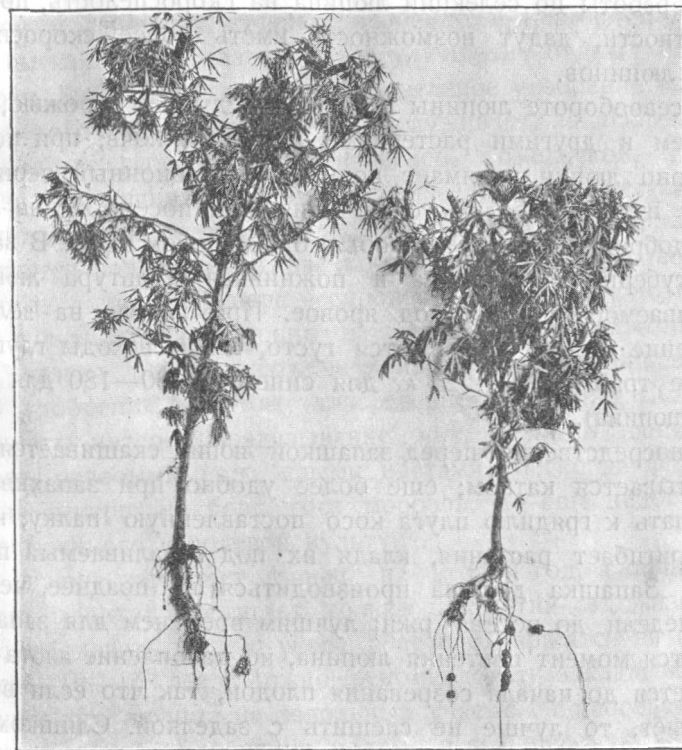


Рис. 15. Синий люпин.

странен. Синий люпин менее требователен к почве, чем желтый, лучше мирится с присутствием извести и плохой проницаемостью грунта; зато желтый люпин способен идти далее в сторону бедных, почти сыпучих песков.

Люпины довольно требовательны к климату, длина вегетационного периода для них равна около 130 дней, причем синий люпин несколько опережает в развитии желтый; зато

желтый люпин в более южных широтах способен давать большую и легче разлагающуюся массу. Всходы люпинов чувствительны к заморозкам, и это обстоятельство также затрудняет распространение их культуры к северу. На карте на стр. 88 указан вероятный северный предел культуры люпинов, там, где возможно вызревание семян; но культура на зеленое удобрение при покупных семенах, конечно, возможна и в более суровом климате. Ведущиеся в настоящее время работы по селекции люпина на скороспелость, по всей вероятности, дадут возможность иметь более скороспелые сорта люпинов.

В севообороте люпины обычно чередуются с рожью, картофелем и другими растениями песчаных почв; при посеве на зерно люпин занимает полный вегетационный период и может идти после любого растения, при посеве же на зеленое удобрение помещается обычно в паровом поле. В западных губерниях возможна и пожнивная культура люпина, запахиваемого осенью под яровое. При посеве на зеленое удобрение семена высеваются густо, чтобы всходы глушили сорные травы (150—225 кг для синего и 130—180 для желтого люпина).

Непосредственно перед запашкой люпин скашивается или прикатывается катком; еще более удобно при запахивании приделать к грядилю плуга косо поставленную палку, которая пригибает растения, кладя их под отваливаемый пласт земли. Запашка должна производиться не позднее, чем за 2—4 недели до посева ржи; лучшим временем для запашки считается момент цветения люпина, но накопление азота продолжается до начала созревания плодов, так что если время позволяет, то лучше не спешить с заделкой. Слишком запаздывать с заделкой также не следует, так как огрубевшие стебли хуже разлагаются и оказывают меньшее удобрительное действие. По наблюдениям Новозыбковской опытной станции, особенно много работавшей над культурой люпина, запахивать нужно не позднее появления на растениях блестящих бобиков.

Способность люпина, как и всех бобовых, усваивать свободный азот воздуха зависит от присутствия особых бактерий, поселяющихся на корнях люпина в так называемых клубеньках (см. рис. 15). Если люпин возделывается в первый

раз, то в почве может не оказаться достаточного количества бактерий, клубеньки не образуются, и люпин, лишенный азотистого питания, будет плохо развиваться. В этом случае необходимо произвести заражение бактериями, перетирая семена люпина перед посевом с землей, взятой с поля, где раньше росли люпины, или с кашицей из раздавленных клубеньков с корней люпина и земли. Бактерии из клубеньков других бобовых — гороха, клевера — на люпине не развиваются.

Зеленое удобрение с давних времен пользуется распространением в западных странах, особенно в Германии, где люпины сыскали себе славу в деле улучшения бедных песчаных почв. В СССР, к сожалению, зеленое удобрение еще не заняло того места, какого оно заслуживает, за исключением западных губерний — Черниговской, Гомельской, — где его польза уже начинает оцениваться населением. Естественной границей распространения люпина с юго-восточной стороны является недостаток влаги и отсутствие нужды в азоте черноземных почв, а с севера — суровость климата, не позволяющая культивировать люпин на семена; при привозных семенах нельзя рассчитывать на широкое распространение зеленого удобрения. Поэтому для северной половины СССР может иметь интерес возделывание многолетнего люпина (с синими, розовыми или белыми цветами), легко дающего семена на севере, не боящегося морозов, но еще недостаточно испытанного в полевой культуре.

Этот люпин зацветает только на второй год, а полной мощности развития достигает только на третий год жизни; он способен давать по два укоса в лето и держится на одном месте 10—15 лет. Можно рекомендовать закладывать плантации этого люпина на запольных участках по соседству с нуждающимися в удобрении полями и скашиваемую зеленую массу перевозить и запахивать на этих полях.

Через несколько лет можно перепахать и тот участок, на котором рос люпин — он окажется сильно обогащенным азотом за счет корневых остатков люпина. Быть может, окажется возможным разводить этот люпин и подсевом под овес, с тем, чтобы его запахать на следующий год в пару.

Развитие люпинов идет значительно успешнее при удобрении почвы фосфоритной мукой, из которой люпины, в отличие от других растений, хорошо берут фосфорную кислоту.

После разложения люпиновой массы эта фосфорная кислота освобождается уже в форме, доступной и для хлебов. Усвояющая способность люпинов по отношению к калию не столь хороша, как к фосфорной кислоте; поэтому люпины отзывчивы на калийные удобрения. Но к удобрению люпинов золью следует относиться осторожно, так как извесь зола может оказать неблагоприятное влияние.

Удобрительное действие запаханной массы люпинов, разумеется, зависит от количества этой массы, т.е. от мощности развития растений; поэтому наблюдаются большие колебания в действии зеленого удобрения в зависимости от метеорологических и почвенных условий.

Коллективные опыты, проведенные на крестьянских полях в Черниговской губ. в 1914 г. ¹⁾, дали на 28 опытных участках среднее повышение урожая по зеленому удобрению в 4,65 центнеров зерна + 9,6 ц соломы озимой ржи, против 5,85 ц зерна + 11,1 ц соломы на неудобренных делянках, т.е. зеленое удобрение почти удваивало урожай ржи. В отдельных же случаях приросты достигали 12 и даже 16 ц на гектар.

В опытах Новозыбковской опытной станции, на песках, без удобрения дающих 2,25—3,0 ц ржи, были получены следующие результаты:

Годы	Количество навоза	Урожай зерна	Соломы	Кол. массы люпина	Урожай зерна	Соломы
1919	270	5,25	7,20	270	8,10	14,7
1924	180	6,75	13,05	200	7,2	12,3
1925	360	12,6	24,25	111,5	4,65	8,1

✓ Еще более благоприятные результаты получены для картофеля:

Без удобрения	39,9 ц
По удобрению 180 ц люпина	85,5 "
" 360 " "	113,5 "
" 540 " "	149,3 "

¹⁾ См. Кулжинский. Отчет о коллективных опытах. Вып. III.

Вообще картофель устойчивее других растений оплачивает зеленое удобрение; рожь же в неблагоприятные годы может страдать от недостатка влаги, вызванного посевом люпина в пару.

Зеленая люпиновая масса содержит около 80% воды и заключает следующие количества питательных элементов ¹⁾.

	Сух. вещества	Азота	P ₂ O ₅	Калия
В 1000 кг люпина	212 кг	4,52 кг	1,2 кг	1,80 кг
" " " навоза	246 "	4,6 "	2,2 "	4,65 "

Таким образом при урожае в 150 ц на гектар сырой массы люпина мы вносим в почву около 67,5 кг азота, а так как при благоприятных условиях люпин может давать до 450 ц зеленой массы, заключающей 120—200 кг азота, то можно считать, что в отношении азота люпиновое удобрение вполне может заменить навоз. В отношении же калия и фосфорной кислоты он заметно уступает последнему ²⁾. Использование растениями (рожьей) заключенных в запаханной массе питательных веществ идет не хуже, чем в навозе,—в первый год озимая рожь берет до 60% P₂O₅, до 27% азота и до 47% калия.

По наблюдениям Новозыбковской опытной станции, посе́вы люпина на зеленое удобрение даже сильнее действуют на супесчаных и суглинистых почвах, чем на рыхлых песках; точно так же наблюдается усиление действия при применении зеленого удобрения совместно с навозным, что стоит в связи с большим количеством зеленой массы, развиваемой люпином на более связных или унавоженных почвах; поэтому правильнее рассматривать посе́вы люпина не как замену навоза, а как дополнение к нему. Поживные посе́вы люпина также лучше удаются на более плодородных землях.

Экономическая сторона люпинового удобрения в первую очередь зависит от стоимости семян люпина; по данным Е. К. Алексеева, на землях, дающих урожай гречихи в 4,5 ц,

¹⁾ Е. К. Алексеев. Факторы действия люпинового удобрения. Рукопись.

²⁾ Разумеется люпин потребляет не только свободный атмосферный азот, но использует и азот почвы, но приблизительно можно принять, что потребление азота из почвы не превышает количества азота, содержащегося в корневых остатках люпина.

люпин дает 15 ц зерна, так что снабжение семенами там, где обеспечено вызревание люпина, не должно встречать затруднений. Расходы по люпиновому удобрению, включая и стоимость семян и обработку, составляют не более 28 руб. на гектар, т.е. не больше, чем для навозного удобрения. На 1 ц семян люпина получается около 2 центнеров прироста ржи, так что затраты вполне окупаются уже первым хлебом, не считая последствий на следующие культуры.

Значительно реже запахиваются на зеленое удобрение другие бобовые растения — сераделла, вика, клевер и пр. Использование этих растений на удобрение имеет смысл в случае невозможности использовать их в качестве корма или невозможности вывезти в поле потребное количество навоза; по количеству зеленой массы и энергии накопления азота эти растения не могут соперничать с люпином; не обладают они также способностью использовать нерастворимые соединения фосфорной кислоты в почве, поэтому их культура возможна лишь на достаточно плодородных землях.

Посевы гречихи, шпегеля на зеленое удобрение в паровом поле имеют целью обогащение почвы органическим веществом и отчасти фосфорной кислотой, нерастворимые соединения которой эти растения используют лучше, чем хлеба, но хуже, чем люпин; во влажном климате имеет также значение уменьшение потерь через вымывание, наблюдаемое при посеве растений в паровом поле.

ГЛАВА V.

ПРОДАЖНЫЕ АЗОТИСТЫЕ УДОБРЕНИЯ.

МИНЕРАЛЬНЫЕ АЗОТИСТЫЕ УДОБРЕНИЯ.

Хотя в настоящее время широкое распространение минеральных удобрений не может иметь места в силу их малой доступности, тем не менее можно думать, что вместе с развитием нашей химической промышленности некоторые из этих удобрений даже в ближайшие годы смогут найти постоянное применение, если не под хлеба, то под более ценные культуры, как сахарная свекла, хлопчатник и др. Наиболее распространенными из минеральных азотистых удобрений являются чилийская селитра NaNO_3 , сернокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и циан-амид кальция CaCN_2 ; менее распространенными будут норвежская селитра $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и азотнокислый аммоний NH_4NO_3 .

ЧИЛИЙСКАЯ СЕЛИТРА.

Чилийская — натровая — селитра добывается в республиках Чили и Перу, в Южной Америке, в предгорьях Кордильерского горного хребта. Залежи селитры находятся в 60—70 км от берега Тихого океана в виде пластов различной толщины (1—5 м) и обычно бывают покрыты песком и глиной; прослойки этих примесей встречаются попеременно со слоями селитры.

Вопрос о происхождении этих залежей не выяснен окончательно. По некоторым предположениям, селитра эта обычного почвенного происхождения; подпочвенные воды, содержащие вымытые из почвы нитраты, двигаясь со склонов Кордильерских гор и встречая водоупорные слои, выходили на поверхность, где и испарялись, выделяя отложения селитры. По другим предположениям, селитра образовалась при разложении масс морских водорослей, выброшенных на берег океаном или оставшихся в бассейне, отрезанном от моря при происшедшем поднятии уровня земли. В доказательство этого мнения приводится сходство состава примешанных к селитре солей с солями морской воды.

Добытая из залежей селитра содержит 50—60% NaNO_3 , 7—16% NaCl , 5—25% Na_2SO_4 и небольшое количество солей иода, песок и глину. От примесей селитра освобождается растворением в горячей воде и кристаллизацией; выкристаллизовавшаяся селитра представляет уже продажный продукт и содержит еще 5% примеси других солей.

Очищенная кристаллизацией селитра в больших количествах (свыше 2 милл. тонн) вывозится в Европу, где расходуется почти исключительно для целей удобрения и лишь в небольшой доле потребляется химической и военной промышленностью для приготовления азотной кислоты и взрывчатых веществ. Чистая натровая селитра содержит 16,47% азота, продажная же селитра должна заключать не менее 15%, в противном случае можно предполагать подмесь малоценных веществ в целях фальсификации.

Действие селитры представляет, помимо практического, еще и теоретический интерес, потому что все азотистые удобрения, попадая в почву, подвергаются нитрификации и потребляются растением в форме азотнокислых солей; но при применении селитры следует иметь в виду, что, кроме прямого удобрительного действия, она оказывает еще и косвенное влияние на растение и почву. Косвенное влияние натровой селитры заключается в действии на почвенный поглощающий комплекс иона натрия, могущего вытеснять кальций и ухудшать физические свойства почвы; в особенности заметно это действие должно проявляться на сильно оподзоленных почвах с малой общей емкостью поглощения при большой ненасыщенности ¹⁾.

Кроме того при внесении в больших количествах на почвах с малой емкостью поглощения (напр. песчаных) селитра может если не прямо угнетать развитие растений, то по крайней мере понижать эффект от прямого удобрительного действия вследствие свойственной ей физиологической щелочности ²⁾.

¹⁾ Повидимому, эта причина, вместе с рядом других, объясняет малое действие селитры в коллективных опытах Московской губернии.

²⁾ При употреблении недостаточно чистой продажной селитры наблюдались иногда явления отравления растений, вызванные примесью ядовитой соли KClO_4 . Поэтому при покупке селитры необходимо требовать гарантии в отсутствии вредных примесей.

Прямое удобрительное действие селитры, как и всякого одностороннего удобрения, зависит от обеспеченности растения прочими питательными веществами; когда фосфора и калия в почве достаточно и физические условия благоприятны, а в минимуме находится только азот, тогда применение селитры вызывает правильное возрастание урожаев. Поэтому селитра не применяется под бобовые растения, уже в достаточной степени обеспеченные азотом с помощью клубеньковых бактерий; в некоторых случаях односторонний избыток азотистого питания, при недостатке фосфора и калия, может даже неблагоприятно отражаться на растениях, затягивая развитие и усиливая образование соломистых частей при понижении урожаев зерна.

Не весь азот, содержащийся во внесенной в почву селитре, может быть усвоен растением, часть азота неизбежно теряется в процессах вымывания и денитрификации или потребляется сорными травами. Считают, что в первый год хлеба могут использовать 60—75%, а картофель и корнеплоды до 80—90% данного в селитре азота, но для приблизительных подсчетов следует принимать, что только $\frac{2}{3}$ азота потребляется растением. Урожай хлебов в 10 центнеров зерна в 25 ц соломы заключает $20 + 14 = 34$ кг азота; следовательно, если мы захотим обеспечить этот урожай азотом в форме селитры, то будем вынуждены внести не менее 50 кг азота или 3—3,5 ц селитры. В соответствии с этим считают, что внесению 1 ц селитры отвечает прирост в урожае 3 ц зерна. По согласным данным западно-европейских и русских опытных станций, 1 кг селитры дает такие приросты урожая:

ржи	3 кг	овса	5 $\frac{1}{2}$ кг
пшеницы	4 „	картофеля	30 „
ячменя	4 „	сахарной свеклы	50 „

разумеется, при условии, что азот находится в минимуме. Эти данные позволяют приближенно подойти к оценке выгоды применения селитры: если 1 центнер ржи стоит 6 рублей, то применение селитры будет экономически возможно только тогда, когда 30 кг ее будут стоить меньше 3 рублей. В некоторых случаях, при внесении небольших количеств селитры приходится наблюдать относительно большие приросты в урожае; это имеет место у нас, например,

на черноземных почвах при внесении селитры под сахарную свеклу в рядки с помощью комбинированной сеялки. Весной, когда в почве еще не накопилось достаточное количество нитратов, молодые растения используют азот селитры и развивают сильную корневую систему, которая позволяет им в дальнейшем лучше использовать влагу, нитраты и другие питательные вещества почвы:

Дано селитры	0	15	30	45	60	120	180 кг
Урожай свеклы	202	211	221	222	227	230	240 ц
Прирост урожая	—	9	19	20	25	28	38 ц
Прирост на 10 кг селитры —		6,0	6,4	4,5	4,2	2,3	2,1 ц

При постановке опытов с удобрениями, при желании сравнить действие селитры с действием навоза, на гектар следует класть 2,7 ц селитры, соответствующие 45 килограммам азота, т.-е. тому количеству, которое растения получают в первый год при внесении 360 ц навоза ¹⁾. Такая же норма является обычной в западно-европейских странах при удобрении полей. В нас же является более уместным для практического применения внесение уменьшенных доз селитры в виде местного удобрения — в рядки, под культуры корнеплодов и картофеля, как растений, лучше оплачивающих азотистые удобрения. Еще более широкое применение селитры должна получить под ценные огородные культуры, при одновременном применении фосфорнокислых и калийных удобрений, во избежание неблагоприятного действия одностороннего избытка азота.

В качестве примера зависимости прироста в урожае после удобрения селитрой от богатства почвы азотом и сопутствующих удобрений — можно привести результаты коллективных опытов Киевской губернии.

Прибавки в урожаях озимой ржи.

	От селитры	От суперфосфата	От селитры + суперфосфата
Серые лесные земли	3,45 ц	1,35 ц	3,9 ц
Деградированные черноземы	2,4 "	3,15 "	6,0 "
Черноземы	1,2 "	3,45 "	5,25 "

¹⁾ При сравнении действия селитры с навозом в севообороте, селитру придется вносить под каждую культуру снова, так как, в отличие от навоза, последствие селитры ничтожно.

Последствие селитры на следующие культуры бывает незначительно, потому что оставшиеся неиспользованные первым урожаем нитраты частью подвергаются вымыванию, в большей же части потребляются бактериями и переходят в органические формы азота, присоединяющиеся к общим запасам органических веществ почвы.

Внесение селитры в почву производится незадолго до посева, после распределения селитры поле боронуется для более равномерного смешения с почвой. При употреблении комбинированных сеялок удобрения заделываются в рядки при посеве. Вследствие легкой вымываемости селитру бывает невыгодно применять на легких почвах в местностях с влажным климатом.

СЕРНОКИСЛЫЙ АММОНИЙ.

Сернокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ получается как побочный продукт при коксовом и газовом производствах, связанных с сухой перегонкой каменного угля. Каменный уголь содержит от $\frac{1}{2}$ до $1\frac{1}{2}\%$ азота; около $\frac{1}{7}$ части этого азота при сухой перегонке переходит в аммиак, поглощаемый водой, через которую промывают выделяющиеся при сухой перегонке газы. Из воды аммиак в целях очищения отгоняют с известью и улавливают серной кислотой, в результате чего и получается продажная серноаммиачная соль. Подобным же образом может получаться сернокислый аммоний и при сухой перегонке торфа, имеющей место, напр., при приготовлении генераторного газа: при этом до 75% азота торфа может быть уловлено в виде серноаммиачной соли. Теоретически чистый сернокислый аммоний должен содержать 21,21% азота, но продажная соль содержит обычно около 20%. Нежелательными примесями являются роданистый аммоний NH_4CNS , ядовито действующий на растения, и кислый сернокислый аммоний NH_4HSO_4 , имеющий кислую реакцию и получающийся при избытке серной кислоты. Внешним признаком присутствия роданистого аммония является розовая окраска соли (являющаяся результатом взаимодействия роданистого аммония с железными стенками сосудов).

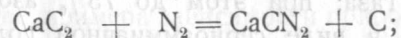
Прямое удобрительное действие сернокислого аммония мало отличается от действия селитры; разница будет лишь в том, что аммиак, в отличие от азотной кислоты, хорошо

поглощается почвой и не подвергается вымыванию; поэтому действие сернокислого аммония может быть более длительным. Косвенное действие $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ зависит от физиологической кислотности этой соли и обусловливаемого ею подкисления почвенного раствора; оно может проявляться неблагоприятно на ненасыщенных подзолистых и торфянистых почвах; на более насыщенных почвах это подкисление может оказывать благоприятное влияние, способствуя растворению труднорастворимых фосфатов в почве. Аммоний, попадая в почву, постепенно подвергается нитрификации и дает азотную кислоту, что также способствует подкислению почвенного раствора. Отношение различных растений к сернокислому аммонiu может быть не одинаковым в зависимости от их отношения к реакции почвы.

На гектар, вследствие большего содержания азота, сернокислого аммония вносят несколько меньше, чем селитры, — 225 кг. После внесения его лучше запахать — для более равномерного смешения с почвой.

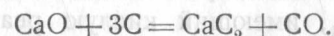
ЦИАН-АМИД КАЛЬЦИЯ.

Циан-амид является одним из синтетических азотистых удобрений, т. е. получаемых искусственно, путем связывания свободного азота воздуха. Производство циан-амида основано на способности карбида кальция при нагревании вступать в реакцию с азотом и давать циан-амид кальция по уравнению:



карбид кальция азот циан-амид углерод

карбид же кальция получается при нагревании в электрической печи смеси негашеной извести с углем:



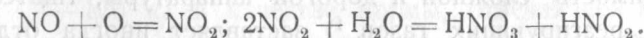
Продажный циан-амид представляет собою темный от примеси угля, тонкий, легко пылящий порошок, содержащий 18—20% азота; сам по себе циан-амид обладает ядовитыми свойствами, но при действии влажности он разлагается, образуя углекислый кальций и аммиак:



на этом и основано его применение в качестве удобрения. Но так как разложение циан-амида идет медленно, то его следует вносить не непосредственно перед посевом, а заблаговременно (за неделю до посева или даже более), во избежание вредного действия на растения. В особенности это относится к песчаным и торфянистым почвам, на которых разложение циан-амида идет более медленно. Вообще обращение с циан-амидом требует известной осторожности, так как он пылит при распределении по полю, и пыль эта вызывает раздражение слизистых оболочек, а при вдыхании в больших количествах — даже заболевания. На гектар кладут 225—270 кг циан-амида, который по своему удобрительному действию близок к сернокислому аммонiu. При хранении, под влиянием влажности, идет постепенное разложение циан-амида, связанное с образованием и улетучиванием аммиака; поэтому циан-амид, долго хранившийся в сырых помещениях, может обладать пониженным содержанием азота.

НОРВЕЖСКАЯ СЕЛИТРА.

К синтетическим азотистым удобрениям принадлежит также норвежская — кальциевая — селитра. Приготовление норвежской селитры основано на окислении азота воздуха в азотную кислоту; если воздух вдвухать в пламя вольтовой дуги, то при высокой температуре этого пламени (3000°) происходит окисление азота за счет кислорода воздуха; получающиеся при этом окислы азота в особых окислительных и поглотительных башнях вступают в дальнейшее взаимодействие с кислородом воздуха и водой и дают азотную кислоту:



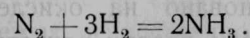
Азотную кислоту заставляют реагировать с известняком CaCO_3 , в результате чего получается раствор азотнокислого кальция. Раствор упаривают до кристаллизации, а затем помещают в бочки, в которых селитра и поступает в продажу. Готовый продукт содержит 12—13% азота и по своему удобрительному действию приближается к чилийской селитре — при внесении в равных по содержанию азота количествах. Косвенное действие норвежской селитры на почву будет бо-

лее благоприятным, чем в случае натровой селитры, в силу благоприятного действия кальция на реакцию и физические свойства почвы. При употреблении норвежской селитры следует помнить, что она отличается гигроскопичностью и при хранении на воздухе притягивает влагу и расплывается.

Для приготовления норвежской „воздушной“ селитры требуются большие количества электрической энергии, почему это производство, возможное только при наличии избытков дешевой электрической энергии, и привилось в Норвегии, богатой „белым углем“ — водопадами. В настоящее время, с разработкой новых, более экономных, способов связывания азота воздуха, норвежская селитра утрачивает свое значение, и новых заводов, работающих по этому способу, больше не строят. Получение циан-амида кальция и синтетического аммиака оказалось более выгодным, требующим меньшего расхода энергии.

СИНТЕТИЧЕСКИЙ АММИАК.

Газообразный азот способен при повышенном давлении и температуре, в присутствии некоторых веществ, ускоряющих течение реакции (катализаторов), вступать в соединение с водородом и давать аммиак:



Реакция эта, детально изученная проф. Габером в Германии, осуществляется тем более полно, чем выше давление реагирующих газов; поэтому применяют давление в 200, а в некоторых способах даже в 1000 атмосфер, при температуре около 600°. По расходу энергии и топлива этот способ связывания азота является самым экономичным, но необходимость сложной и дорогой аппаратуры, тщательной очистки реагирующих газов ¹⁾ заставляет иногда отдавать

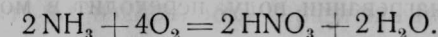
¹⁾ Одним из способов получения азота и водорода для этой реакции является вдувание смеси воздуха и водяных паров в раскаленный уголь. Кислород воздуха расходуется на горение и поддержание температуры угля и дает CO₂ и CO, а водяные пары реагируют с углем, давая водород и окись углерода: $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$; получается смесь газов, содержащая N₂, H₂, CO₂ и CO; окись углерода переводят в углекислый газ, заставляя ее реагировать с парами воды при пропускании через нагретые железные трубки: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Углекислоту удаляют, пользуясь ее хорошей растворимостью в воде при давлении в 30 атмосфер.

предпочтение циан-амидному способу связывания азота, как более простому.

АЗОТНОКИСЛЫЙ АММОНИЙ.

Аммиак, получаемый синтетически или при коксовом и газовом производствах, обычно улавливается серной кислотой, наиболее дешевой из всех кислот, и поступает в продажу в виде сернокислого аммония. Но серная кислота в сернокислом аммонии как удобрении является ненужной, а иногда и вредной составной частью; поэтому более целесообразным было бы связывание аммиака не серной кислотой, а кислотами, имеющими значение для питания растений, — фосфорной или азотной.

Азотная кислота легко может быть получена из аммиака при помощи процесса Нернста: при продувании смеси аммиака и воздуха через накаливаемую электрическим током платиновую сетку происходит окисление аммиака в азотную кислоту:



При нейтрализации аммиака азотной кислотой получается азотнокислый аммоний NH₄NO₃, содержащий до 35% азота и не оказывающий на растения побочных вредных влияний; вследствие более энергичного поглощения растениями аммиака, нежели азотной кислоты, азотнокислый аммоний обладает слабой физиологической кислотностью и может способствовать растворению труднорастворимых фосфатов почвы, но с меньшей энергией, нежели сернокислый аммоний.

Высокое содержание азота, облегчающее транспорт азотнокислого аммония на далекие расстояния (на гектар кладут всего 135—150 кг в качестве нормы, отвечающей полному навозному удобрению), и хорошее удобрительное действие делают желательным широкое распространение его как удобрения. Этому, однако, препятствует способность его в некоторых условиях разлагаться со взрывом ¹⁾.

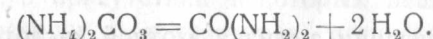
¹⁾ При взрыве получается большое количество газообразных продуктов ($\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}$), чем и объясняется большая сила взрыва. В Германии, на одном из заводов, имел место грандиозный взрыв, происшедший при попытке раздробить массу сплывшегося азотнокислого аммония динамитным патроном.

ОРГАНИЧЕСКИЕ АЗОТИСТЫЕ УДОБРЕНИЯ.

К органическим азотистым удобрениям относится синтетическая мочеви́на, а также материалы животного или растительного происхождения, являющиеся отбросами различного рода производств. Из материалов животного происхождения наиболее часто употребляются кровяная мука, рыбное гуано, роговые стружки и пр., а из растительных материалов — жмыхи.

Синтетическая мочеви́на.

Появившаяся в последние годы в продаже в Зап. Европе синтетическая мочеви́на содержит 46% азота и является наиболее концентрированным из всех азотистых удобрений. Она получается из аммиака при нагревании последнего под давлением с избытком угольной кислоты; аммиак с угольной кислотой соединяется, образуя углекислый аммоний, который, отщепляя при нагревании воду, переходит в мочеви́ну:



В почве мочеви́на быстро разлагается, давая аммиак и не оказывая на почву никаких побочных влияний. Мочеви́на не гигроскопична, не взрывает и в этом смысле имеет преимущества перед азотнокислым аммонием.

Отбросы, богатые азотом.

Кровяная мука является одним из главнейших отбросов, доставляемых бойнями больших городов. В Москве до войны бойни давали до 7500 тонн сырой крови в год; выход сухой крови, содержащей около 12% азота и 0,5—1,0% P_2O_5 , составляет $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ от веса сырой. Иногда для целей удобрения используется и мясо или даже целые туши животных, если мясо их не может быть употреблено в пищу; получающаяся при этом мясокостная мука бывает более богата фосфорной кислотой.

В качестве удобрения употребляются также роговые стружки, получающиеся как отбросы при приготовлении изделий из рога — гребней, пуговиц и пр. Чистый рог содер-

жит до 18% азота, но роговые отбросы сильно загрязняются землей, костями, вследствие чего содержание азота понижается до 12%.

Шерстяная пыль и кожаная мука, получающиеся при измельчении обрезков кожи и содержащие 7—8% азота, также используются для целей удобрения.

Из этих материалов наиболее легко разлагается и отдает свой азот растениям кровяная мука; по действию она приближается к растворимым азотистым удобрениям — сернокислому аммонiu и селитре. Значительно медленнее разлагаются роговые стружки и шерстяная мука, отдающие в первый год по внесении в почву около 30% содержащегося в них азота и приближающиеся в этом отношении к навозу. Труднее всего подвергается разложению кожаная мука. Иногда роговые стружки, а также шерстяная и кожаная мука подвергаются обработке паром при повышенном давлении, нагреванию с щелочами, поджариванию и иным воздействиям, имеющим целью повысить их склонность к разложению; после такого рода обработки эти материалы по своему удобрительному действию могут приближаться к кровяной муке.

Рыбное гуано¹⁾ представляет собой высушенные и измельченные остатки рыб, накапливающиеся в качестве отброса на рыбных промыслах; та часть улова, которая не может быть послена, также идет на переработку в рыбное гуано.

Производство рыбного гуано развито в Норвегии, куда, между прочим, идут также рыбные отбросы с Мурманских промыслов. Гуано содержит 10—11% азота и 7—8% P_2O_5 в относительно хорошо доступной форме.

Жмыхи употребляются на удобрение в том случае, если они не могут быть использованы в качестве корма; в частности клещевинный жмых, содержащий ядовитые вещества, обычно употребляется как удобрение. Содержание азота

¹⁾ Под названием гуано в продажу поступало удобрение, представлявшее собой отложения извержений морских птиц, скопившиеся в течение тысячелетий на тихоокеанском побережье Южн. Америки (Перу), в местностях с малым количеством осадков. Гуано содержит 8—15% азота и 10—20% P_2O_5 . В настоящее время залежи гуано уже исчерпаны.

К гуано по составу и действию приближается помет домашних птиц, содержащий в сухом веществе 5—6% азота и 7—14% P_2O_5 и представляющий собой сильнодействующее удобрительное средство.

в жмыхах составляет 5—7%, азот этот легко переходит — при разложении жмыхов в почве — в минеральные формы.

Махорочная пыль, получаемая в больших количествах в качестве отброса на махорочных фабриках, содержит до 2,5% азота и также может быть использована в качестве удобрения.

Представление об использовании растениями азота жмыхов и махорочной пыли дают следующие результаты вегетационных опытов:

	Без азота	Селитра	Клещевин- ный жмых	Махорочная пыль
Урожай на подзоле . . .	3,3	17,3	14,4	14,9
„ „ суглинке . . .	15,7	32,0	23,1	28,5

ГЛАВА VI.

ФОСФОРНОКИСЛЫЕ УДОБРЕНИЯ.

Источниками фосфорной кислоты для целей удобрения служат: 1) ископаемые фосфаты (фосфориты), 2) кости и 3) отбросы металлургической промышленности (томасов шлак). Важнейшими из этих материалов являются *фосфориты*, представляющие собою минерал, богатый фосфорнокислой известью, — $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Образование залежей фосфоритов связано с органической жизнью. Обычно фосфорная кислота не встречается в природе в больших скоплениях, животные же организмы накапливают фосфорную кислоту в костях и белковых веществах своего тела. При массовом отмирании организмов могут получаться скопления больших количеств фосфорнокислой извести. Подобные скопления происходили не только в минувшие геологические эпохи, но образуются и в настоящее время; напр. при встрече теплого и холодного морских течений резкое изменение температуры воды вызывает гибель многих организмов, которые, скопляясь на дне океана, дают начало образованию залежей фосфатов.

Мировая добыча фосфоритов в настоящее время составляет около 7 миллионов тонн в год, причем главная роль в деле снабжения фосфатами принадлежит Северной Африке (Тунис, Алжир, Марокко), дающей более 3 милл., и С. Ш. Америки, также добывающей около 3 милл. тонн. В СССР размеры добычи ничтожны — всего только 19 500 тонн в 1923 г. (в 1913 г. — 25 000).

Залежи фосфоритов бывают очень разнообразны по качеству, причем достоинство их определяются 1) качеством фосфоритной руды, т.е. богатством ее P_2O_5 и 2) продуктивностью месторождения. Обычно фосфориты залегают не сплошным слоем, а в виде желваков среди пустой породы; поэтому для характеристики продуктивности месторождения указывают весовое количество освобожденных от пустой породы фосфоритов, приходящееся на единицу площади.

СССР очень богат фосфоритными залежами, но эти залежи в большей части среднего и ниже среднего достоинства¹⁾. Общий запас фосфоритов выражается в 5,5 миллиардов тонн, причем по качеству руды это количество распределяется так:

I. Фосфориты высокого достоинства	(выше 24% P_2O_5)	 2,5%
II. „ среднего „	(18—24 „ P_2O_5)	 30,6 „
III. „ ниже среднего достоинства	(12—18 „ P_2O_5)	 66,9 „

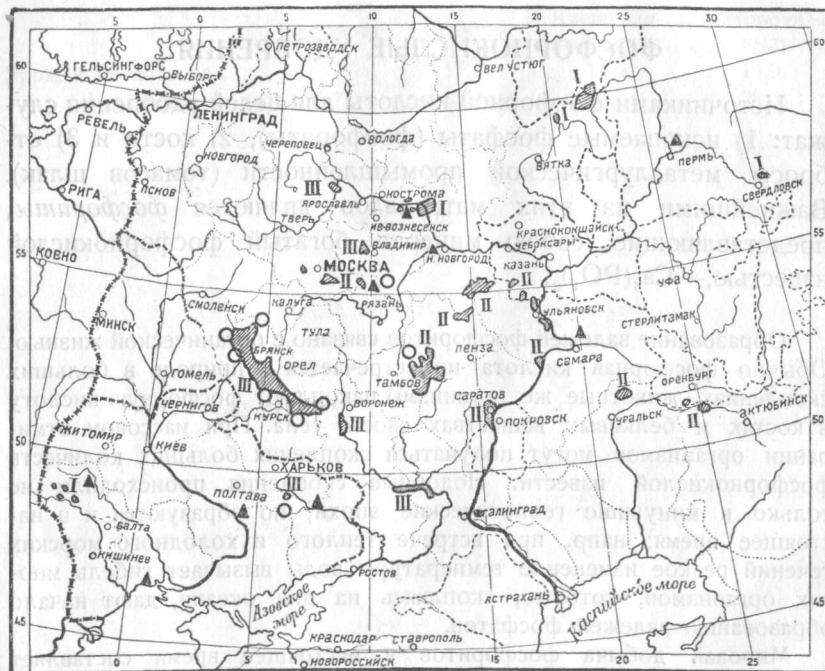


Рис. 16. Карта важнейших фосфоритных залежей. Римскими цифрами обозначено достоинство фосфоритов.

На прилагаемой схематической карте изображено расположение важнейших фосфоритных залежей. (Ср. карту проф. Я. В. Самойлова в сборнике „Фосфориты“ и т. д. и карту проф. В. В. Геммерлинга в вып. 34 трудов Н.И.У.) (рис. 16).

¹⁾ В обследовании наших фосфоритных залежей особенно много было сделано проф. Т. С.-Х. А. Я. В. Самойловым и его сотрудниками. В настоящее время работа в этом направлении продолжается геологическим отделом Научного института по удобрениям.

Фосфориты употребляются на удобрение непосредственно или же подвергаются химической переработке с целью получения продукта, богатого растворимыми соединениями фосфорной кислоты — суперфосфата. Не всякий фосфорит может с успехом перерабатываться на суперфосфат — для этой цели идут лишь высокопроцентные фосфориты, не содержащие к тому же значительных количеств нежелательных примесей, как железо и алюминий.

Верхне-камское месторождение (Омутнинский уезд Вятской губ.). Произведенные до сего времени разведки обнаружили на площади в 16 км² запасы не менее 65 миллионов тонн при продуктивности в 360 кг на кв. метр и содержании P_2O_5 в механически отмытой от пустой породы руде в 26—27%. Слой фосфорита залегает недалеко от поверхности, что, в связи с мягкостью прикрывающих горных пород, позволяет вести добычу открытыми работами с помощью паровых лопат (экскаваторов). Малая населенность местности и плохие пути сообщения являются пока препятствием к широкому использованию этого месторождения, но уже и сейчас верхне-камским фосфоритом снабжается пермский суперфосфатный завод. В будущем несомненно этот район приобретет всероссийское значение, а может быть даст часть руды и для вывоза за границу.

Кинешемский район расположен по обоим берегам Волги на протяжении 35 км (10 км выше и 25 — ниже города Кинешмы). Запасы этого района — около 850 тысяч тонн фосфорита с содержанием 24—25% P_2O_5 , при продуктивности от 110 до 360 кг. Разработка в этом районе продвинулась дальше, чем в других, но глубокое залегание фосфорита, вынуждающее вести добычу подземными работами, и трудность освобождения руды от плотной пустой породы удорожают продукт и ограничивают значение этого района.

Подмосковный район, обследованный в самое последнее время, занимает довольно обширную площадь в виде отдельных островов. Наибольшее значение имеет Егорьевское месторождение, с общим запасом в 1,7 миллионов тонн, при продуктивности от 150 до 300 кг. Содержание P_2O_5 в фосфорите в разных слоях колеблется от 23—25%. Фосфорит залегает близко к поверхности, что допускает возможность разработки открытым способом с применением экскаваторов.

Ведущиеся в этом районе разработки, при увеличении добычи, смогут дать дешевую фосфоритную муку и суперфосфат не только для центральной области, но и для всей страны.

Район „курского саморода“ в виде широкой ленты захватывает Смоленскую, Калужскую, Орловскую, Курскую и Воронежскую губ. Фосфоритовая залежь имеет вид желваков или крепких сплошных плит песчаника, цементированного фосфорнокислой известью. В соответствии с этим содержание P_2O_5 составляет около 15%. Продуктивность фосфоритного слоя — около 400 кг: низкий процент фосфорной кислоты делает фосфорит этого района негодным для изготовления суперфосфата, его использование возможно только в качестве фосфоритной муки для непосредственного употребления. При развитии кустарной добычи и размол „курский самород“ может сыграть большую роль в снабжении фосфоритной мукой своего района.

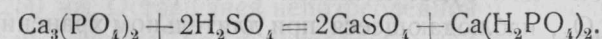
Из других крупных месторождений следует отметить саратовские залежи по берегу Волги ниже Саратова, еще недостаточно обследованные, но могущие приобрести большое значение (материал содержит около 20% P_2O_5 , но хорошо перерабатывается на суперфосфат), затем залежи в Подольской губернии с исключительно богатой рудой — до 36% P_2O_5 , но в силу неблагоприятных условий залегания имеющие только местное значение, и Уральское месторождение, расположенное к северу от Свердловска, близ с. Липовского. Липовский фосфорит содержит 32—36% P_2O_5 , но запасы его невелики, что, вместе с неблагоприятными условиями залегания, понижает значение этого месторождения.

Добытый из залежей фосфорит, независимо от того, пойдет ли он непосредственно на удобрение или будет переработан на суперфосфат, должен быть измолот в муку. Перед измельчением материал высушивается (иногда при нагревании огнем) и дробится или вручную или с помощью механических дробилок. В кустарном производстве размол фосфорита производится на обычных мельницах, производящих помол зерна и в свободное время заготавливающих фосфоритную муку из фосфоритов местной добычи, как это имеет место в Смоленской губернии и других местах в районе „курского саморода“. За помол фосфорита часто берут

рожью—2,5—5 кг за 100 кг фосфоритной муки (или 10 кг при своем фосфорите). Производительность таких мельниц составляет около 1 тонны в час, при расходе энергии в 10—12 лошадиных сил. Но обычные мелкие песчаниковые жернова быстро снашиваются, что отзывается на производительности мельниц и качестве помола, поэтому снабжение мельниц кварцевыми жерновами могло бы значительно улучшить и удешевить их работу¹⁾. На заводах помол ведется с помощью мельниц Кента (см. рис. 17) производительностью около 3 тонн в час, при затрате 25 лошадиных сил. По выходе из мельницы материал поступает на сита; не прошедшие сквозь сито части снова идут в мельницу.

СУПЕРФОСФАТ.

Приготовление суперфосфата имеет целью перевод фосфорной кислоты фосфорита в легкорастворимую, хорошо доступную растениям форму, что достигается обработкой фосфорита сильными минеральными кислотами, обычно серной. Серная кислота, отнимая кальций от трехкальциевого фосфата, образует гипс и растворимый однокальциевый фосфат согласно уравнению:



Так как и однокальциевый фосфат и гипс кристаллизуются с водой, то берут серную кислоту с таким содержанием воды, чтобы ее хватило на образование $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$. При недостатке воды получается неоднородная, плохо разложившаяся и плотно-твердеющая масса.

¹⁾ См. статью Э. В. Брицке в сборнике „Фосфориты как непосредственное удобрение“. Л. 1924.

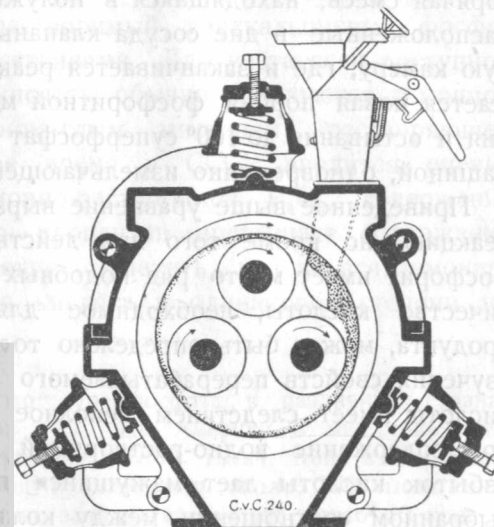


Рис. 17. Фосфоритная мельница Кента.

На 1 кг фосфоритной муки берется около 1 кг серной кислоты, которая, образуя гипс, вся остается в конечном продукте — суперфосфате. Поэтому *суперфосфат содержит в процентном отношении вдвое меньше фосфорной кислоты, чем ее было в фосфорите*.

Смешение фосфорита с кислотой производится в особых сосудах (котел Лоренца), снабженных механическими мешалками. После энергичного перемешивания в течение 1 минуты горячая смесь, находящаяся в полужидком состоянии, через расположенные в дне сосуда клапаны выбрасывается в особую камеру, где и заканчивается реакция, а в прибор загружается новая порция фосфоритной муки. После затвердевания и остывания до 100° суперфосфат выгружается из камеры машиной, одновременно измельчающей продукт.

Приведенное выше уравнение выражает только основную реакцию, но кроме того при действии серной кислоты на фосфорит имеет место ряд подобных реакций, и точное количество кислоты, необходимое для получения хорошего продукта, может быть определено только после тщательного изучения свойств перерабатываемого фосфорита. Недостаток кислоты имеет следствием неполное разложение и пониженное содержание водно-растворимой P_2O_5 в суперфосфате; избыток кислоты дает мажущийся продукт. При правильно выбранном соотношении между количествами фосфорита и кислоты вся фосфорная кислота в суперфосфате должна находиться в форме однокальциевого фосфата $Ca(H_2PO_4)_2$; но однокальциевый фосфат легко распадается на фосфорную кислоту и двухкальциевый фосфат, нерастворимый в воде:



следствием чего будет понижение содержания водно-растворимой P_2O_5 , наблюдающееся при длительном хранении суперфосфата, при одновременном возрастании количеств свободной фосфорной кислоты.

Фосфориты, содержащие большое количество полуторных окислов — железа и алюминия, — не годятся для приготовления суперфосфата, потому что образующиеся при разложении кислотой серноокислые соли железа и алюминия — $Fe_2(SO_4)_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ — в дальнейшем могут реагировать с фосфатом кальция, давая плохо усвояемые фосфаты железа и алюминия:

$FePO_4$ и $AlPO_4$. Поэтому на суперфосфат перерабатываются только фосфориты, содержащие не свыше 3—4% Fe_2O_3 .

Образование двухкальциевого фосфата и фосфорнокислого железа, связанное с понижением процента водно-растворимой P_2O_5 в суперфосфате, носит название процесса *ретроградации*.

Обычно суперфосфат оценивают по количеству водно-растворимой P_2O_5 , содержание которой колеблется в пределах 12—14%, но этот способ оценки не вполне правилен, потому что и плохо растворимый двухкальциевый фосфат хорошо усваивается растениями. Для учета всей доступной растениям фосфорной кислоты обычно пользуются лимонной кислотой (или лимоннокислым аммонием), растворяющей $CaHPO_4$. В настоящее время в СССР вводится оценка суперфосфата по лимонно-растворимой P_2O_5 , содержание которой на несколько процентов превышает содержание водно-растворимой. Следует отметить, что не вся лимонно-растворимая фосфорная кислота в одинаковой степени доступна для растений.

Ежегодное производство суперфосфата в различных странах перед войной составляло: в С. Ш. Америки 3 миллиона тонн, 1950 тысяч тонн во Франции, 1800 тысяч тонн в Германии; в СССР в настоящее время производится около 100 тысяч тонн, причем продажная цена (на заводе) составляет около 60 коп. за 16 кг суперфосфата.

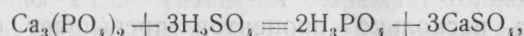
Удобрительное действие суперфосфата очень высоко вследствие полной доступности для растений содержащейся в нем фосфорной кислоты. В качестве обычной нормы принято вносить количество суперфосфата, соответствующее 30 кг водно-растворимой P_2O_5 на гектар, т.-е. в случае 12% продукта — 250 кг. Оставшаяся непотребленной первой культурой фосфорная кислота не вымывается из почвы и оказывает последствие на следующие растения; размеры этого последствия несколько уменьшаются постепенно идущей в почве ретроградацией фосфорной кислоты.

Косвенное действие суперфосфата может быть благоприятным на не слишком кислых почвах, благодаря гипсу, содержащемуся в суперфосфате в количестве около 50%, и вытекающему отсюда обогащению почвы кальцием. На сильно

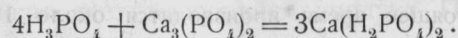
ненасыщенных почвах косвенное действие может быть отрицательным в силу кислой реакции, которую сообщает почвенному раствору однокальциевый фосфат.

Низкопроцентные фосфориты, содержащие менее 24% P_2O_5 , считаются непригодными для приготовления обычного суперфосфата, так как получающийся из них продукт слишком беден фосфорной кислотой, что является нежелательным при перевозке на дальние расстояния: перевозка ненужного балласта (гипса, песка и пр.) ложится накладным расходом на стоимость P_2O_5 суперфосфата. Но с помощью более сложных приемов и низкопроцентные фосфориты могут быть переработаны в продукты, содержащие P_2O_5 в доступной для растений форме. К таким продуктам относятся двойной суперфосфат и преципитат.

Для приготовления двойного суперфосфата фосфорит обрабатывают серной кислотой, прибавляемой в количестве, необходимом для получения свободной фосфорной кислоты, по уравнению:

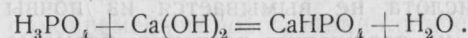


т.е. берется не две, а 3 молекулы серной кислоты на каждую молекулу трехкальциевого фосфата; серная кислота берется разведенная — 20—25% H_2SO_4 . По разложении фосфорита осадок гипса и нерастворенных кислотой примесей отфильтровывается и промывается. Полученный раствор фосфорной кислоты, после сгущения выпариванием, употребляется для разложения новой порции фосфорита:



Таким образом получается высокопроцентный продукт, не содержащий в виде балласта гипса. Недостатком этого способа является необходимость сгущать раствор фосфорной кислоты выпариванием, связанным с расходами на топливо.

Для получения преципитата (осажденного фосфата) точно так же, как и при производстве двойного суперфосфата, готовят раствор фосфорной кислоты, разлагая фосфорит серной (или соляной) кислотой, и из раствора осаждают фосфорную кислоту в виде двухкальциевого фосфата прибавлением едкой извести:



Осадок отделяется от жидкости и осторожно высушивается. Преципитатное производство в настоящее время по большей части бывает связано с переработкой костей (при получении желатины), но представляет интерес и для переработки низкопроцентных фосфоритов.

Кроме того существуют способы превращения фосфоритов в более растворимые фосфаты путем сплавления со щелочами или с золой.

Большой интерес представляет разработанный в последнее время проф. Э. В. Бричке способ получения чистой фосфорной кислоты из фосфоритов путем возгонки, дающей возможность иметь дешевую фосфорную кислоту, которую можно использовать для получения фосфорнокаалиевой и аммонийной солей.

ТОМАСОВ ШЛАК.

Томасов шлак получается в качестве отброса при переработке чугуна, богатого фосфором, на железо и сталь. Так как присутствие фосфора не позволяет получать железо и сталь надлежащего качества при работе обычными способами (бессемерование), то, по предложению Томаса, в реторту (конвертер), в которой плавится чугун, прибавляется известь, связывающая фосфорную кислоту, получающуюся при окислении бывшего в чугуне фосфора. Фосфорнокислая известь плавится и вместе с кремнекислой известью и другими примесями дает шлак, по охлаждении образующий черную кристаллическую пористую массу. Содержание фосфорной кислоты в шлаке обычно составляет около 16% (с колебанием от 8 до 24%). Фосфорная кислота в шлаке находится в форме богатого известью, малоустойчивого соединения $Ca_4P_2O_9$ (тетракальциевый фосфат), в почве распадающегося с отщеплением части кальция и образованием трехкальциевого (а может быть и двухкальциевого) фосфата, в свежеполученном состоянии доступного для растений. Точно так же растворимость фосфорной кислоты томасового шлака в лимонной кислоте (или лимоннокислом аммиаке) довольно велика.

Доступность P_2O_5 томасова шлака растениям приближается к доступности P_2O_5 суперфосфата и преципитата; на насыщенных почвах — вследствие более медленного перехода фосфорной кислоты в растворимые формы — действие шлака несколько уступает действию суперфосфата, в связи с чем рекомендуется класть шлак в количестве в $1\frac{1}{2}$ раза больше, по расчету на P_2O_5 (45 кг P_2O_5 на гектар).

Напротив, на кислых и ненасыщенных почвах томасов шлак — вследствие основного характера и богатства известью — будет превосходить суперфосфат. Особенно рекомендуется поэтому применение шлака на песчаных и торфянистых почвах; охотно его употребляют и для поверхностного

удобрения лугов. Шлак на рынке расценивается дешевле суперфосфата (оценка по проценту лимонно-растворимой P_2O_5) и потому с успехом может заменять суперфосфат даже на черноземных почвах. В довоенное время применение шлака было распространено в прибалтийских губерниях, покупавших его за границей. Русский же шлак южных заводов (Керчь, Таганрог) не всегда находил полный сбыт и частью вывозился морем за границу. Производящееся в настоящее время восстановление Керченского завода, работающего на богатой фосфором руде, снова вызовет появление на нашем рынке томасова шлака.

КОСТЯНАЯ МУКА.

Кость состоит из органических и минеральных веществ и содержит большие количества трехкальциевого фосфата. Следующие цифры дают понятие о среднем составе костей:

$Ca_3(PO_4)_2$	56 — 62%
$Mg_3(PO_4)_2$	1 — 2 „
$CaCO_3$	6 — 7 „
CaF_2	2 „
Органические вещества (жир и белки)	26 — 30 „

Белковые вещества кости (оссеин), при выварке дающие желатину и клей, содержат до 18% азота, всего же в сырой кости содержится 4—5% N. Сырая кость с трудом поддается измельчению и обладает невысоким удобрительным действием, так как очень медленно разлагается в почве. Одним из способов измельчения является обжигание костей с целью получения *костяной золы*. Костяная зола богата P_2O_5 , но усвояемость для растений этой фосфорной кислоты невысока. При более совершенных способах переработки из костей предварительно удаляют жир обработкой бензином или варкой кости в котлах. Получаемая после такой обработки обезжиренная или пареная костяная мука уже значительно легче разлагается в почве и вследствие содержания 3—4% азота является отчасти также и азотистым удобрением.

При обработке костей водой под давлением удается извлечь все клеевые (белковые) вещества; получаемая при этом обесклеенная кость уже почти лишена азота и потому часто ниже расценивается; содержание азотистых веществ в кости считается желательным еще и потому, что при своем разложе-

нии в почве они способствуют растворению фосфорной кислоты кости. Иногда предварительно обезжиренные кости подвергаются и химической переработке, напр. на суперфосфат, подобно фосфоритам, с помощью обработки серной кислотой. При производстве желатины кость обрабатывают соляной кислотой, которая извлекает минеральные составные части, а остающиеся неизвлеченными белковые вещества (оссеин) при нагревании с водой дают желатину. Из солянокислой вытяжки осаждают фосфорную кислоту и получают преципитат (см. выше; стр. 126).

Измельчение костей представляет значительные трудности; из кустарных способов переработки кости заслуживает внимание обработка щелочами, напр. едкой известью и золой. Щелочи частично разрушают органические вещества кости, отчего кость утрачивает прочность, превращаясь в рыхлую массу.

Содержание фосфорной кислоты при различной обработке костей меняется таким образом:

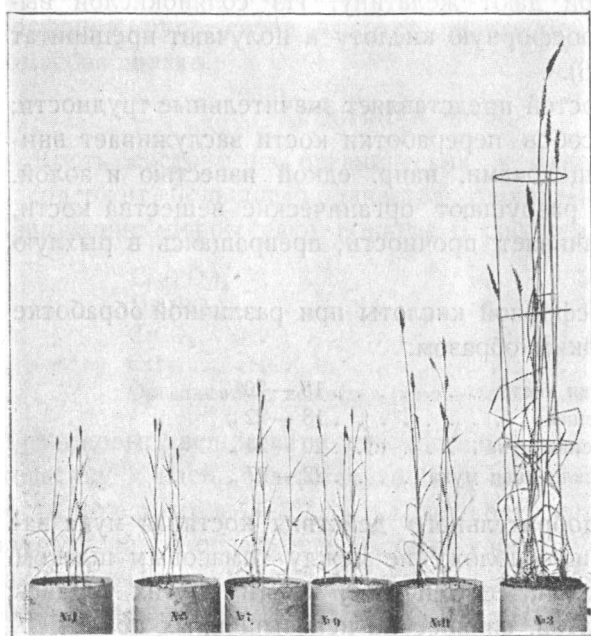
Сырая кость	15 — 20%
Вареная	18 — 22 „
Пареная мука	20 — 24 „
Обесклеенная мука	22 — 27 „

По размерам удобрительного действия костяная мука занимает промежуточное положение между томасовым шлаком и фосфоритной мукой; ее действие, как и других трудно-растворимых фосфатов, сильнее на ненасыщенных почвах.

ФОСФОРИТНАЯ МУКА.

Высокая стоимость суперфосфата и других удобрений, содержащих фосфорную кислоту в хорошо доступной для растений форме, не позволяет широко применять эти удобрения под хлеба, а так как остро ощущаемый недостаток фосфора на большей части пахотных земель СССР не дает возможности поднять урожай, то становится понятным интерес к вопросам, связанным с использованием наиболее дешевых из фосфорнокислых удобрений — фосфоритов, содержащих P_2O_5 в трудно доступной для большинства культурных растений форме.

Фосфорит, будучи измолот в муку, оказывается способным, хотя и в совершенно ничтожной степени, растворяться в воде, содержащей угольную кислоту¹⁾ и имеющей поэтому слабо-кислую реакцию. Однако это растворение идет так медленно, и сама растворимость трехкальциевого фосфата столь мала, что растения, получившие фосфорную кислоту

Рис. 18. Фосфорит как источник P_2O_5 

Без фосфора Возрастающие дозы фосфорита (от нормальной до 10-кратной по расчету на P_2O_5) Нормальная культура

и количества накапливающейся доступной растениям фосфорной кислоты стоят в связи со степенью ненасыщенности почвы и будут тем больше, чем выше ненасыщенность. Способность в той или иной мере разлагать фосфорит присуща

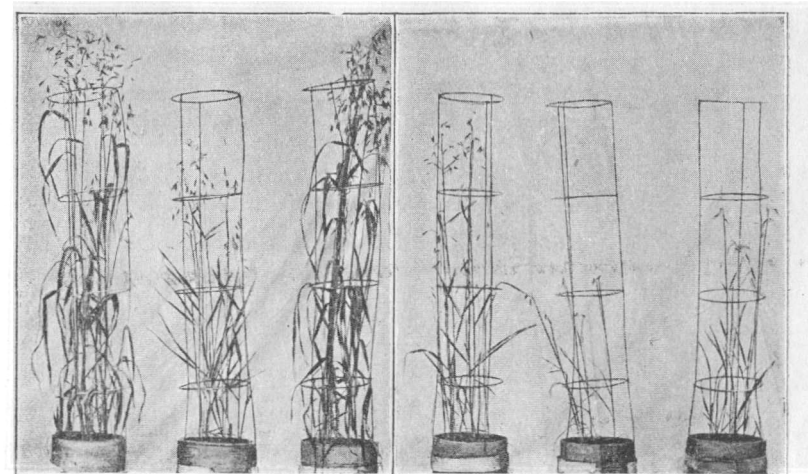
¹⁾ По всей вероятности, трехкальциевый фосфат, растворяясь, подвергается гидролизу: $Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + CaHPO_4$; в случае присутствия угольной кислоты кальций связывается в форме двууглекислой соли, а на ненасыщенных почвах вступает в поглощающий комплекс.

в виде фосфорита, испытывают острый фосфатный голод (см. рис. 18). Иначе складывается дело, если фосфорит внесен в ненасыщенную почву; ненасыщенный поглощающий комплекс отнимает кальций от фосфорита и переводит трехкальциевый фосфат в хорошо доступный растениям двухкальциевый фосфат. Скорость разложения фосфорита почвой

всем ненасыщенным почвам, до деградированных черноземов включительно (см. карту на стр. 88).

Разработанные в последнее время методы химического исследования, позволяющие судить о состоянии почвенного поглощающего комплекса, могут дать также представление и о способности почвы разлагать фосфорит; сопоставление данных химического исследования с результатами вегетационных опытов позволяет предполагать, что в создании

Рис. 19. Разложение фосфорита почвами с различной кислотностью



Почва II кв. лесн. дачи Почва Коптевск. болота
Нормальн. Норм. без P_2O_5 Норм. без P_2O_5 + фосфорит. Нормальн. Норм. без P_2O_5 Норм. без P_2O_5 + фосфорит.

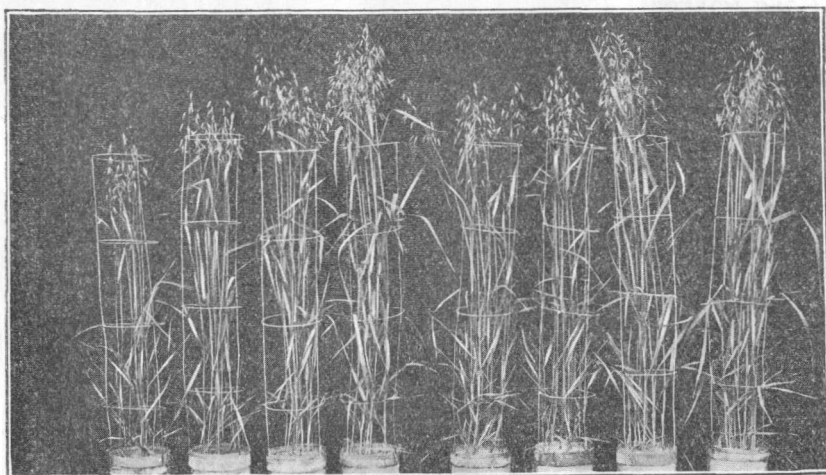
способности к разложению фосфорита участвует так наз. гидролитическая кислотность почвы, определяемая с помощью щелочных реактивов. (Подробнее о гидролитической кислотности см. на стр. 157.) Рис. 19 дает представление об энергии разложения фосфорита подзолистыми почвами с различной величиной гидролитической кислотности¹⁾.

¹⁾ Опыт Б. А. Голубева (см. XIII отчет лаборатории проф. Д. Н. Прянишникова. Из результатов вегетационных опытов, 1925). Состояние поглощающего комплекса этих почв характеризуется следующими данными:

	Ненасыщенность	Гидролит. кислотность
Почва II квартала	0,018	0,131
Почва Коптев. болота	0,032	0,109

Кроме влияния степени насыщенности почвы, на количество переходящей в доступную форму P_2O_5 фосфорита оказывает воздействие и ряд других причин. Так, скорость разложения фосфорита стоит в связи с величиной поверхности частиц фосфоритной муки, поэтому увеличение тонины помола увеличивает и использование муки растениями. Тот же результат достигается и увеличением доз фосфорита, ко-

Рис. 20. Действие различных доз фосфорита на подзолотистых почвах (опыт С. А. Бариновой).



KN
KN + фосфорит
(норм. количе-
ство)
KN + фосфорит
(3-е количество)
KN + суперфос.

Люберецкая (песчаная) почва

KN
KN + фосфорит
(норм. количе-
ство)
KN + фосфорит
(3-е количество)
KN + суперфос.

Крюковская (глинистая) почва

торое, помимо увеличения общей поверхности частиц, способствует еще и более равномерному смешению с почвой. Обычная величина частиц фосфоритной муки — около 0,2 мм (сита №№ 100—70) — не дает достаточной скорости разложения, более тонкий помол значительно удорожает продукт, поэтому фосфоритную муку приходится вносить в больших количествах, чем суперфосфат, по расчету на P_2O_5 . Обычно вносят в виде фосфоритной муки от 90 до 135 кг P_2O_5 на

гектар. По данным проф. А. Н. Лебеядцева, на черноземе Шатиловской станции (Тульской губ.) уже 135 кг P_2O_5 в виде фосфоритной муки дают ту же прибавку в урожае, что и 45 кг P_2O_5 в виде суперфосфата.

На рис. 20 можно видеть влияние на развитие растений различных доз фосфорита на подзолотистой почве¹⁾.

Рис. 21. Влияние азотнокислого аммония на доступность P_2O_5 фосфорита в песчаной культуре.



Нормальная
с $Ca(NO_3)_2$

Нормальная
с NH_4NO_3

Фосфорит +
 $Ca(NO_3)_2$

Фосфорит +
 NH_4NO_3

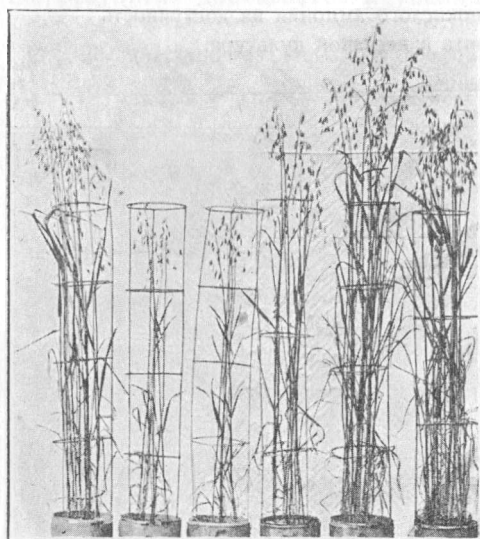
Без фос-
фора

С помощью некоторых приемов можно усилить действие фосфорита на почвах, которые сами по себе разлагают его

¹⁾ Этот опыт, также как и все вегетационные опыты, снимки с которых приводятся в этой книге, произведены в лаборатории Частного Земледелия и Станции по вопросам питания растений при Тимирязевской с.-х. Академии.

недостаточно энергично. Одним из таких приемов будет внесение совместно с фосфоритом *физиологически кислых удобрений*, в частности сернокислого аммония; растение, усиленно поглощая аммиак, оставляет в почве серную кислоту, способствующую разложению фосфорита. Подобно сернокислому аммонiu, но несколько слабее, действует и азотнокислый аммоний (см. рис. 21). О влиянии *серы* на доступность P_2O_5 фосфорита сказано ниже, на стр. 170.

Рис. 22. Влияние торфа на доступность растениям фосфорной кислоты фосфорита.



NPK
 NK
 NK + фосфорит
 NK + торф
 NK + торф, компостир. с фосфоритом
 NK + торф + фосфорит, не компостир.

В наших условиях, при дороговизне и ограничении распространении минеральных азотистых удобрений, широкое использование растворяющей способности аммиачных солей невозможно, и поэтому для нас большой интерес представляет способность *мохового торфа* энергично растворять фосфорит.

Опыты совместного внесения в почву фосфорита и торфа показали, что сильно насыщенный моховой торф значительно повышает доступность растениям фосфорной кислоты фосфорита. Так, применение в качестве фосфорнокислого удобрения компоста из торфа и фосфорита оказало при опытах в вегетационных сосудах ¹⁾ следующее влияние на урожай:

	Урожай в %/о
Почва + KN	100
Почва + KN + фосфорит	200
Почва + KN + фосфорит + торф	274

¹⁾ По данным З. В. Логвиновой.

Опыт был произведен с оподзоленной суглинистой почвой, которая сама по себе достаточно энергично разлагала фосфорит; на почвах с малой потенциальной кислотностью действие торфа, конечно, будет еще значительнее. Действие фосфорита, подвергнувшегося компостированию с торфом и не подвергнувшегося, в песчаных культурах изображено на рис. 22. Для приготовления компоста торф смешивается с фосфоритом, причем на одну часть фосфорита берут 25—30 частей торфа. Смесь смачивают водой и оставляют, после тщательного перемешивания, лежать некоторое время. Разложение фосфорита идет довольно быстро, и через 1 месяц удастся перевести до 30% P_2O_5 в доступную для растений форму. Более длительное компостирование уже не увеличивает количество доступной фосфорной кислоты. Столь быстро идущее разложение фосфорита позволяет достигать хороших результатов и без предварительного компостирования, а просто внесением в почву смеси торфа и фосфорита. Но длительное компостирование фосфорита с торфом если не сказывается на увеличении количеств доступной фосфорной кислоты, то имеет значение для перевода в минеральные формы азота торфа, и поэтому все же компосты дают лучший результат ¹⁾. Целесообразность компостирования возрастает при внесении фосфорита в почвы, богатые известью, так как известь препятствует разложению фосфорита, но не уменьшает доступности растениям двухкальциевого фосфата.

Другим способом улучшить использование фосфорита будет внесение его под растения с особо сильной усвояющей способностью корневой системы, напр. люпин, гречиху. Особенно уместен этот прием при культуре люпина на зеленое удобрение; при запахивании и разложении зеленой массы потребленная люпином фосфорная кислота освобождается в хорошо доступной и для других растений форме. Рисунки

¹⁾ Эффект от совместного внесения торфа и фосфорита в полевых условиях можно видеть из данных Вятской опытной станции:

	Прибавка в урожае ржи
Навоз 360 ц	106,2
Торф 600 ц	66,6
Торф и фосфорит (360 кг)	180,7

23 и 24 показывают отношение люпина и гречихи к фосфориту. Способность люпина усваивать фосфорную кислоту из труднорастворимых соединений зависит от кислых корневых выделений люпина, действующих на фосфаты растворяющим образом. В первые годы культуры люпин, находя достаточное количество фосфорной кислоты на таких почвах, где хлеба уже испытывают сильный фосфатный голод, может мало отзываться на удобрение фосфоритом, и только при повторной культуре люпина это удобрение окажет свое действие в полной мере.

Рис. 23. Отношение люпина к фосфориту.



Нормальн. Без P_2O_5 Фосфориты:
Казанск. Смоленск. Рязанск. Подольск.

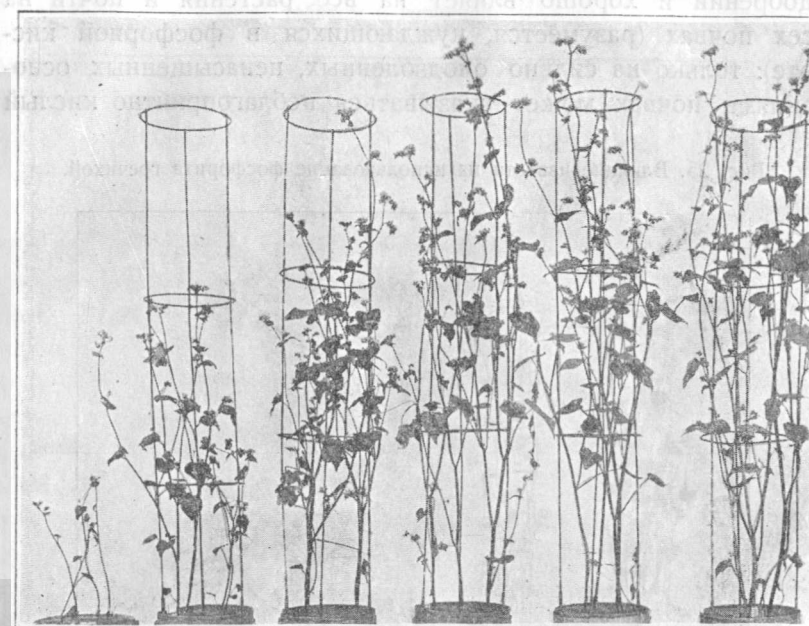
Содержание в почве больших количеств извести мешает проявлению растворяющей способности корней люпина или гречихи и подавляет развитие растений (рис. 25).

Наконец следует отметить еще один фактор, сильно влияющий на доступность растениям P_2O_5 фосфорита, — это природа самого фосфорита. Фосфориты, содержащие кристаллический трехкальциевый фосфат (апатит), хуже разлагаются почвой и труднее поддаются растворяющему действию корней люпина.

К таким фосфоритам относится очень богатый фосфорной кислотой подольский фосфорит. Очень хорошей доступностью для растений, даже для хлебов, отличается фосфорит Сенгилеевского месторождения Ульяновской губ., по своему дей-

ствию приближающийся к томасову шлаку. К сожалению, это месторождение еще недостаточно обследовано, так что о запасах этого столь ценного фосфорита судить трудно.

Рис. 24. Отношение гречихи к фосфориту.



Без P_2O_5 Возрастающие дозы фосфорита Нормальная культура

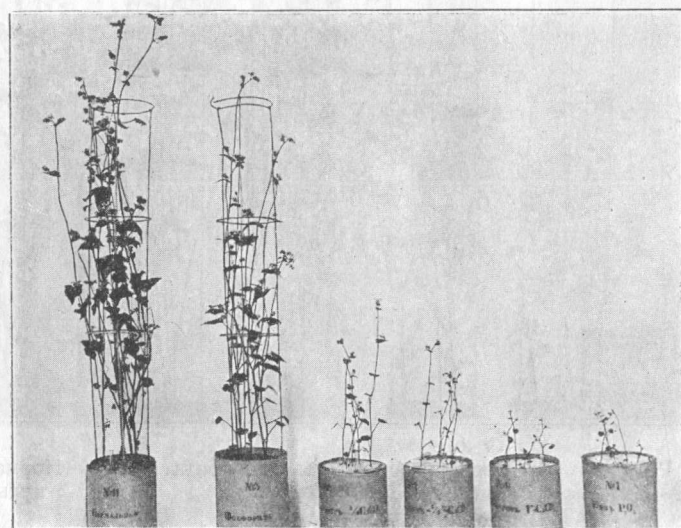
УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И УДОБРИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОСФОРНОКИСЛЫХ УДОБРЕНИЙ.

Фосфорноокислые удобрения, по растворимости и доступности растениям содержащейся в них фосфорной кислоты, могут быть расположены в такой последовательности: суперфосфат, содержащий почти исключительно растворимые фосфаты, затем преципитат, фосфаты золы, томасов шлак, костяная мука и, наконец, фосфоритная мука. По цене эти удобрения располагаются, примерно, в той же последовательности, именно 1 кг P_2O_5 в суперфосфате обходится в 25 коп., в томасовом шлаке — около 18 коп., в костяной муке — 12 коп. и в фосфорите — 6 коп. (по довоенным ценам). Ис-

пользование фосфорной кислоты из разных удобрений табаком и горчицей изображено на рис. 26 и 27.

Суперфосфат вносится в почву обычно в количествах, отвечающих 30—45 кг P_2O_5 на гектар; по действию он является наиболее универсальным из всех фосфорнокислых удобрений и хорошо влияет на все растения и почти на всех почвах (разумеется, нуждающихся в фосфорной кислоте): только на сильно оподзоленных, ненасыщенных основаниями почвах может сказываться неблагоприятно кислый

Рис. 25. Влияние извести на использование фосфорита гречихой.



Нормальн. Фосфорит Фосфорит + $CaCO_3$ Без P_2O_5
1/4% 1/2% 1%

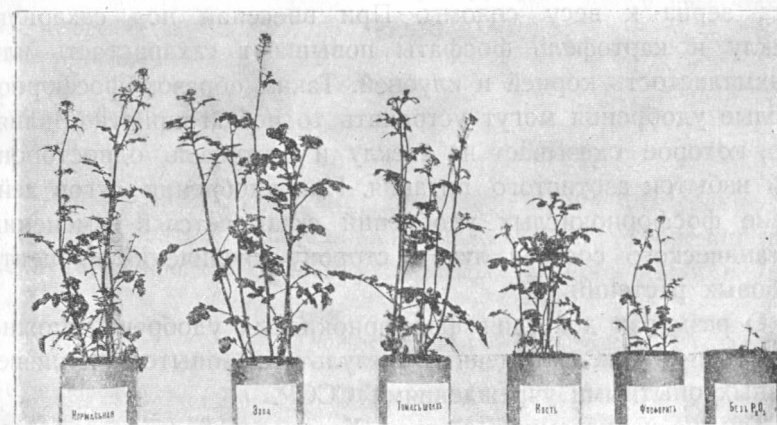
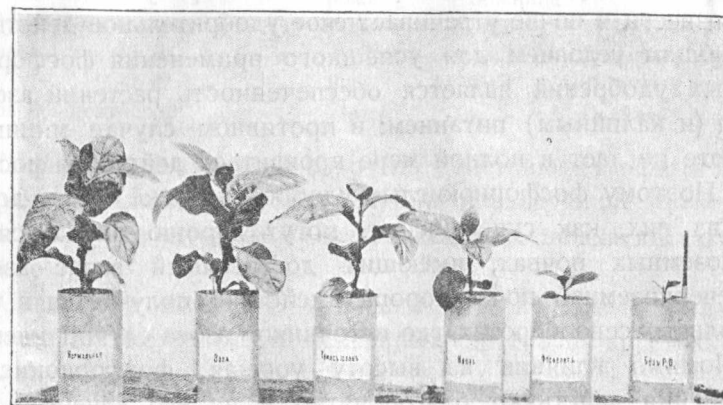
характер содержащегося в суперфосфате однокальциевого фосфата. Содержание извести в почве не препятствует хорошему действию суперфосфата.

Томасов шлак кладут в несколько больших количествах, именно 45—60 кг P_2O_5 на гектар. Хорошо действует на оподзоленных и торфянистых почвах; на этих почвах, при внесении в равных с суперфосфотом количествах, может превосходить последний по действию. Хорошо действует также и на насыщенных почвах, напр. на черноземах, но при условии внесения в полутонных, по сравнению с суперфос-

фатом, количествах. Рекомендуется для поверхностного удобрения лугов. Не боится избытков извести.

Костяная мука, по доступности содержащейся в ней фосфорной кислоты растениям, занимает промежуточное по-

Рис. 26 и 27. Использование различных фосфорнокислых удобрений табаком и горчицей.



Нормальная Зола Томасшл. Кость Фосфорит Без P_2O_5

ложение между томасовым шлаком и фосфоритом; на подзолистых почвах и деградированных черноземах приближается по действию к томасову шлаку. Повышенное содержание извести в почве сильно уменьшает доступность P_2O_5 кости для растений.

Фосфоритная мука действует только на ненасыщенных основаниями почвах, подзолах и деградированных черноземах, при условии внесения в значительно больших, по сравнению с суперфосфатом, количествах (90—135 кг P_2O_5 на гектар). При внесении в больших количествах оказывает длительное последствие, благоприятно влияет на свойства почвы благодаря содержанию извести. В присутствии избытков извести в почве утрачивает свое удобрительное действие.

Общим условием для успешного применения фосфорнокислых удобрений является обеспеченность растений азотистым (и калийным) питанием: в противном случае минимум в азоте не дает в полной мере проявиться действию фосфатов. Поэтому фосфорнокислые удобрения, даже более дорогие из них, как суперфосфат, могут хорошо окупаться на черноземных почвах, имеющих достаточный запас азота. В нечерноземной почве хорошее действие получается в травопольных севооборотах, где источником азота служит клевер.

Помимо влияния на высоту урожая, фосфорнокислые удобрения действуют благоприятно и на его качество. На хлебах это действие сказывается в повышении отношения веса зерна к весу соломы. При внесении под сахарную свеклу и картофель фосфаты повышают сахаристость или крахмалистость корней и клубней. Таким образом фосфорнокислые удобрения могут устранять то неблагоприятное влияние, которое оказывает на свеклу и картофель односторонний избыток азотистого питания. При удобрении лугов действие фосфорнокислых удобрений сказывается в изменении ботанического состава луга в сторону увеличения процента бобовых растений.

О размерах действия фосфорнокислых удобрений можно судить по нижеприведенным результатам опытов, произведенных опытными учреждениями СССР.

Так, на черноземных почвах Харьковской областной с.-х. опытной станции удобрение суперфосфатом озимой ржи по позднему пару дало следующие результаты (среднее за 10 лет):

	Урожай в центнерах на гектар
Без удобрения	11,5
Суперфосфат (30 кг P_2O_5 на гектар)	19,2
Навоз (180 центнеров на гектар)	20,1

Так как на черноземе навоз действует главным образом как фосфорнокислое удобрение, то суперфосфат может почти полностью заменить навоз.

Действие томасова шлака, по данным той же станции, выражалось такими цифрами¹⁾:

	Озимая рожь	Яровые ячмень + пшеница	Севооборот
Без удобрения	15,6	16,0	1) пар
Томасов шлак 45 кг	19,3	18,5	2) озимая рожь
" " 90 кг	20,2	19,8	3) яровая пшеница
Навоз 360 центнеров	21,0	23,5	4) ячмень

Шлак вполне заменяет навоз по действию на первый хлеб, но уступает навозу по влиянию на последующие культуры, хотя и в том и другом случае действие шлака достаточно сильно.

Сравнение действия суперфосфата и томасова шлака изучалось с помощью коллективных опытов на крестьянских землях в Пермской губ.²⁾.

	1-й хлеб озимая рожь	2-й хлеб овес	Общая прибавка по двум хлебам в процентах
Без удобрения	7,5	7,5	—
Томасов шлак 60 кг P_2O_5 на гектар	10,9	9,9	38,7
Суперфосфат 60 кг P_2O_5 на гектар	12,1	10,4	50,0

Более слабое действие томасова шлака по сравнению с суперфосфатом наблюдалось также и при удобрении клевера с тимофеевкой (на неудобряемых обычно землях):

	1-й год пользо- вания	2-й год пользо- вания	3-й год пользо- вания	Прибавка за 3 года в цент- нерах
Без удобрения	30,6	23,6	16,4	—
Томасов шлак 63 кг P_2O_5	41,8	34,0	21,6	26,8
Суперфосфат 52,5 кг P_2O_5	48,0	38,2	23,8	39,4

Действие томасова шлака и суперфосфата на черноземе изучалось сетью опытных полей О-ва сахарозаводчиков, при

¹⁾ См. Б. Н. Рождественский и Э. О. Заславский, Главнейшие выводы полевых опытов 1913—1923 гг. Харьков, 1924.

²⁾ См. В. Н. Варгин. Результаты работ опытных полей Уральской области. Свердловск, 1924.

чем оказалось, что томасов шлак оказывал значительно более слабое действие:

Г о д ы	Число опытов	Урожай кон-тролей	Суперфосфат		Томасов шлак	
			15 кг	30 кг	15 кг	30 кг
1902	8	208	+19%	+21%	+12%	+16%
1903	9	206	13 „	15 „	7,6 „	7,7 „
1904	7	160	29 „	35 „	14 „	20 „
1905	4	217	24 „	33 „	16 „	18 „

По условиям применения и действию фосфоритной муки мы еще не имеем достаточного числа систематических исследований. Большой интерес представляют опыты Энгельгардтовской станции (см. стр. 143), где было прослежено действие различных фосфатов в течение 10 лет после внесения ¹⁾.

В этом опыте обращает на себя внимание исключительно сильное последствие больших доз фосфорита и томасова шлака. Крупные прибавки от внесения фосфоритной муки наблюдались на Долгопрудном оп. поле Моск. губ. Научного Института по удобрениям. В 1925 г. при внесении фосфорита под рожь в количестве 45 кг P_2O_5 на гектар наблюдалось повышение урожая на 100% против неудобренных делек. Увеличение доз фосфорита до 90 кг по расчету на P_2O_5 давало прибавки свыше 170%.

Замечательно сильное действие суперфосфата на луговую растительность наблюдалось на Архангельском болотном опытном поле ²⁾, где по удобрении суперфосфатом получились укосы в 40,5 ц сена с гектара, вместо 10,5—12,0 ц на неудобренных делянках.

¹⁾ Таблицу заимствуем из брошюры А. П. Левицкого — Применение фосфоритной муки — очередной лозунг агрономической работы. Москва, 1925.

²⁾ См. И. Беневоленский. Архангельское болотное опытное поле. Итоги первых работ. Арх., 1923.

Годы после вне- сения удобрения	Культура	Число лет учета	Средний урожай контрольных де- лек	Прибавка в процентах от удобрения							
				Навозом 36 000 кг	Суперфосфатом		Томасшлаком		Фосфоритом		270 кг
					45 кг	135 кг	60 кг	180 кг	90 кг	270 кг	
1	Рожь	8	11,8	56	45	66	48	65	30	40	
2 и 3	Клевер 2 и 3 года	8	40,5	24	—	9	13	42	11	21	
4	Лен (волокно)	6	4,4	—	—	—	—	—	—	—	
5	Рожь	5	8,5	20	—	57	24	95	48	82	
6	Овес	5	15,3	14	—	—	4	17	13	20	
7	Пар	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8	Рожь	2	6,8	—	—	—	—	122	91	118	
9 и 10	Клевер за 2 года	2	55,5	4	—	—	—	36	24	75	

В заключение приведем сводную таблицу степеней действия фосфорита на различных опытных учреждениях СССР. (Таблицу заимствуем из статьи А. П. Красинского в сборнике „Фосфориты, как непосредственное удобрение“.)

Степень действия фосфорита	Название опытного учреждения	Почва	Местонахождение опытного учреждения	Район
В определенное действие	1. Шатиловская оп. станция.	Деградиров. чернозем	Тульская губ.	Северо-черноземный
	2. Моршанское оп. поле.	Деградиров. чернозем	Тамбовская „	„
	3. Богодуховская оп. станция.	Супесчан. чернозем	Орловская „	„
	4. Больше-Алешинское опытное поле.	Чернозем	Рязанская „	Центральный
Совершенное действие	5. Энгельгардтовская опытная станция.	Оподзоленный суглинок	Смоленская „	„
	6. Запольская оп. станция.	Супесь	Ленинградская губ.	Северный
Заметное действие	1. Сумская опытная станция.	Чернозем	Харьковск. губ.	Южно-черноземный
	2. Плотнянская оп. станция.	Суглинистый чернозем	Подольская „	Юго-западный
	3. Чистопольское опытное поле.	Чернозем	Казанская „	Восточный
	4. Клинское оп. поле.	Оподзоленный суглинок	Московская „	Центральный
Слабое действие	1. Харьковская опытная станция.	Суглинистый чернозем	Харьковск. губ.	Южно-черноземный
	2. Ивановская оп. станция.	Чернозем	„ „	„
Нет действия	1. Полтавская оп. станция.	Лесной суглинок	Полтавская губ.	Южно-черноземный
	2. Вятская опытная станция.	Глинистая	Вятская „	Северо-восточный

ГЛАВА VII.

КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ.

В качестве калийных удобрений употребляются: 1) растворимые калийные соли, добываемые из природных месторождений, 2) зола растений и 3) некоторые горные породы, содержащие калий в сравнительно доступной для растений форме.

До последнего времени главным источником калия для всего мира являются Стассфуртские соляные копи в Германии.

Стассфуртские отложения солей образовались в минувшие геологические эпохи в результате испарения морской воды в заливе, соединенном с морем лишь мелким проливом, который допускал пополнение залива морской водой, но делал невозможным обратный отток более концентрированных нижних слоев жидкости. По мере испарения концентрация солей становилась все больше и больше, пока, наконец, не достигла предела, при котором началось осаждение солей, сначала CaSO_4 , потом NaCl и под конец уже более растворимых и содержащихся в меньшем количестве в морской воде солей калия. При происшедших затем изменениях земной поверхности солевые отложения были прикрыты водонепроницаемыми глинистыми наносами, благодаря чему они сохранились невыщелоченными до наших дней. Калийные соли в Стассфурте отлагались не в чистом виде, а совместно с целым рядом других солей, как поваренная соль, соли магния и др. Смеси солей, получившиеся в результате совместной кристаллизации из морской воды, обладают известным постоянством состава и носят названия каинита, карналлита и полигаллита.

Из разнообразных солей, добываемых в Стассфурте, наибольшее значение имеет каинит ¹⁾, состоящий из KCl , MgSO_4 и NaCl , содержащий около 12% калия в пересчете на K_2O . По внешнему виду представляет собой кристаллическую сероватую или красноватую массу, по измельчении

¹⁾ Продажный каинит, кроме минерала каинита $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, содержит большую или меньшую примесь других солей.

имеющую склонность притягивать влагу из воздуха и вновь сплываться в сплошные куски. Карналлит, содержащий почти исключительно хлористые соли и всего 9% калия, обычно не употребляется как удобрение, а подвергается дальнейшей химической переработке. В меньших количествах добывается полигаллит, состоящий из сернокислых солей и содержащий 10—15% K_2O .

Кроме этих непосредственно добываемых из копей продуктов, в продажу поступают очищенные кристаллизацией продукты: такова, напр., часто употребляемая для целей удобрения „40% калийная соль“ и др. Такие подвергнувшиеся химической очистке высокопроцентные соли, конечно, значительно дороже каинита и карналлита, но зато способны выдерживать транспорт на далекое расстояние, и на известном расстоянии от места добычи единица калия в высокопроцентной соли будет обходиться уже дешевле, нежели в переработанных продуктах.

Залежи калийных солей имеются не только в Стассфурте, но и в других местах, напр. в Польше, во Франции (Эльзас).

Добыча калийных солей в разных странах (в тысячах тонн, считая на K_2O)

	1913 г.	1920 г.	1923 г.
Германия	1 110	924	886
Франция	58	199	249
Польша	—	—	29
С.-Америк. С. Ш.	—	44	18

Разведки последних лет, произведенные на средства геологического комитета, в районе Соликамска обнаружили крупные залежи калийных солей. По имеющимся пока данным можно предполагать площадь залегания калийных солей не менее 40 кв. км, с средним содержанием калия в 10%. Имеются пласты с содержанием от 37 до 50% K_2O . Глубина залегания — около 100 м. По самым осторожным подсчетам, запасы в соликамском месторождении составляют 400 миллионов тонн калийных солей, по качеству превосходящих стассфуртские ¹⁾. Это открытие, имеющее громадное значе-

¹⁾ Эти данные заимствованы из доклада инж. Н. А. Шадлуна в Научном институте по удобрениям.

ние для нашего сельского хозяйства, значительно повышает интерес к изучению свойств и удобрительного действия калийных солей.

Применение калийных солей на удобрение широко распространено в западных странах; так, в Германии в 1920 г. количество калийных солей, применяемых на удобрение, составляло 120 кг на гектар в среднем в год. В Европейской России в 1912 г. в среднем применялось лишь около 1,1 кг на гектар в год, причем большая часть ввозимых солей потреблялась в Польше и прибалтийских странах.

Малая распространенность калийных удобрений у нас объясняется, помимо общих причин, препятствующих применению минеральных удобрений, еще и тем, что наши поля в общем лучше обеспечены калием, чем фосфором и азотом. Эта обеспеченность зависит не только от большего богатства почв калием, но и от того, что поля обогащаются калием за счет лугов. Стеблевые части растений значительно богаче калием, чем зерна, и в 100 кг сена содержится 1,66 кг K_2O и всего только 0,4 кг P_2O_5 ; этот калий при скормливания сена скоту попадает в навоз и служит для удобрения полей, луга же оказываются сильно истощенными и нуждающимися в калийном удобрении.

Об отзывчивости луговых угодий на калийные удобрения можно судить по результатам следующих опытов (проф. Книрима):

1.		2.	
	Укосы сена на гектар		Укосы сена на гектар
Без удобрения	22 ц	Без удобрения	139 ц
Каинит	23 „	Каинит 2 ц	231 „
Суперфосфат	25 „	Каинит + томасшлак 3 ц	361 „
Суперфосфат + каинит	43,5 „	(В среднем за 3 года.)	

Кроме того, удобрение каинитом улучшает ботанический состав луговой растительности, сильно увеличивая процент бобовых растений. Вообще бобовые растения, и в частности клевер, отзывчивы на калийные удобрения. В опытах Энгельгардта (Смоленск. губ.) на каждый центнер каинита получался прирост в 7—8 ц клеверного сена, при внесении 2,25—3,0 ц соли на гектар. Благоприятные результаты получены и с зерновыми бобовыми, напр. с люпином.

Вообще острую нужду в калие растения испытывают на песчаных и торфянистых почвах; но если мы будем стремиться поднять урожай, обогащая поля фосфором и азотом, то даже на более богатых почвах калий сможет оказаться в положении минимального фактора, препятствующего полному проявлению действия фосфорнокислых и азотистых удобрений. Поэтому применение калийных удобрений должно иметь место под более ценные культуры, как сахарная свекла. Отзывчивы на калийные соли также прядильные растения — лен и конопля; из хлебов по калийному удобрению сеют ячмень (пивоваренный), а также рожь и овес; пшеница, как растение более богатых почв, редко нуждается в калийном удобрении.

При пользовании в качестве удобрения каинитом необходимо считаться с косвенными влияниями этой соли. Каинит, кроме нужного для целей удобрения KCl , содержит еще большое количество солей натрия. Натрий, вытесняя из поглощающего комплекса кальций и вступая на его место, ухудшает физические свойства почвы, способствуя заплыванию, образованию корки и пр. Затем, внесение нейтральных, легко растворимых, солей на ненасыщенных почвах вызывает увеличение кислотности почвенного раствора, могущей угнетать растения.

Можно думать, что KCl является физиологически кислой солью, так как хлор не принадлежит к числу необходимых для растения элементов питания. Но оказывается, что при слабокислой реакции раствора растения энергично поглощают корнями хлор, причем, если почвенный раствор сохраняет кислую реакцию, поглощение хлора может идти даже более энергично, чем поглощение калия. Поступление большего количества хлора сказывается на растениях запаздыванием развития, повышением количества белков и уменьшением содержания углеводов. В связи с этим стоят неблагоприятные результаты, получаемые при удобрениях большими количествами каинита сахарной свеклы и картофеля и заключающиеся в уменьшении сахаристости и крахмалистости корней или клубней. Наоборот, косвенные влияния хлористых солей будут иметь положительное значение тогда, когда ценность представляют стеблевые органы — при культуре кормовых и прядильных растений.

Опасность этих косвенных влияний будет значительно меньше при употреблении высокопроцентных калийных солей, вносимых на гектар в количестве лишь 60—100 кг или при одновременном внесении извести.

ЗОЛА.

Содержание калия в золе растений колеблется от 5 до 40%; кроме калия, находящегося в виде поташа K_2CO_3 , зола содержит значительные количества извести и фосфорную кислоту.

Состав золы различного происхождения

	Калия %	Извести %	P_2O_5 %
Зола лиственных деревьев	10,0	30,0	4,0
„ хвойных „	6,0	35,0	3,0
„ ржаной соломы	17—20	5,0	3,0
„ гречишной соломы	25,0	9,5	6,0
„ стеблей подсолнечника	15—40	7,0	4,0
„ древесная выщелоченная	1,5	28,5	3,0
„ торфа	0,8	45—90	0,1—1,5
„ каменного угля	0,2	3,5	0,2

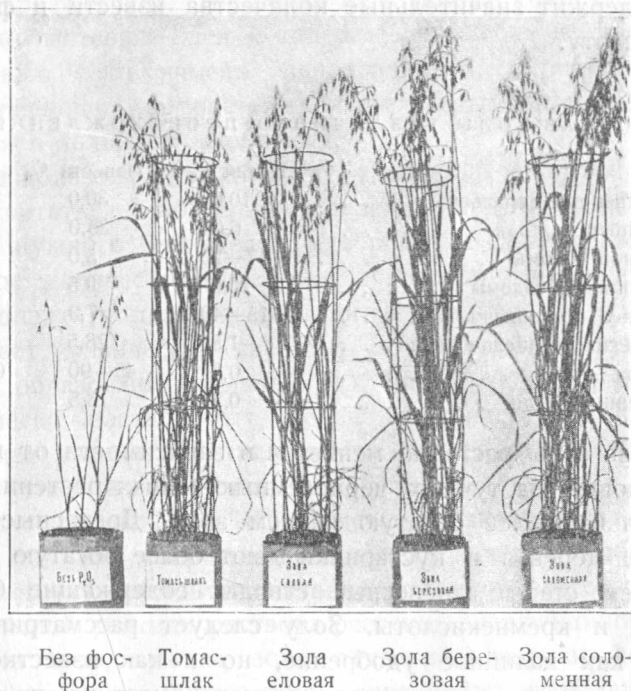
Состав золы растений меняется в зависимости от почвенных условий; на тучных черноземных почвах растения дают значительно более богатую калием золу. Древесные ветви, молодые деревья и кустарники дают более богатую калием золу, чем старые древесные стволы, содержащие больше кальция и кремнекислоты. Зола следует рассматривать не только как калийное удобрение, но и как известковое и фосфорнокислое, причем зола соломы будет по преимуществу калийным удобрением, в древесной же золе высоким процентом представлена известь.

При значительном содержании поташа, сообщающего растворам щелочную реакцию, можно было ожидать от золы побочных неблагоприятных влияний на почву, зависящих как от вытеснения кальция калием поташа, так и от разрушающего действия на поглощающий комплекс щелочной реакции. Но опыт показал, что содержание в золе кальция не дает возможности проявиться этим неблагоприятным влияниям — кальций защищает почвенный поглощающий комплекс от

вступления в него калия, а щелочная реакция на ненасыщенных почвах может создаваться только при очень больших дозах золы.

Поэтому косвенное действие у золы оказывается более благоприятным, чем у калийных солей — каинита и др. По этой же причине применение золы следует рекомендовать при удобрении растений, на которые плохо действует избы-

Рис. 28. Зола, как источник фосфорной кислоты



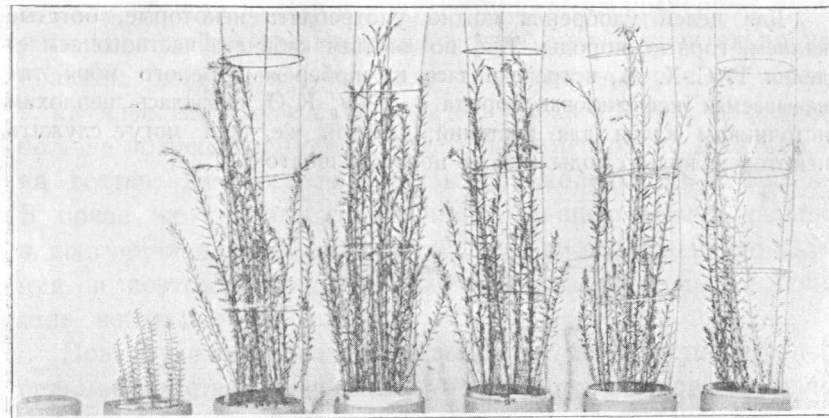
ток хлора, напр. картофеля, сахарной свеклы; точно так же хлеба на подзолистых почвах лучше реагируют на золу, чем на калийные соли.

При пользовании золой в качестве калийного удобрения ее следует класть на гектар: в случае золы хвойных деревьев — 9 центнеров, березовой золы — 6 ц и золы соломы — 3,5—4 ц. Вместе с калием в золе будет дан и фосфор, примерно в половинном количестве от обычных норм; содержащиеся в золе соединения фосфорной кислоты отличаются хорошей доступностью для растений; поэтому даже выщело-

ченную золу, лишенную почти всего калия, следует ценить как фосфорнокислое и известковое удобрение (2—5% P_2O_5). Примером хорошего использования растениями P_2O_5 золы служит следующий опыт (рис. 28).

При желании дать в виде золы полную норму P_2O_5 следует удвоить вышеуказанные количества и класть на гектар 7,5—18,0 ц золы. Еще большие количества можно вносить, если рассматривать золу как известковое удобрение, имеющее целью уничтожение почвенной кислотности. В этом случае можно класть 30—45 ц и более на гектар, в зависимости от потребности почвы в основаниях (см. рис. 29).

Рис. 29. Влияние возрастающих (до вредного действия) доз золы на лен на подзолистой почве.



Количества золы, в пересчете в центнеры на гектар:
3072 1536 768 384 192 96 0
(растения погибли)

Весьма вероятно, что на черноземных, насыщенных почвах большие количества золы, внесенной по расчету на фосфорную кислоту, окажутся вредными. Но и в этом случае 3 центнера богатой калием золы гречихи и подсолнечника, можно думать, окажут хорошее действие.

Открытие в пределах СССР залежей калийных солей не должно понижать интереса к золе, потому что каждое из этих удобрений имеет свою область применения — калийные соли на лугах, под кормовые травы и лен, а зола под прочие культуры на ненасыщенных почвах, под картофель и пр.

По приблизительным подсчетам в Европ. части СССР получается около 1,6 миллионов тонн золы в год ¹⁾, в то время как ввоз калийных солей из Германии до войны не превышал 80 тысяч тонн. Препятствием к широкому применению золы как удобрения служат, с одной стороны, неосведомленность населения об ее удобрительной ценности, с другой стороны, нерыночность этого продукта; правильная организация сбора золы и превращение ее в рыночный продукт могли бы сослужить большую службу для нашего сельского хозяйства. Получающаяся на юго-востоке зола соломы и подсолнечника с 20—40% калия или зола морских водорослей, используемых на нашем севере для добывания иода, с 30% K_2O ничем не хуже, если не лучше, даже высокопроцентных калийных солей.

Для целей удобрения можно употреблять некоторые, богатые калием, горные породы. Так, по опытам кабинета частного земледелия Т. С.-Х. А., встречающаяся на побережье Белого моря так называемая нефелиновая порода с 3,4% K_2O оказалась неплохим источником калия для растений; для той же цели могут служить некоторые виды слюды (но не полевых шпатов).

¹⁾ См. Д. Н. Прянишников. Непризнанный Стассфурт. Москва. 1919 г.

ГЛАВА VIII.

КОСВЕННЫЕ УДОБРЕНИЯ.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ И МЕРГЕЛЕВАНИЕ ПОЧВЫ.

Хотя кальций и принадлежит к числу элементов, необходимых для питания растений, тем не менее при внесении извести обычно имеют в виду не прямое, а косвенное удобрительное действие. Растения потребляют сравнительно небольшие количества кальция; так, хлеба берут не более 9 кг извести (CaO) с гектара в урожай зерна, несколько больше потребляют бобовые растения — несколько десятков кг на гектар; для люцерны указывают количество в 250 кг. В почве же содержатся обычно большие запасы кальция в доступной для растений форме, в виде поглощенного кальция, и поэтому нужда в извести, как в питательном веществе, наблюдается редко.

Поэтому известкование почвы имеет целью в первую очередь воздействие на реакцию почвенного раствора и на поглощающий комплекс почвы. Выше, в главе, посвященной описанию свойств почвы, мы уже имели случай отметить существенную роль кальция для целого ряда текущих в почве процессов.

Кальций, вступая в почвенный поглощающий комплекс, улучшает физические свойства почвы и этим способствует созданию благоприятного как для растений, так и для населяющих почву бактерий водного и воздушного режима. Затем известь, вносимая в виде углекислого кальция или окиси кальция, на ненасыщенных почвах уменьшает кислотность почвенного раствора и тем создает лучшие условия для развития растений и для деятельности почвенных бактерий, разлагающих органические вещества и переводящих азот этих веществ в минеральные формы. Обогащение почвен-

ного раствора ионом кальция понижает кроме того чувствительность растений к кислой реакции; поэтому иногда внесение небольших количеств извести улучшает развитие растений, плохо переносящих кислую реакцию.

На почвах, богатых железом и содержащих фосфорную кислоту преимущественно в виде фосфатов железа и алюминия, — а таковы многие подзолистые почвы, — известь может улучшить и фосфорнокислосое питание растений, так как фосфаты железа и алюминия более растворимы в нейтральной или слабощелочной среде, нежели в слабокислой. При совместном внесении с навозом известь улучшает использование растениями питательных веществ навоза.

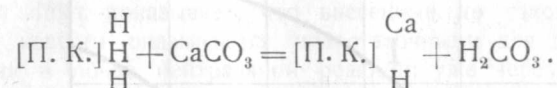
Для удобрения вносят или углекислую известь — молотый известняк или мел, или жженую известь CaO . Внесение жженой извести применяется в качестве способа, облегчающего измельчение: при гашении водой жженная известь рассыпается в тонкий порошок гидрата окиси кальция — Ca(OH)_2 (известь — „пушонка“). Но распределение едкого порошка гашеной извести затруднительно; поэтому чаще вывозят в поле негашеную известь, складывают небольшими кучками и накрывают землей; при этом известь гасится за счет влаги почвы, после чего ее смешивают с землей и разбрасывают по полю лопатами; окончательное перемешивание с почвой достигается боронованием и перепашкой.

При внесении углекислой извести приходится заботиться о тщательном измельчении известковой породы — известняка, мела, — что часто при значительной твердости породы не может быть осуществлено хозяйственным способом и требует уже заводского оборудования. В этом отношении представляют большой интерес мергеля — породы, содержащие, кроме CaCO_3 , еще и глину и отличающиеся рыхлостью, так что их измельчение не представляет затруднений.

Количество вносимой в почву извести должно стоять в связи с ненасыщенностью почвы. Поэтому дать какую-либо определенную норму, которая одинаково хорошо действовала бы на различных почвах, нельзя; в каждом отдельном случае приходится опытом устанавливать наиболее выгодную дозу извести. На некоторых почвах малые дозы извести могут не оказывать никакого или даже слабое понижающее влияние; точно так же могут неблагоприятно влиять и избы-

точные количества извести. Действие извести будет тем более сильным, чем мельче измельчен вносимый материал; в случае внесения мергелей приходится повышать дозы раза в $1\frac{1}{2}$ или 2, так как мергель содержит значительно меньше углекислого кальция, нежели известняки.

Действие жженой и углекислой извести несколько различно; углекислая известь разлагается ненасыщенным почвенным поглощающим комплексом с выделением углекислоты:



Выделяющаяся угольная кислота насыщает почвенный раствор и может способствовать переходу в двууглекислый и растворению оставшегося непоглощенным углекислого кальция. При поглощении едкой извести (CaO) выделения угольной кислоты не происходит, и в почвенном растворе может оказаться меньше кальция, чем при внесении углекислой извести.

Вегетационные опыты позволяют успешно разрешать вопрос о нуждаемости почвы в известковании и о наиболее выгодном количестве извести, так как для подзолистых почв произведенные исследования дают хорошее согласие между данными полевых и вегетационных опытов. Кроме того имеется ряд методов, позволяющих лабораторным, аналитическим путем подойти к вопросу о потребности почв в извести. Но в большинстве случаев эти методы дают хорошие результаты лишь в отношении какого-либо определенного типа почв; метода универсального, позволяющего быстро и точно определить количество извести, в котором нуждается почва, до сих пор еще не выработано. Большой интерес из этих методов представляют те, которые позволяют, хотя бы приблизительно, наметить дозы извести на основании реакции почвенной вытяжки.

Трудность учета с помощью химического анализа потребности почвы в извести заключается в следующем. Известь вносится в почву для уничтожения активной кислотности почвы, но причиной, определяющей и поддерживающей кислотность почвенного раствора, является ненасыщенность поглощающего комплекса. Поэтому можно думать, что определение ненасыщенности должно да-

вать вполне определенные указания на количество извести, нужное для уничтожения кислотности. Но на деле вопрос этот решается не так просто, во-первых, потому, что ненасыщенность почвы не является вполне определенной, постоянной величиной, а зависит в свою очередь от реакции того раствора, которым обрабатывают почву при определении ненасыщенности. Зависимость между реакцией раствора и количеством связываемого почвой основания (т.-е. ненасыщенностью) выражается с помощью так наз. *кривых титрования* (см. рис. 30)¹⁾.

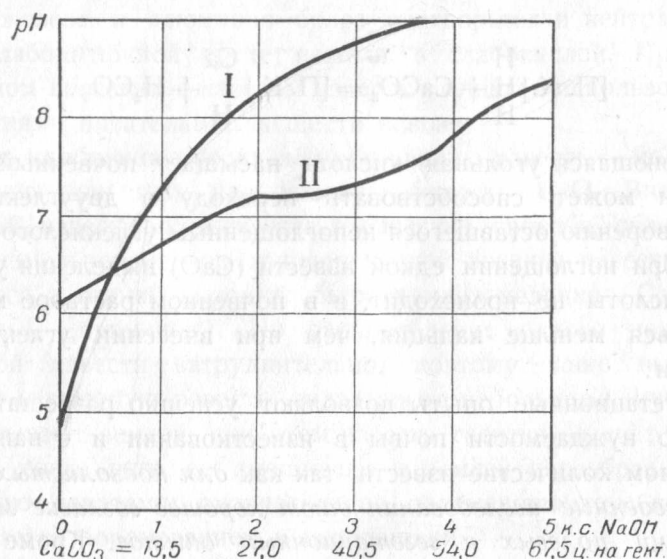


Рис. 30. Кривые титрования почв: I — для почвы с малым буферным действием, II — для почвы с большим буферным действием.

Для получения кривой титрования берут пробы исследуемой почвы и взбалтывают их с растворами, содержащими возрастающие количества щелочи. После взбалтывания определяют реакцию pH вытяжек и по полученным результатам строят графику, откладывая на горизонтальной линии общее количество прибавленной щелочи, а на вертикальной — ординате — найденные в этих вытяжках значения pH. Для почв, обладающих большой емкостью при значительной ненасыщенности, кривая титрования медленно поднимается по мере возрастания количеств щелочи и имеет пологую форму; напротив, для почв с малой емкостью наблюдается крутой подъем

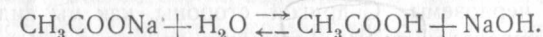
¹⁾ Способность почвы связывать щелочь и кислоту и этим оказывать сопротивление всякому изменению реакции называется буферным действием почвы. Почвы с пологими кривыми титрования обладают большим буферным действием.

кривой. На приведенном чертеже кривая I отвечает супесчаной подзолистой почве, а кривая II — луговой и торфянистой. Несмотря на то, что I почва является более кислой, pH водной вытяжки для нее, как видно из чертежа, равно 4,8, — уже 0,5 куб. см щелочи оказывается достаточным, чтобы создать нейтральную реакцию. Вторая почва, являясь менее кислой, тем не менее требует для приведения к нейтральной реакции (pH = 7,0) вдвое больше щелочи. От количеств прибавленной к навеске почвы щелочи (NaOH) можно простым пересчетом перейти к количествам извести (CaCO_3) в центнерах на гектар.

Полевой опыт показывает, что внесенные по такому расчету количества извести оказываются недостаточными для длительного поддержания в почве нейтральной реакции; уже через несколько недель после внесения извести будет вновь наблюдаться некоторое подкисление раствора, очевидно зависящее от образования азотной кислоты, вследствие процессов нитрификации, усиливающихся при внесении извести от частичного вымывания кальция и от образования из органического вещества почвы новых кислотных соединений, т.-е. от возрастания емкости поглощения почвы. Кривые титрования хотя и дают полную характеристику состояния поглощающего комплекса почвы, но получение этих кривых несколько хлопотливо и требует специального оборудования для электрометрического определения pH, почему для определения ненасыщенности обыкновенно пользуются иными методами.

По Гедройцу, ненасыщенность, отнесенную к нейтральной реакции (так наз. «обменную кислотность почвы»), определяют промывая почву раствором нейтральной соли, обычно BaCl_2 , имеющим реакцию 7,0, до полного вытеснения барием водородного иона, т.-е. до получения нейтральной же промывной жидкости. Промывную жидкость титруют щелочью (по фенол-фталенину) и узнают таким образом степень ненасыщенности почвы.

По Каппену, ненасыщенность (так наз. «гидролитическая кислотность» почвы) определяется при помощи взбалтывания почвы с раствором уксуснокислого натрия — CH_3COONa . Уксуснокислый натрий в водных растворах, как соль слабой кислоты и сильного основания, подвергается гидролизу, приводящему к появлению в растворе небольших количеств едкого натра:

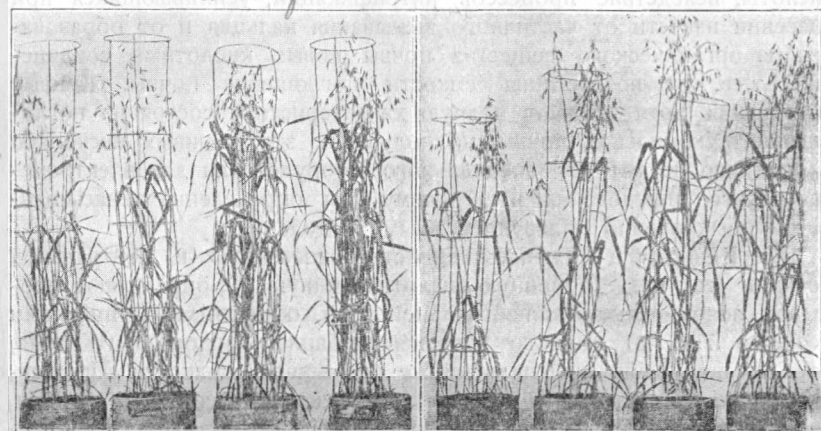


Так как уксусная кислота мало диссоциирует, а едкий натр сильно, то в растворе получается преобладание OH -ионов над H -ионами, что и вызывает слабощелочную реакцию раствора уксуснокислого натрия — pH около 8,0. Обработка почвы щелочными растворами вызывает возрастание емкости поглощения почвы от того, что при щелочной реакции начинают проявлять свои кислотные свойства такие соединения, которые не реагируют при обработке нейтральными растворами. Поэтому определение «гидролити-

ческой кислотности" обнаруживает всегда значительно большую ненасыщенность почвы, чем это наблюдается при обработке раствором нейтральной соли. По Каппену, почву взбалтывают с 1-нормальным раствором уксуснокислого натрия, отфильтровывают определенную часть вытяжки и титруют ее NaOH (по фенол-фталеину); по количеству пошедшей на титрование щелочи судят о количестве поглощенного натрия, т.е. о ненасыщенности почвы. Приведенные выше кривые титрования служат примером того, как меняется емкость поглощения (и ненасыщенность) с увеличением щелочности раствора; для того чтобы создать в растворе $pH = 8,0$, в случае I почвы надо прибавить уже 23 ц извести, а в случае II — 57 ц.

В некоторых случаях выяснения извещения по расчету на гидролитическую кислотность может дать хорошие результаты, в других

Рис. 31. Влияние различных доз извести ($CaCO_3$) на подзолистых почвах.



0% 0,1% 0,5% 1% 0% 0,1% 0,5% 1%
Тяжелая глинистая почва (Крюково). Легкая супесь (Люберцы).

же случаях вычисленные по гидролитической кислотности дозы извести окажутся преувеличенными. Гидролитическую кислотность обнаруживают и совершенно не нуждающиеся в известковании почвы, напр. черноземы. С другой стороны, как мы видели, ненасыщенность, определенная по Гедройцу, приводит к слишком низким дозам извести, не дающим максимального эффекта; вообще устойчивое и длительное действие известкования получается только при внесении количеств, превышающих нужное для создания нейтральной реакции.

Поэтому казалось бы более правильным для определения потребности почв в извести пользоваться данными по „обменной кислотности“ почв, причем для создания устойчивого действия необходимо увеличивать эти данные в определенное число раз.

Установление таких коэффициентов для различных типов почв является одной из задач опытной работы в области известкования¹⁾. Рисунок 31 дает представление о действии различных доз извести.

Имеются попытки устанавливать различные потребности почв в извести прямо на основании определения pH в солевых вытяжках из почвы: напр. Тренель дает графику (рис. 32), позволяющую непосредственно вычислять количество извести по pH в 0,1-нормальной KCl-вытяжке. Но, конечно, такого рода зависимость сохраняет свое значение лишь для почв, имеющих, при различной кислотности, сходные кривые титрования. Так как на ход кривых титрования оказывает влияние главным образом богатство почвы гумусом, то для вычисления потребности в извести нужно знать, кроме реакции солевой вытяжки, и процент гумуса в почве, а может быть, еще и иные свойства почвы.

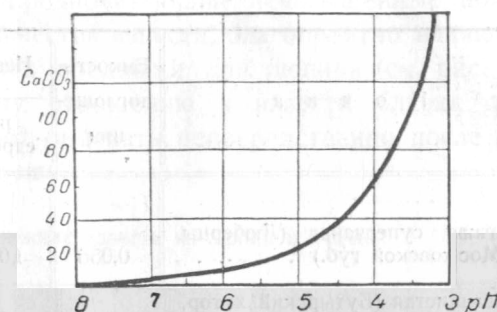


Рис. 32. Зависимость между кислотностью почвенных вытяжек и потребностью в известковании ($CaCO_3$ в ц на гектар) по Тренелю.

Удобрительное действие извести может быть очень различно в связи со свойствами почв, требованиями растений и количествами внесенной извести.

Иногда, в случае избыточных доз извести, можно наблюдать даже отрицательное влияние известкования; вредное действие проявляется также при слишком частом повторении известкования. Причины вредного действия избыточных количеств извести еще не выяснены окончательно; одной из причин может быть бурное течение процессов разложения органического вещества, приводящее к накоплению в почвенном растворе больших количеств аммиака и нитритов, действующих при слабощелочной реакции, создаваемой известью, на растения неблагоприятно; сама по себе слабощелочная реакция (напр. $pH = 7,5-8,0$) еще не оказывает угнетающего влияния на растения. Обычно это вредное действие

¹⁾ Можно ожидать, что эти коэффициенты будут меняться от 2 до 5, возрастая вместе с содержанием гумуса в почве.

ПРИМЕРЫ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ЕМКОСТЬЮ ПОГЛОЩЕНИЯ И НЕНАСЫЩЕННОСТЬЮ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВАХ
(в граммах Са на 100 г почвы)

П о ч в а	Емкость поглощения	Ненасыщенность		рН в водной вытяжке
		по Гедройцу	"гидролитическая"	
Легкая супесчаная (Люберцы, Московской губ.)	0,056	0,021	0,098	5,4
Суглинистая (Бутырский хутор, Моск. губ.)	0,115	0,018	0,115	5,6
Тяжелая суглинистая (Крюково, Моск. губ.)	0,142	0,019	0,124	5,7
Суглинистая, хорошо удобрявшаяся навозом (опытное поле Т. С.-Х. А.)	0,168	0,004	0,055	6,2
Деградированный чернозем (Шатилово, Тульск. губ.)	0,555	0,035	0,077	6,2
Чернозем (Благодат. сах. завод, Курской губ.)	0,588	0	0,043	7,3
Чернозем (Перелешинское им., Воронежск. губ.)	1,190	0	0,147	—
Торф моховой (Растяпино, Моск. губ.)	1,80	1,69	2,8	4,5
Торф луговой (Бисерово, Моск. губ.)	1,84	0,14	2,0	5,5

не бывает продолжительным и сказывается только в первый год или даже в первые месяцы по внесении извести. Другим объяснением вредного действия высоких доз извести будет так наз. *антагонизм оснований*, заключающийся в том, что избыточное содержание в питательном растворе какого-либо одного основания препятствует поступлению в растение других оснований, находящихся в малых количествах; на бедных зольными элементами питания песчаных и торфянистых почвах присутствие избытка кальция в почвенном растворе может подавлять калийное питание растений. В наших условиях внесение избыточных доз извести вообще является мало

вероятным, почему и причины вредного действия извести имеют для нас преимущественно теоретический интерес. Из отдельных растений наиболее чувствительным к извести будет *люпин*, вообще предпочитающий ненасыщенные почвы. Даже небольшие количества извести, благоприятно влияющие на хлеба, оказываются вредными для люпина (см. рис. 33). К люпину по своему отношению к извести близка *сераделла*; не рекомендуют высевать непосредственно после внесения извести также *лен*.

Рис. 33. Влияние извести на люпин и ячмень.



CaCO₃: 0% 0,25% 0,5% 1% 0% 0,25% 0,5% 1%

Хорошо относятся к известкованию прочие бобовые растения; особенно отзывчива в этом отношении *люцерна*, сильно реагируют на известь также *клевер*, *горох*, менее отзывчива *вика*; вероятно, для этих растений, потребляющих много кальция, имеет значение и прямое удобрительное действие извести. Из не-бобовых растений благоприятно относятся к извести сахарная свекла и другие корнеплоды ¹⁾.

В западных странах известкование распространено очень широко, как один из способов улучшения свойств почвы и

¹⁾ Наличие в почвенном растворе некоторого количества кальция необходимо для всех растений, но для разных растений это количество сильно меняется, весьма вероятно, не только в связи с реакцией раствора, но и в связи с антагонизмом оснований и его влиянием на калийное питание; и люпин на малые количества извести может отзываться хорошо.

поднятия урожаев, но в СССР этот прием повышения культурности полей еще не получил должного распространения,

и даже число опытных данных по известкованию еще очень ограничено.

В опытах Научного института по удобрениям имеется ряд данных благоприятного действия относительно высоких доз извести, в особенности при внесении ее совместно с навозом; диаграмма (рис. 34) изображает результат влияния из-

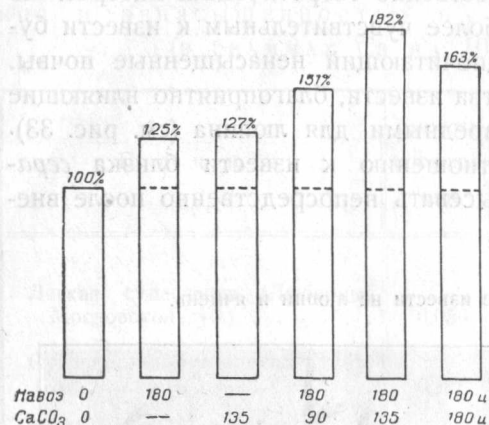
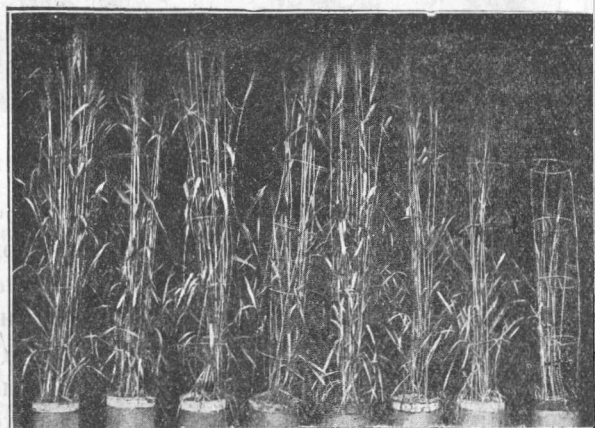


Рис. 34.

вести на первый хлеб по внесении удобрений — овес — на тяжелой суглинистой почве, мало оподзоленной и содержащей довольно много поглощенного кальция (содержание поглощенных оснований в 2 CaO на 100 г почвы — 0,146, при ненасыщенности — 0,014).

Максимальный урожай, давший 30 центнеров с гектара, или прибавку в 82% от неуборванного, получился от внесения 180 ц навоза вместе с 135 ц извести; дальнейшее повышение количеств извести

Рис. 35. Последствие известкования. (Опыт В. А. Крюкова.)



1 — Известь + навоз + полное мин. удобр. 2 — Навоз + полное удобрение. 3 — Известь + полное удобрение. 4 — Контроль + полное удобрение. 5 — Навоз + известь. 6 — Навоз (180 ц). 7 — Известь (135 ц). 8 — Контроль.

от неуборванного, получился от внесения 180 ц навоза вместе с 135 ц извести; дальнейшее повышение количеств извести

уменьшает прибавку. Замечательно последствие известкования в этом опыте: опыт с овсом был поставлен в 1924 г.,

а в 1926 г. с этих участков, находившихся все время под разными культурами, были взяты пробы для вегетационных опытов. Рис. 35 показывает размеры последствия известкования, на 3-й год по внесении удобрений, на ячмене.

Одновременно в этом опыте была испытана отзывчивость известкованных и унавоженных почв на полное минеральное удобрение. Обращает на себя внимание исключительно сильное действие минеральных удобрений на почвах, получивших известь, и слабое действие одного навозного удобрения без извести.

Подобный же опыт на участке с легкой супесчаной почвой (Люберцы Моск. губ.) с малой емкостью поглощения и боль-

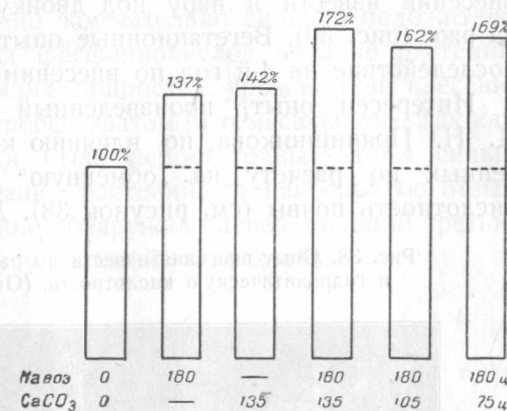
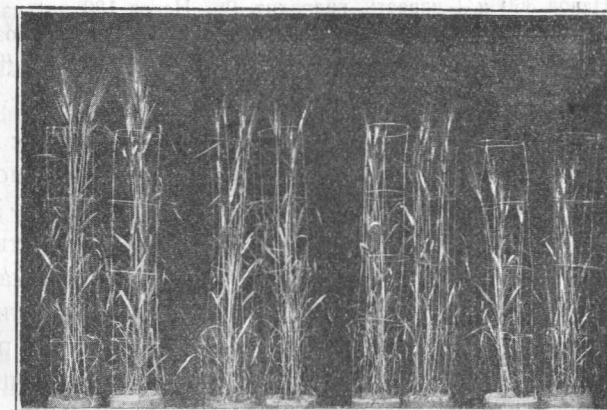


Рис. 36.

Рис. 37. Последствие известкования. (Опыт В. А. Крюкова.)

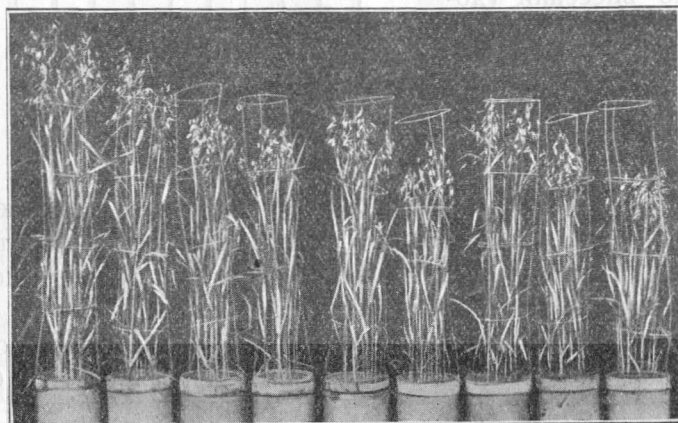


Навоз + известь Навоз 180 ц Известь 135 ц Контроль

шой ненасыщенностью (поглощенного кальция 0,065, при ненасыщенности в 0,021) дал в трехпольном севообороте при внесении извести в пару под двойку следующий результат на ржи (рис. 36). Вегетационные опыты обнаружили сильное последствие на 4-й год по внесении удобрений (рис. 37).

Интересен опыт, произведенный в лаборатории проф. Д. Н. Прянишникова, по влиянию количеств извести, внесенных по расчету на „обменную“ и „гидролитическую“ кислотность почвы (см. рисунок 38). Для насыщения „обмен-

Рис. 38. Опыт внесения извести по расчету на обменную и гидролитическую кислотность. (Опыт Черепашина.)



1 — Навоз 360 ц + известь гидролит. 2 — Навоз 180 ц + известь гидролит. 3 — Навоз 360 ц + известь обменн. 4 — Навоз 180 ц + известь обменн. 5 — Навоз 360 ц. 6 — Навоз 180 ц. 7 — Известь гидролит. 8 — Известь обменн. 9 — Контроль.

ной кислотности“ было внесено 4 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 5,55 кг почвы, нейтрализация же „гидролитической кислотности“ потребовала значительно больших количеств основания — 14,65 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на то же количество почвы. Пересчитывая эти величины в центнеры на гектар в переводе на углекислый кальций, в первом случае получим почти 30 центнеров извести, а во втором — 108 ц. Действие извести, внесенной по расчету на гидролитическую кислотность, на подзолистой почве превосходит действие полного навозного удобрения; совместное же внесение извести и полной нормы навоза вызывает исключительно сильное развитие растений.

Благоприятное действие небольших доз извести наблюдалось на Менделеевском опытном поле Оханского у. Пермской губ. Здесь особенно замечательно сильное положительное влияние извести на фосфорнокислосое питание растений, выразившееся в больших приростах урожая при внесении извести совместно с суперфосфатом (и томасшлаком). Так как, очевидно, дозы извести были недостаточны, чтобы сильно влиять на азотное питание растений, то наибольшую отзывчивость на известкование обнаружил клевер, шедший третьим растением по внесении удобрений, а не хлеба.

Действие извести на Менделеевском опытном поле (среднее за 4 года).

Удобрение	Рожь	Овес	Клевер
1. Без удобрения	13,7	15,3	31,8
2. Навоз 360 ц	27,4	23,8	35,7
3. Известь 18 ц	15,8	15,9	32,4
4. Суперфосфат—45 кг P_2O_5	16,8	17,4	24,8
5. Суперфосфат + известь	20,8	18,5	37,8
6. Навоз 18 ц + суперфосфат	24,4	23,5	32,1
7. Навоз + суперфосфат + известь	25,5	23,1	45,7

На суглинистых оподзоленных почвах Предуралья прибавка к половинному количеству навоза суперфосфата и извести сравнивает его действие с полным навозным удобрением; понижающее действие одного суперфосфата на клевер, может быть, объясняется производимым суперфосфатом подкислением почвы.

Увеличение количеств вносимой вместе с навозом извести до 72 ц значительно улучшает усвоение растениями питательных веществ навоза (среднее за 2 года):

Количества извести	Без навоза		По навозу (360 ц)	
	Рожь	Овес	Рожь	Овес
Без извести	12,7	14,7	22,4	20,9
9 ц	14,3	16,8	21,5	21,0
18 „	15,9	15,9	22,2	21,7
72 „	19,4	23,1	25,5	24,0
144 „	14,8	—	22,2	27,5

144 ц извести уже являются избыточными для первого хлеба — ржи, но сильно повышают, при внесении совместно с навозом, урожай второй культуры — овса. Вообще устойчивым и длительным действие извести бывает при внесении ее в количествах, больших, чем это нужно для уничтожения ненасыщенности почвы, но при таком известковании, являющемся уже не приемом удобрения, а скорее способом коренного

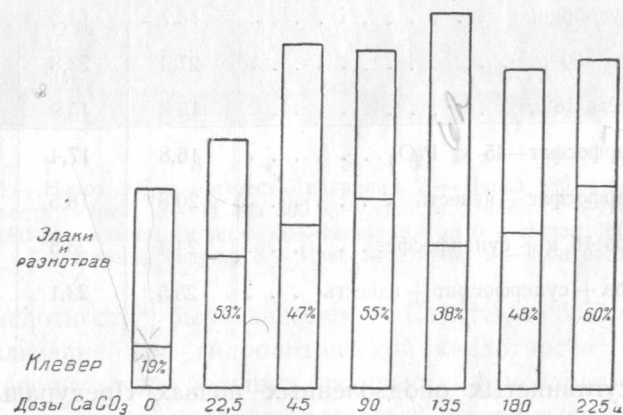


Рис. 39.

улучшения свойств почвы, в особенности следует считаться с возможностью вредного влияния извести в первое время. Большая отзывчивость клевера на известкование видна также из опытов на Бутырском хуторе (Моск. губ.), где была учтена не только общая величина укоса, но и ботанический состав сена (см. рис. 39). Подобным же образом ведет себя

и вика в посевах вико-овсяной смеси (Люберецкий опытный участок): на известкованных участках в укосе вика составляла 41%, овес — 51% и сорняки — 2%, в то время как на неизвесткованных вика было лишь 32%, овса — 61% и разнотравья — 8%. Уже 25 ц извести вызвали общую прибавку в урожае на 19%.

Приведенные опытные данные и изложенные выше теоретические соображения приводят к выводу, что действие извести весьма сложно и многообразно, откуда вытекает невозможность сделать определенные рецептурные указания о нормах известкования. При правильном применении на оподзоленных почвах известкование может давать очень крупные прибавки в урожае, достигающие 10—12 кг зерна на 100 кг извести по первому хлебу. Но во всяком случае внесение извести в количестве 20—40 центнеров на гектар, совместно с навозом или без него, дает заметный прирост в урожае как первого хлеба, так и последующих культур. Культуре же клевера на сильно оподзоленных почвах необходимо должно предшествовать известкование, хотя бы и в очень скромных количествах (9—12 ц) извести. Прибавки зерна хлебов для небольших доз извести составляют, по имеющимся опытным данным, на оподзоленных почвах в первый год по внесении — от 3 до 17 кг зерна на 100 кг извести, в среднем же около 9 кг зерна, при количествах извести, не превышающих 72 ц. Такие же приросты получаются и по второму хлебу. При внесении больших количеств извести приросты падают, составляя около 1,5—3,0 кг на 100 кг извести. Точно так же внесение извести по полному навозному удобрению дает несколько меньшие приросты на 1 ц извести, чем при внесении извести без навоза. Сколько долго сказывается внесение различных доз извести, судить по имеющимся данным трудно, но вегетационные опыты обнаруживают сильное последствие еще на 4-й год по внесении удобрения. Поэтому трудно сделать определенные выводы о рентабельности известкования. Но можно думать, что в наших условиях, при недостатке навоза и трудной доступности молотой или жженой извести, могут иметь успех небольшие дозы извести — от 9 до 45 ц, вносимые совместно с навозом или без него. Внесение извести вместе с навозом или с другими материалами, богатыми органическим веще-

ством, уменьшает опасность вредного действия извести (на некоторых почвах для первого хлеба 45 ц извести могут уже оказаться избыточными).

Метеорологические условия оказывают влияние на действие известкового удобрения; повидимому, во влажные годы его действие будет более благоприятным, нежели в сухие. На энергию действия оказывает влияние и степень измельчения извести, — при грубом измельчении действие менее интенсивно.

Большое внимание должно быть обращено на залежи мергелей, позволяющих легко осуществлять известкование („мергелевание“) полей в примыкающем к местам выхода мергелей районе.

ГИПС

Гипс, или сернокислый кальций CaSO_4 , употребляют для удобрения кормовых растений, преимущественно клевера и люцерны. Обычно вносят 225—300 кг гипса на гектар в качестве поверхностного удобрения, разбрасываемого по уже развившимся растениям; в отличие от таких легкорастворимых солей, как селитра, каинит и др., гипс, в силу своей небольшой растворимости (1 часть гипса растворяется в 400 частях воды), попадая даже на смоченные росой листья растений, не оказывает им вреда; разбрасывают его весной, после первого укоса, или же к осени. Последнее применяется в засушливом климате, из опасения, что при отсутствии дождей гипс не проникнет в почву и пролежит без действия.

Удобрительное действие гипса в отдельных случаях достигает громадных размеров. Так, в опытах А. Н. Энгельгардта без удобрения получалось 25,8 ц клеверного сена, а по гипсу — 45,5 ц. В среднем же можно считать, что на 1 кг гипса получается около 4 кг прироста клеверного сена в урожае. Но вообще гипс употребляют на довольно богатых почвах, бедные и сильно оподзоленные дают меньшие приросты.

По данным коллективных опытов в Оханском и Чердынском уу. Пермской губ. ¹⁾, гипсование клевера с тимофеев-

¹⁾ См. В. Н. Варгин. Результаты работ опытных полей Уральской области. 1923 г.

кой при поверхностной рассыпке гипса по травам первого года пользования дало следующие результаты (в центнерах на гектар):

	1-й год пользов. (среднее из 221 оп.)	2-й год пользов. (среднее из 39 оп.)
Без удобрения	30,6	23,6
Гипсовано (3,6 центнера на гектар)	46,0	39,4

Причины столь значительного удобрительного действия гипса не установлены окончательно. Можно думать, что гипс, действуя как косвенное удобрение, оказывает вследствие обогащения почвы кальцием благоприятное влияние на физические свойства почвы; кроме того, повышая содержание кальция в почвенном растворе, гипс может ослаблять вредное действие на растения кислотности раствора; но, с другой стороны, на ненасыщенных почвах гипс, как и всякая нейтральная соль, должен вызывать некоторое подкисление почвенного раствора. Такое подкисление может на некоторых почвах улучшать калийное и даже фосфорнокислосое питание растений.

Возможно, что иногда гипс может иметь значение и как прямое удобрение, так как бобовые растения, под которые он обычно применяется, потребляют много серной кислоты и кальция (люцерна содержит 0,3% серы, горох — 0,2% и клевер — 0,1%, считая на абсолютно сухое вещество) и могут не находить в почве достаточного количества этих элементов в доступной форме.

Но чем бы ни объяснялось действие гипса на растения, во всяком случае, если его применение связано с крупным увеличением укосов клевера, следует рекомендовать широкое применение гипса под клевер, если только не встретится препятствий в высокой цене гипса. Увеличение урожаев клевера отразится благоприятно на последующих культурах — вследствие обогащения почвы азотом за счет корневых остатков клевера и навоза, полученного при скормливании клеверного сена. Рекомендовать применение гипса можно с большой определенностью еще и потому, что вреда от гипса никогда не замечалось, в худшем случае действие его может быть слабым.

СЕРА.

Внесение серы в почву производится с целью косвенного влияния получающейся при окислении серы серной кислоты на фосфаты почвы. Сера вносится в мелкоизмельченном виде, обычно в виде так наз. „серного цвета“; серобактерии производят окисление серы в серную кислоту: $2S + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4$, в результате чего получается подкисление почвенного раствора, способствующее растворению труднорастворимого трехкальциевого фосфата. Поэтому применение серы, не получившее еще распространения в практике, может давать хорошие результаты на нуждающихся в фосфорной кислоте черноземных почвах, содержащих большое количество кальция и потому не боящихся некоторого подкисления почвенного раствора. По работам проф. Липмана (J. Lipman) (С.-А. С. Ш.) и проф. А. А. Калужского (Саратов), внесение серы совместно с фосфоритом сильно увеличивает доступность растениям фосфорной кислоты последнего.

Использование растениями P_2O_5 фосфорита в песчаных культурах при внесении совместно с серой в опытах А. А. Калужского не уступало использованию растворимых фосфатов:

	Без P_2O_5	Растворимый фосфат	Фосфорит (нормальное количество) + возрастающие дозы серы:						
			0	0,1	0,25	0,50	0,75	1,0	2,0
Урожай в процентах от нормальной культуры	4,0	100	6,1	26,1	67,4	112,6	61,5	17,7	0,4

Этот опыт показывает, что внесение количества серы, по расчету на серную кислоту, необходимую для разложения фосфорита, дает полное разложение фосфорита и в то же время не создает вредной для растений кислотности. Дальнейшее увеличение доз серы уже является губительным для растений.

Подобный же опыт в почве дал следующие результаты:

	Без удобрения	Полное удобрение NPK	Фосфорит (нормальное количество) + возрастающие дозы серы:					
			0	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
Урожай в процентах . . .	71,0	100,0	91,0	94,0	99,7	108,0	97,7	88,3 $\frac{1}{2}$ экв. P_2O_5 на 1 кг песка

В этом опыте, как и в песчаных культурах, фосфорит + сера дают лучшие результаты, чем двузамещенный фосфат кальция. Определение содержания P_2O_5 в урожае также указывает на более энергичное потребление фосфорной кислоты из фосфорита в присутствии серы, нежели из двухкальциевого фосфата $CaHPO_4$. Кроме того с внесением серы растет процент зерна в урожае (песчаные культуры):

	$CaHPO_4$	Фосфорит (нормальная доза) + возрастающие количества серы:					
		0	0,1	0,25	0,50	0,75	1,0
P_2O_5 в мг на сосуд . .	85,5	7,8	10,0	41,3	93,1	56,5	—
Процент использования .	19,9	1,9	2,4	9,7	21,8	13,5	—
Процент зерна в урожае	21,0	21,5	28,0	32,0	40,8	42,0	43,9

Внесение серы в почву без фосфорита, конечно, может повышать растворимость фосфатов почвы и увеличивать урожай, но должно рассматриваться как хищнический прием, могущий при частом повторении привести к резкому ухудшению свойств почвы вследствие вытеснения кальция серной кислотой и разрушения почвенного поглощающего комплекса. Значительно менее опасным должно быть внесение серы совместно с фосфоритом, так как кальций фосфорита должен если не целиком, то отчасти нейтрализовать образующуюся из серы серную кислоту. На больший успех можно рассчитывать, употребляя этот прием под растения, хорошо мирящиеся с небольшой кислотностью, как картофель, и на достаточно насыщенных почвах, где небольшое подкисление раствора не отразится неблагоприятно на ходе нитрификации.

ГЛАВА IX.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВ В УДОБРЕНИЯХ.

В настоящей главе мы постараемся в кратких чертах дать представление об условиях применения и сравнительной ценности различных способов учета нуждаемости почв в удобрениях.

Для выяснения причин, определяющих недостаточную высоту урожаев на той или иной почве, для выяснения потребности почв в удобрениях служат или методы химического анализа почвы или методы, основанные на наблюдении отношения к удобрениям выращиваемых на исследуемой почве растений. Наиболее быстрое и удобное решение вопроса, конечно, могло бы быть получено с помощью лабораторного исследования почвы, но вследствие того, что накопление доступных растению питательных веществ происходит в значительной мере под влиянием текущих в почве биологических (бактериальных) процессов в течение всего вегетационного периода и зависит от воздействия на почву самого растения, то химический учет важнейших с агрономической точки зрения свойств почвы представляется делом весьма сложным, и вполне удовлетворительных методов для этой цели еще не выработано. Поэтому для решения большинства связанных с применением удобрений вопросов приходится прибегать к опытам с растениями, осуществляемым полевым или вегетационным методами.

ПОЛЕВОЙ МЕТОД.

При полевых опытах действие удобрений наблюдается в тех же условиях, что и при практическом применении удобрений. Это обстоятельство, с одной стороны, придает особую убедительность результатам полевых опытов, с другой же стороны, сопряжено с зависимостью результата опыта

от ряда посторонних причин, создающих препятствия для получения достоверных результатов.

Опыт закладывается таким образом, что на учитываемых делянках изменяется только один подлежащий изучению фактор, все же прочие условия произрастания растений остаются без изменения. Например, если желательно узнать, нуждается ли данная почва в азотистом удобрении, то следует, в простейшем случае, выбрать две по возможности однородных по своим почвенным условиям делянки и, подвергнув их вполне одинаковой обработке, одну удобрить селитрой, другую (контрольную) оставить неудобренной.

Делянки засеваются каким-либо растением, учет урожая которого и дает ответ на вопрос, служивший темой опыта: если разница между делянками — контрольной и опытной — заключалась в количестве азотистого питания, то различия в урожае дадут возможность сделать определенные выводы о потребности почвы в азотистом удобрении. Но опыт показывает, что представляется чрезвычайно трудным, практически почти невыполнимым делом найти две, даже небольших, одинаковых по своим почвенным свойствам делянки. Выбор затрудняется еще и тем обстоятельством, что на величину урожая влияют и свойства подпочвы, напр. ее водопроницаемость. Представление об однородности выбранного для опытов участка достигается с помощью *рекогносцировочного* (или *уравнительного*) посева, производимого за год до производства опытов: для этой цели весь назначенный под опыты участок однообразно возделывается и засевается каким-либо растением, напр. овсом. Участок разбивается на делянки, и урожай с каждой делянки учитывается отдельно; различие урожая между опытными делянками позволяет судить о степени однородности участка. Как пример, приведем результаты учета урожая овса на участке, внешне однородном по положению и характеру почвы, при делянках в 120 кв. метров.

Делянки	1	2	3	4	5	6	7	8
Урожай в кг . . .	38,5	45,6	52,0	53,8	55,6	59,6	58,0	60,8

Даже при небольших сравнительно площадях разница в урожае на соседних делянках составляет 10—12%. Но если

бы мы, основываясь на данных рекогносцировочного посева, выбрали равные по урожаю делянки, то и в этом случае все же не получили бы уверенности, что эти делянки вполне однородны, так как в зависимости от метеорологических условий урожайность делянок меняется неодинаково: в сырые годы пониженные места окажутся неблагоприятными, высокие — хорошими, в сухие годы — наоборот. Затем различные растения неодинаково относятся к почвенным условиям, и там, где овес не обнаружил различий, там рожь или свекла могут выявить большую неоднородность. Поэтому однократный рекогносцировочный посев очень мало может способствовать точности полевого опыта, и его значение ограничивается лишь самыми общими указаниями на однородность выбранного для опытов участка. Причиной погрешностей полевого опыта служат также разнообразные случайные влияния, напр. повреждения насекомыми или другими вредителями.

Для повышения достоверности и точности результатов приходится прибегать к *повторению* опыта на ряде делянок: *средняя* величина, вычисленная на основании нескольких данных, отличается уже значительно большей устойчивостью. Слишком большие расхождения между урожаями одноименных делянок заставляют предполагать какую-либо случайную погрешность и выбраковывать совершенно данный опыт. Число повторностей опыта должно быть тем больше, чем больше неоднородность взятого под опыты участка и чем большая точность результатов является желательной. Во всяком случае необходима двукратная повторность: если различия урожая на парных (одноименных) делянках значительно меньше влияния изучаемого фактора, то результаты опыта не вызывают сомнений. Но при больших различиях между одноименными делянками или при стремлении к большей точности приходится прибегать к трех- и четырехкратной повторности.

Если желательно узнать действие на данной почве трех главнейших элементов питания — азота, фосфора и калия, то четырех делянок по схеме:

- 1) контроль, 2) азот, 3) фосфор, 4) калий

— окажется недостаточно, потому что если в почве недостает одновременно двух веществ, то ни одно вещество

в отдельности не подействует. Поэтому приходится включать в схему и комбинации веществ между собой, в результате чего получается нижеследующая восьмерная схема:

- 1) контроль, 2) N, 3) P, 4) K, 5) NP, 6) NK, 7) PK, 8) NPK.

Включать делянку, получающую все три удобрения, приходится потому, что, при удовлетворении потребности растений в двух недостающих элементах, в минимуме может оказаться третий, первоначально не бывший в минимуме.

При двукратной повторности будем иметь уже 16 делянок, а при некоторой неоднородности поля явится необходимость ввести большое количество контрольных делянок, с тем чтобы каждая опытная делянка имела по соседству контрольную, напр. по такой схеме:

- контроль, N, P, контроль, K, NP, контроль, NK, KP, контроль, NPK.

От этого число делянок еще более возрастает, и вся схема, требуя большого труда по постановке и учету урожая, становится трудно осуществимой.

Отсюда возникает стремление к упрощению схемы и пользованию неполными схемами, напр. пятерной:

- контроль, N, P, NP, NPK,

где мы, предполагая, что калий не может находиться в минимуме на данной почве, оставляем только одну делянку с калием — в присутствии азота и фосфора.

Другим способом сокращения восьмерной схемы будет выбрасывание делянок, где удобрения вносятся поодиночке:

- контроль, NK, NP, KP, NPK;

о действии каждого элемента приходится судить, сравнивая делянку с полным удобрением с той, где данный элемент отсутствует. В наших условиях, когда приходится искать хотя бы одного, экономически выгодного рода удобрения, такой способ сокращения мало пригоден.

Вопрос о величине делянок может решаться различно в зависимости от местных условий. Увеличение площади делянок способствует точности опыта, но не в той мере, как увеличение числа делянок; поэтому бывает выгодно, в смысле повышения точности, разбивать крупные делянки на ряд мелких. Обычно площадь делянок составляет 60—120 кв. метров.

Большое значение имеет вопрос о количествах вносимых удобрений, в особенности при опытах, имеющих целью сравнительную оценку различных удобрений, напр. фосфорнокислых. В этом случае приходится закладывать ряд делянок с возрастающими количествами удобрений, испытывая одиночное, полуторное, двойное и т. д. количества.

Другим обстоятельством, часто искажающим результаты полевого опыта, является *косвенное действие* вносимых удобрений — селитры, калийных солей, суперфосфата и т. д. Недостаточно высокие приросты или даже отсутствие прироста урожаев могут зависеть не от отсутствия потребности почвы в удобрениях, а от неблагоприятных косвенных влияний, внесенных удобрением. Поэтому особое значение приобретает правильный выбор удобрений, отвечающих характеру данной почвы. Еще более желательным приемом в некоторых случаях будет повторение опыта на известкованном участке, так как известь парализует неблагоприятные действия удобрений, связанные с повышением кислотности почвенного раствора и изменениями состояния почвенного поглощающего комплекса.

Недостаточное внимание, которое уделялось косвенному действию удобрений, несистематичность опытов, внесение удобрений зачастую в количествах, недостаточных для выявления их действия, заставляют с осторожностью относиться к большей части опытов по удобрениям, произведенных у нас до сего времени.

Коллективные опыты, проводимые на крестьянских землях, имеют обычно целью выяснить рентабельность применения тех или иных удобрений и не могут претендовать на большую точность. Массовые повторения опытов до некоторой степени гарантируют от случайных ошибок, но все-таки и здесь следует применять по крайней мере двукратную повторность в каждом отдельном опыте: слишком большие расхождения между парными делянками, указывающие на какие-либо погрешности, позволят забраковать неудачные опыты.

Однолетние опыты бывают недостаточны для суждения о действии удобрений, во-первых, потому, что не позволяют учесть последствия удобрений, а во-вторых, потому, что случайные условия погоды данного года могут сильно искажать результат опыта.

Вообще получение точных данных с помощью полевых опытов сопряжено с рядом трудностей и требует большой затраты средств, труда и времени. Однократно проведенный опыт может давать некоторые указания только в том случае, если удобрение оказывает исключительно сильное действие. Все перечисленные выше обстоятельства сильно ограничивают возможность широкого применения полевого опыта и повышают интерес к другим методам определения потребности почв в удобрениях.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД.

Выращивание растений в искусственной обстановке, в сосудах сравнительно небольшого размера, позволяет почти полностью устранить влияние тех случайных причин, которые часто искажают результаты полевых исследований. Но сама искусственность обстановки в смысле условий влажности, ограничения распространения корней небольшим объемом почвы, нарушения естественного сложения почвы при набивке сосудов и других причин — сильно отличает условия произрастания растений в вегетационных сосудах от полевых условий и делает невозможным непосредственное перенесение результатов, полученных вегетационным методом, в полевую обстановку.

Техника постановки вегетационных опытов заключается в следующем. Сосуды для опытов берутся стеклянные, цинковые или железные. Стеклянные сосуды удобны своей прозрачностью и стойкостью по отношению к химическим воздействиям. Металлические сосуды, при больших размерах сосудов, обходятся дешевле стеклянных; во избежание разъедания стенок сосудов находящимися в питательном растворе кислотными соединениями и образования вредных для растений веществ, металлические сосуды покрывают изнутри лаком, олифой или парафином. Для защиты от нагревания солнцем на стеклянные сосуды надевают белые картонные чехлы, а металлические сосуды красят белой краской. Обычные размеры сосудов таковы: высота—25—30 см, диаметр—15 см; такие сосуды вмещают около 5 кг почвы. При опытах с картофелем или свеклой, конечно, приходится брать сосуды большего размера. На дне сосудов создается некото-

рое свободное пространство — дренаж, служащее для сбора избытков воды при поливке. Дренаж устраивается или просто насыпанием горки гравия к одной стороне сосуда или с помощью помещаемого на дно сосуда полуконуса, фарфорового или металлического, создающего кольцевое пространство (см. рис. 40). Поливка сосудов производится обычно снизу, с помощью вставленной при набивке сосуда стеклянной трубки, доходящей до дна сосуда и позволяющей вводить воду в дренажное пространство. Количество воды при поливке регулируется по весу сосудов таким образом, чтобы влажность почвы составляла 60% от ее полной влагоемкости.

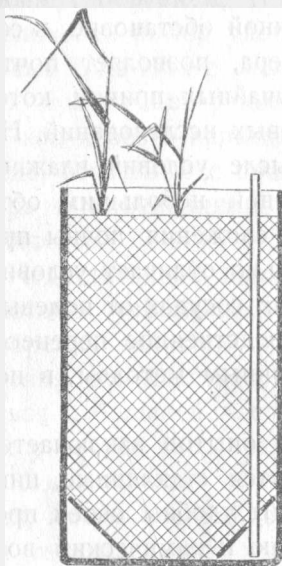


Рис. 40. Сосуд для выращивания растений при вегетац. опытах.

Сосуды наполняются просеянной и тщательно перемешанной почвой; в тех случаях, когда желательно устранить влияние почвы и проследить непосредственное отношение растений к удобрению, сосуды наполняются песком, предварительно промытым кислотой (HCl) и водой до полного удаления растворимых веществ.

Для того чтобы учесть действие испытываемого удобрения, в схему опыта включают контрольный сосуд, не содержащий данного удобрения, и так наз. нормальный сосуд, содержащий полное минеральное удобрение в наиболее удобоусвояемой для растений форме и дающий представление вообще о максимальном, возможном в данных условиях, урожае. В качестве „нормального“ удобрения в песчаных культурах часто употребляется такая смесь (по Геллеригелю): KH_2PO_4 (0,136 г на 1 кг песка или почвы), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,492 г), MgSO_4 (0,06 г), KCl (0,075 г) и FeCl_3 (0,025 г); при почвенных культурах вносятся только азот, фосфор и калий.

В виде примера приведем схему простейшего опыта по выяснению отношения растений к фосфориту в песчаной культуре: 1) нормальная смесь без P_2O_5 , 2) нормальная смесь без P_2O_5 + фосфорит, 3) нормальная смесь.

Испытание доступности фосфорита в почвенных культурах может быть произведено и без одновременного внесения азотистых и калийных удобрений, если эти вещества не находятся в минимуме, напр. по такой схеме: 1) без удобрения, 2) фосфорит и 3) растворимый фосфат — $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

В вегетационном опыте обычно применяется двукратная повторность. При тщательной постановке опыта расхождение в урожае между парными сосудами составляет не более 5%.

Сосуды с растениями помещаются обычно на вагонетки, которые при дурной погоде и на ночь закатываются под стеклянную крышу „вегетационного домика“. При уборке растения срезаются у поверхности почвы, высушиваются и взвешиваются, сначала целиком, а потом отдельно, по обмолоте, зерна.

Вегетационные опыты значительно дешевле полевых опытов, они позволяют сразу испытать действие удобрений на большем числе почв, позволяют полнее расчленить и изучить роль отдельных факторов, определяющих отношение растения и почвы к удобрениям. Поэтому изучение различных, связанных с применением удобрений, вопросов с помощью вегетационного метода должно предшествовать постановке полевых опытов, которые дадут уже окончательный ответ относительно размеров действия удобрений и выгодности их применения. Предварительная проработка вопроса вегетационным методом позволяет сократить число делянок в полевом опыте и избежать ряда ошибок, почти неизбежных при изучении какого-либо нового вопроса. В отдельных же случаях наблюдается такое хорошее соответствие между полевыми и вегетационными опытами, что является возможность делать практические выводы только на основании одних вегетационных опытов. Это относится, напр., к вопросам известкования подзолистых почв, где можно находить наиболее благоприятную дозу извести на основании опытов в сосудах. Правда, в сосудах, где отсутствует вымывание, вредное действие больших количеств извести сказывается раньше, чем в поле. Еще более полное согласие наблюдается между полевыми и вегетационными опытами, касающимися способности почв разлагать фосфорит.

Примером резкого расхождения между этими двумя методами может служить отношение черноземных почв к азотистым удобрениям: почвы, не реагирующие на азот в поле-

вых условиях, обнаруживают сильную отзывчивость на азотистые удобрения при опытах в сосудах.

Проф. Митчерлихом (Германия) было предложено пользоваться вегетационным методом для практического выяснения потребности почв в удобрениях, и притом не только как способом, позволяющим качественно установить, какие вещества находятся в почве в минимуме, но и для нахождения наиболее выгодных доз удобрений.

На основании большого числа опытов Митчерлихом были установлены „коэффициенты действия“, характерные для отдельных удобрительных веществ. Зная эти коэффициенты и наблюдая приросты урожая в сосудах, получивших определенное количество удобрения, с неудобренными сосудами, Митчерлих находит возможным, в соответствии с законом действия факторов роста (см. стр. 11), выяснить размеры запасов того или иного питательного вещества в исследуемой почве¹⁾.

Исследования Митчерлиха, представляя большой интерес, тем не менее вызывают ряд сомнений как в смысле постоянства „коэффициентов действия“ на различных почвах, так и вообще в отношении применимости этого способа на некоторых почвах, напр. на черноземах.

В последнее время в Германии, в качестве способа учета потребности почв в удобрениях, приобрел значение метод Нейбауера и Шнейдера, занимающий промежуточное положение между вегетационным опытом и чисто лабораторным, химическим исследованием.

Этот способ, применяемый только для определения потребности почв в фосфоре и калие, заключается в следующем: на испытываемой почве выращиваются в течение двух недель растения ржи. По истечении этого срока растения убираются и анализируются; увеличение содержания P_2O_5 и K_2O , по сравнению с количеством, бывшим в высеванных зернах, позволяет судить о богатстве почвы доступными для растений питательными веществами. Технически метод осуществляется так: в стеклянные плоские сосуды, диаметром 11 см, помещается 100 г исследуемой почвы; в целях увеличения пространства для развития корней к почве прибавляется 300 г чистого кварцевого песка, частью смешивае-

¹⁾ Ясно, что одно и то же количество удобрения будет вызывать тем большие приросты, чем беднее данная почва питательными веществами.

мого с почвой, частью насыпаемого слоем сверху почвы. Каждый сосуд засеивается 100 зернами ржи, отличающимися хорошей всхожестью и хорошо отсортированными по крупности. Всходам дают расти 14—18 дней до тех пор, пока они не достигнут длины пальца; к этому времени молодые растения, жадно потребляющие питательные вещества, успеют исчерпать бывшие в почве запасы доступных корням соединений фосфора и калия.

Растения из каждого сосуда осторожно освобождаются отмытием от земли и песка, озоляются совместно с корнями, остатками зерен и непроросшими зернами и анализируются на фосфор и калий. Для того чтобы ввести поправку на питательные вещества, внесенные с посевным материалом, ставится холостой опыт с выращиванием растений в чистом песке; количества фосфора и калия, содержащиеся в растениях, выросших в песке, вычитаются из количества, бывшего в растениях, выращенных на почве.

Для того чтобы обеспечить средний урожай ржи, почва должна содержать в 100 г не менее 8 мг P_2O_5 и 24 мг K_2O в доступной для корней форме. Для других растений требуются иные количества питательных веществ, что можно видеть из следующей таблички (опытным растением всегда остается рожь):

Рожь	8 мг P_2O_5 и 24 мг K_2O
Ячмень	6 „ „ „ 30 „ „
Овес	4 „ „ „ 20 „ „
Картофель	6 „ „ „ 40 „ „
Сахарная свекла	8 „ „ „ 30 „ „

Для получения точных результатов при опытах по Нейбауеру, кроме двух- или трехкратной повторности опытов, необходимо заботиться о равномерном освещении и снабжении влагой растений. Небольшие отклонения во влажности почвы в сосудах могут сильно отзываться на потреблении проростками питательных веществ.

Для определения потребности почв в азотистых удобрениях этот метод еще менее пригоден, чем обычные вегетационные опыты, так как минерализация азота почвы, зависящая от биологических процессов, идет в искусственной обстановке совершенно иначе, чем в полевых условиях.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, УДОБРЕНИЕ, ОПЫТНОЕ ДЕЛО, СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО

Будрин П. В. Зеленое удобрение. С 16 рис. М.—Л. 1927. (Биб-ка с.-х. инструктора). Стр. 76. Ц. 65 к.

Васильев В. Очистка и сортировка семян. (Биб-ка агронома). (Печ.)

Дырда И. Г. Какую пользу приносят опытные поля и станции крестьянскому хозяйству. С 9 чертеж. и 11 рис. в тексте. М.—Л. 1927. (Биб-ка с.-х. инструктора). Стр. 89. Ц. 75 к.

Дырда И. Г. Практическое земледелие. Полное руководство как достигнуть высоких урожаев возделываемых на полях растений. (Биб-ка агронома). (Печ.)

Кичунов Н. И., проф. Как выводить новые сорта растений в садоводстве и огородничестве. Изд. 3-е, переработ. С 12 рис. в тексте. М.—Л. 1927. (Биб-ка агронома). Стр. 172. Ц. 1 р. 50 к.

Кислянский С. С. Улучшение семян и посевов. М.—Л. 1926. (Пособия для с.-х. кружков). Стр. 77. Ц. 25 к.

Клюев А. И., агр. Каждому севообороту свое время и свое место. М.—Л. 1926. (Биб-ка с.-х. инструктора). Стр. 87. Ц. 60 к.

Петров Е. С. Чем и как удобрять почву. М.—Л. 1926. (Биб-ка с.-х. инструктора). Стр. 46. Ц. 25 к.

Соколов В. Ф. Коренные улучшения почвы. (С 104 рис. в тексте). М.—Л. 1926. (Биб-ка с.-х. инструктора). Стр. 244. Ц. 3 р.

Соколов В. Ф. Сорные травы и борьба с ними. С 39 рис. (Б-ка с.-х. инструктора). Стр. 60. Ц. 40 к.

Щетинин Н. И. Нет плохой земли, есть плохие земледельцы. Изд. 2-е, просмотрен. и дополн. Л. 1926. (Биб-ка с.-х. инструктора). Стр. 79. Ц. 10 к.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Проф. РЮМКЕР

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

ПОПУЛЯРНЫЙ КУРС ОБЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Сокращенный перевод с немецкого

В ТРЕХ ЧАСТЯХ

Под редакцией В. В. Винера

Часть I. Обработка почвы. Удобрение. Плодосмен.
Стр. 210. Ц. 80 к.

Часть II. Посевы. Сорные травы. Уборка и хранение продуктов. Сорта. Стр. 186 + XXIV рис. на отд. листах. Ц. 70 к.

Часть III. Очерки по сортоводству и семеноводству.
Стр. 149. Ц. 50 к.

Сочинение проф. *Рюмкера* дает незаменимое по полноте и доступности изложения руководство по общему земледелию.

