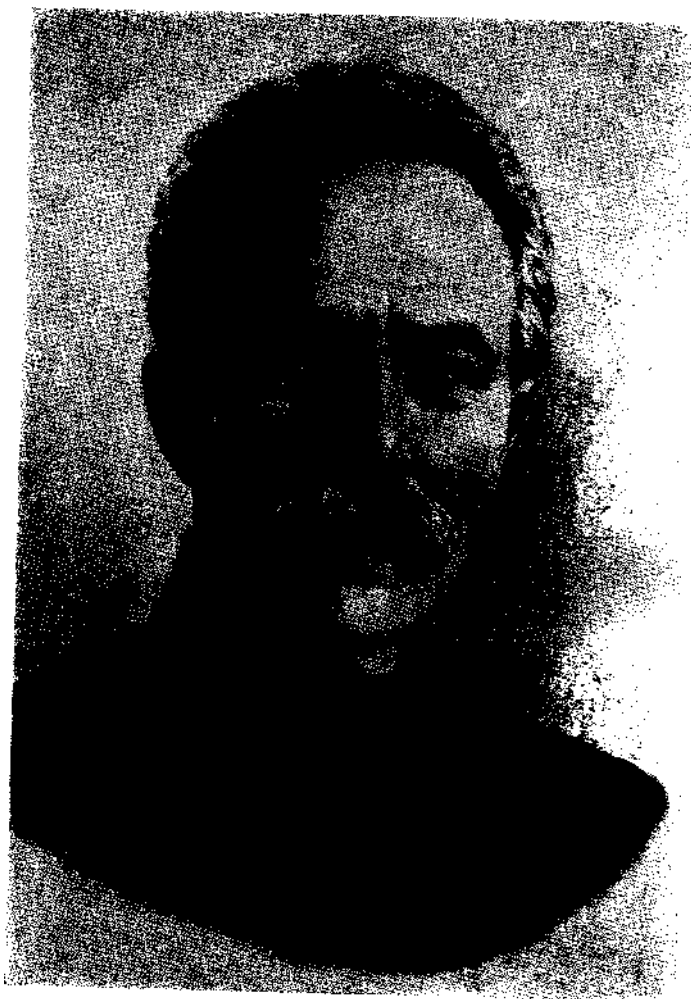


К.К. ГЕДРОЙЦ

ИЗБРАННЫЕ
СОЧИНЕНИЯ

3

СВЕТЛОХОТОВ-1933



К. К. ГЕДРОЙЦ
(1931 г.)

*
1872 - 1932
 *

А К А Д Е М И К

К.К. ГЕДРОЙЦ

ИЗБРАННЫЕ СОЧИНЕНИЯ
В ТРЕХ ТОМАХ



1955

Государственное издательство
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва

А К А Д Е М И К

К.К. ГЕДРОЙЦ



ИЗБРАННЫЕ СОЧИНЕНИЯ

Том третий

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ,
МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ
И ВЕГЕТАЦИОННЫЕ
ОПЫТЫ

1955

Государственное издательство
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва

*Под редакцией и с предисловием
доктора геолого-минералогических наук
проф. Н. П. РЕМЕЗОВА*

ПРЕДИСЛОВИЕ К III ТОМУ

В третьем томе избранных трудов академика К. К. Гедройца объединены его работы по методике вегетационного опыта и применению этого метода для выяснения различных сторон взаимодействия почв, растений и удобрений, а также другие работы в области агрономического почвоведения и химических мелиораций почв.

По времени выполнения помещенные в этом томе работы отражают три последовательных периода в научном творчестве К. К. Гедройца.

Первый период—с 1905 по 1917 г.—объединяет вегетационные и лабораторные исследования, проведенные в различных научных учреждениях Петербурга-Петрограда, еще до окончания разработки К. К. Гедройцем теории поглотительной способности почв. Встреченные в процессе выполнения этих работ трудности и привели К. К. Гедройца к изучению поглотительной способности почв.

Второй период—с 1922 по 1930 г.—объединяет исследования, проведенные непосредственно в природной обстановке на Носовской сельскохозяйственной опытной станции (Черниговская область УССР), когда К. К. Гедройцем уже была в основном разработана теория поглотительной способности почв. Эти работы представляют существенный интерес как опыт приложения теории поглотительной способности к решению практических вопросов земледелия и мелиорации почв.

Третий период—с 1930 по 1932 г.—самый короткий, но весьма плодотворный, связан с работой К. К. Гедройца под Москвой на Долгопрудном опытном поле (ныне Долгопрудная агрохимическая опытная станция) Научного института удобрений и инсектофунгицидов. Исходя из разработанной им теории поглотительной способности почв К. К. Гедройц в этот период развивает широкие и разносторонние исследования по выяснению роли обменных катионов в питании растений. Эти исследования объединены под общим заглавием «Почвенные обменные катионы и растение».

Преждевременная смерть помешала К. К. Гедройцу закончить начатые в этом направлении работы.

Исследования К. К. Гедройца в области агрономического почвоведения представляют выдающийся интерес не только по полученным результатам, но и в методическом отношении. Работы, связанные с решением практического вопроса применения фосфоритной муки, показали недостаточность сведений в области поглотительной способности почв и побудили заняться экспериментальным изучением этого теоретического вопроса. На основании обобщения большого фактического материала, полученного им лично, К. К. Гедройцем была разработана теория поглотительной способности, осветившая путь для его дальнейших исследований.

Н. П. РЕМЕЗОВ

**ВЕГЕТАЦИОННЫЕ
ОПЫТЫ
И ЛАБОРАТОРНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
(1905 - 1917)**

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ПОЧВЫ И ФОСФОРНОКИСЛЫХ УДОБРЕНИЙ

(Из сельскохозяйственной химической лаборатории в СПб.)

Среди разнообразного действия, оказываемого известкованием на почву и растение, не последнее место по своему практическому и теоретическому интересу занимает влияние вносимой в почву извести на фосфорнокислое питание растений. В этом отношении известь может влиять как на ход ассимиляции, уже поступившей в растение фосфорной кислоты, так и на само восприятие этого вещества из почвенных и удобрительных фосфатов.

Вопрос о влиянии извести на ассимиляцию фосфорной кислоты выдвинут в последнее время особенно работами О. Loëw'a и его учеников; его мы вовсе не будем касаться, а остановимся только на вопросе о влиянии извести на доступность растению фосфорной кислоты и фосфорнокислых удобрений.

Имеющиеся данные показывают, что известкование в зависимости от характера исследуемой почвы может и понижать и повышать доступность почвенной фосфорной кислоты¹, тогда как доступность фосфорной кислоты *фосфорнокислых туков* всегда понижается под влиянием вносимой в почву извести. Мы сначала приведем несколько данных из опытов сельскохозяйственной лаборатории на каждый из этих случаев, а затем постараемся объяснить такое действие извести.

I. Углекислый кальций понижает доступность фосфорной кислоты почвы.

1. Суглинистый чернозем из имения Кроткое, Тульской губернии. Растение—овес.

а) Урожище Буканище

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	63,8	г
То же плюс 5 г мела ²	48,6	»

б) Никольское поле

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	35,9	г
То же плюс 5 г мела	29,8	»

в) Рубленное

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	18,3	г
То же плюс 5 г мела	13,6	»

¹ Мы встретили всего лишь несколько почв, на которых углекислый кальций влиял чрезвычайно мало на доступность почвенной фосфорной кислоты.

² Всюду на 5—6 кг почвы.

2. Чернозем из имения Палибино, Пензенской губернии. Растение—овес.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	51,3 г
То же плюс 20 г мела	23,7 »
В первом случае в урожае содержалось	0,153 г P_2O_5
Во втором случае в урожае содержалось	0,074 » P_2O_5

3. Лесной суглинок Александровского хутора имения Брассово. Растение—овес.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	76,7 г
То же плюс 5 г мела	70,9 »

4. Супесчаный подзол Локотского хутора имения Брассово. Растение—овес.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	47,6 г
То же плюс 5 г мела	37,7 »

5. Оподзоленная почва Некрасовской школы, Новгородской губернии. Растение—овес.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	25,2 г
То же плюс 10 г мела	20,5 »

6. Оподзоленная почва Клинского опытного поля, Московской губернии.

Овес

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	38,3 г
То же плюс 5 г мела	34,3 »

Тимофеевка

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	24,6 г
То же плюс 5 г мела	19,9 »

II. Углекислый кальций повышает доступность фосфорной кислоты почвы

1. Слабооподзоленная почва из имения Сестрино¹, Смоленской губернии. Растение—овес.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	36,4 г
То же плюс 5 г мела	45,4 »

Что в данном случае увеличение урожая не является следствием влияния извести на какой-либо другой фактор, показывает урожай по полному удобрению:

Урожай по полному удобрению	65,8 г
То же плюс 5 г мела	66,4 »

Таким образом, когда в почве было достаточно фосфорной кислоты для максимального развития растений, урожай не подымался от внесения углекислого кальция.

2. Оподзоленный суглинок из Григоровской сельскохозяйственной школы Новгородской губернии². Растение—овес.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	21,3 г
То же плюс 5 г мела	25,3 »

¹ Содержание лимоннорастворимой P_2O_5 —0,0346%, уксуснорастворимой—0,0008%; отношение этих цифр—43.

² Содержание лимоннорастворимой P_2O_5 —0,020%, уксуснорастворимой—0,0008%; отношение—25.

т. е. под влиянием $CaCO_3$ урожай в сосудах без фосфорной кислоты поднялся. При полном удобрении, наоборот, $CaCO_3$ понизил урожай.

Урожай по полному удобрению	48,0 г
То же плюс 5 г мела	40,2 »

что, по всей вероятности, надо приписать понижению под влиянием извести усвояемости данного растениям фосфорнокислого натрия.

3. Опопзоленный суглинок Новгородской губернии¹. Растение—озимая рожь.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	42,7 г
То же плюс 10 г мела	54,7 »
Урожай по полному удобрению	89,2 »
То же плюс 10 г мела	82,2 »

В этом опыте урожай озимой ржи при недостаточном обеспечении в фосфорной кислоте поднялся на 12 г, т. е. почти на 30%, и так как при этом, подобно предшествующему опыту, при полном удобрении углекислый кальций даже несколько понизил урожай, то, очевидно, повышение урожая в отсутствие фосфорнокислого удобрения может быть отнесено только на увеличение усвояемости фосфорной кислоты почвы под влиянием внесенного мела.

4. Сильно опопзоленная почва из имения Сестрино, Смоленской губернии².

Гречиха

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	61,0 г
То же плюс 20 г мела	77,8 »

5. Опопзоленный суглинок из Охтенского лесничества, Петербургской губернии³. Растение—озимая рожь.

Урожай по полному удобрению без фосфорной кислоты	39,8
То же плюс 40 г мела	53,6 »
Урожай по полному удобрению	65,9 »
То же плюс 40 г мела	59,2 »

III. Понижение доступности фосфорной кислоты фосфорнокислых удобрений под влиянием углекислого кальция

1. Фосфорнокислый натрий

Чернозем из имения Палибино, Пензенской губернии

Урожай овса по полному удобрению	87,9 г, в нем 0,280 г P_2O_5
То же плюс 20 г мела	73,1 » » » 0,235 » P_2O_5

Подзол Клинского опытного поля.

Урожай овса по полному удобрению	83,2 г
То же плюс 5 г мела	72,7 »

2. Томасшлак.

Опопзоленный суглинок из Охтенского лесничества.

¹ Содержание лимоннорастворимой P_2O_5 —0,0482%; уксуснорастворимой 0,0008%; отношение—23.

² Почва содержала фосфорной кислоты, растворимой в 2% лимоннокислой вытяжке, 0,0597% и в 2% уксуснокислой вытяжке—0,0015%; отношение $\frac{0,0597}{0,0015} = 40$.

³ Почва содержала фосфорной кислоты, растворимой в 2% лимоннокислой вытяжке, 0,0283%, а в 2% уксуснокислой вытяжке—0,0008%; отношение $\frac{0,0283}{0,0008} = 35$.

Урожай озимой ржи по полному удобрению (томасшлак) . . .	65,9 г
То же плюс 40 г мела	59,2 »

Песчаный чернозем из имения Резцова, Воронежской губернии.

Урожай ячменя по полному удобрению (томасшлак)	64,3 г
То же плюс 18 г мела	59,8 »

Чернозем из имения «Палибино», Пензенской губернии.

Урожай озимой ржи по полному удобрению (томасшлак)	71,4 г
То же плюс 10 г мела	63,2 »

3. Фосфорит.

Подзол Клинского опытного поля.

Урожай овса по полному удобрению (фосфорит)	60,9 г
То же плюс 5 г мела	42,5 »

Чернозем из имения Палибино, Пензенской губернии.

Урожай озимой ржи по полному удобрению (фосфорит)	49,9 г
То же плюс 10 г мела	42,8 »

4. Костяная мука.

Чернозем из имения Палибино, Пензенской губернии.

Урожай озимой ржи по полному удобрению (костяная мука) .	60,2 г
То же плюс 10 г мела	45,2 »

Чтобы выяснить причины отмеченного действия извести, заметим прежде всего, что степень усвояемости какого-либо соединения зависит от трех моментов: 1) от растворимости этого соединения в воде, 2) от действия на него корневых выделений и 3) от действия на него почвы (главным образом реакции почвенного раствора и выделяемой почвой углекислоты); все, что так или иначе влияет на эти три момента, должно влиять и на доступность растению фосфорной кислоты фосфатов. Посмотрим же, какое влияние может оказать на них известкование, причем мы будем рассматривать только действие углекислого кальция, так как все сказанное про него тем более будет относиться, что видно будет из последующего, и к едкой и жженной извести, веществам более основным.

1. ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА РАСТВОРИМОСТЬ ПОЧВЕННЫХ И УДОБРИТЕЛЬНЫХ ФОСФАТОВ

В нормальных почвах главным источником фосфорной кислоты для растений служат известковые ее соли и, по всей вероятности, преимущественно трехкальциевый фосфат; существование двукальциевого и особенно однокальциевого фосфатов едва ли можно допустить в более или менее значительных количествах; далее, в почвах могут содержаться фосфорнокислые соединения железа и алюминия, количества которых в большинстве почв также надо признать ничтожными сравнительно с количеством трехкальциевого фосфата; наконец, в некоторых почвах могут существовать фосфорно-органические соединения в количестве, имеющем практическое значение.

В главных фосфорнокислых удобрениях фосфорная кислота содержится преимущественно в виде кальциевых солей, причем в апатите, фосфорите, томасшлаке и костяной муке находится трехкальциевый фосфат, а в суперфосфатах—свободная фосфорная кислота, одно- и двукальциевый фосфаты.

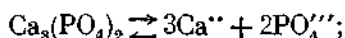
Трехкальпневый фосфат— $Ca_3(PO_4)_2$, собственно говоря, в воде почти абсолютно нерастворим, но благодаря тому, что это вещество является солью слабой кислоты и относительно сильного основания, те ничтожные следы, которые оказываются в растворе, подвергаются разложению, гидролитической диссоциации, вследствие чего равновесие в растворе нарушается, в воду переходит новое количество соли, которое снова гидролизуется и т. д., так что в конце концов в растворе оказывается количественно определяемая величина фосфорной кислоты.

Так, по исследованиям Cameron'a и Seidell'я¹ количество фосфорной кислоты, перешедшей в раствор из двух образцов $Ca_3(PO_4)_2$: одного (I), содержащего избыток $CaO(0,14\% \text{ } CaO_2H_2)$, и другого (II) с избытком фосфорной кислоты ($2,83\% \text{ } H_3PO_4$)—оказалось следующим.

Граммов фосфата на литр	Граммов PO_4 , перешедшей в раствор 1 л	
	Образец I	Образец II
5	0,068	0,109
10	0,113	0,189
20	0,185	0,324
40	0,310	0,558

Ввиду той роли, какую играет гидролитическая диссоциация при действии воды на почвенные соединения и, в частности, на рассматриваемые теперь нами фосфаты, мы позволяем себе остановиться подробнее на этом процессе и описать его, как он представляется в настоящее время с точки зрения электролитической диссоциации.

Те ничтожные следы трехкальциевого фосфата, которые переходят в раствор вследствие присущей этой соли растворимости, должны быть там почти сполна диссоциированы на ионы: на двузначный ион кальция $(Ca^{++})^2$ и трехзначный ион фосфорной кислоты (PO_4^{---}) , т. е. находящиеся в растворе молекулы $Ca_3(PO_4)_2$ должны почти все распасться согласно уравнению:

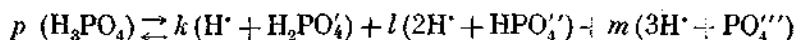


это, во-первых, потому, что вообще все соли являются соединениями, сильно диссоциирующими в водных растворах, а во-вторых, в частности для $Ca_3(PO_4)_2$, потому, что степень диссоциации всякого электролита повышается с уменьшением концентрации раствора. Ортофосфорная кислота H_3PO_4 , как кислота трехосновная, в водных растворах, кроме однозначных положительных водородных ионов, может давать следующие отрицательные ионы: трехзначный PO_4^{---} , двузначный HPO_4^{--} и однозначный $H_2PO_4^{-}$; но в то время как все соли в разжиженных растворах почти сполна диссоциированы, степень диссоциации кислот различна, и фосфорная кислота принадлежит к «слабым», малодиссоциированным соединениям, притом, как вообще при многоосновных слабых кислотах, в растворе наряду с недиссоциированными молекулами будет содержаться больше всего однозначных ионов $H_2PO_4^{-}$, меньше двузначных HPO_4^{--} и почти абсолютно не будет трехзначных ионов PO_4^{---} . Если мы приготовим раствор ортофосфорной кислоты, то в нем между недиссоциирован-

¹ F. Cameron and A. Seidell. The action of water upon the phosphates of calcium. «The Journ. of the. Amer. Soc.», т. 26, 1904, стр. 1457.

² Точками принято обозначать катионы, а черточками—анионы; число тех или других означает значность иона.

ными молекулами и продуктами их электролитической диссоциации установится равновесие по уравнению



тогда, когда произведения из концентраций¹ всех водородных ионов на соответствующую концентрацию каждого из отрицательных ионов достигнут определенной для данной температуры величины, так называемого произведения растворимостей; произведения эти в данном случае вследствие слабой диссоциации фосфорной кислоты вообще будут малы, а для иона PO_4''' произведение будет совсем ничтожно; таким образом, если мы обозначим концентрацию водородного иона в нашем растворе через a , а концентрацию иона PO_4''' через b , то произведение $a \cdot b$ (произведение растворимости) для данной температуры будет величиной вполне определенной и притом очень малой, и как только произведение концентраций этих ионов в растворе превзойдет произведение их растворимости, вследствие ли повышения концентрации обоих ионов H^+ и PO_4''' или одного из них, — равновесие нарушится и ионы PO_4''' и H^+ начнут соединяться в двузначный ион HPO_4'' , затем в однозначный $\text{H}_2\text{PO}_4'$ и т. д.

Если мы теперь снова обратимся к раствору $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, то увидим на основании предыдущего следующее. Вследствие почти полной электролитической диссоциации этой соли концентрация (b) ионов PO_4''' оказывается сравнительно высокой², и достаточно уже малейших следов водородных ионов, чтобы произведение из b на их концентрацию a превысило их произведение растворимостей; таким источником водородных ионов является вода: хотя диссоциация ее на ионы H^+ и OH' чрезвычайно мала³, но она оказывается достаточной, чтобы нарушить равновесие в рассматриваемой системе и заставить ионы PO_4''' соединяться с ионами H^+ , соответствующее же количество гидроксильных ионов (OH') воды останется свободным. Но этот процесс, в свою очередь, нарушает равновесие в нашей системе: с одной стороны, из раствора исчезло некоторое количество ионов PO_4''' , вследствие чего раствор оказывается ненасыщенным по отношению к $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, и если последний присутствует в твердом состоянии, то соответствующее количество его должно снова перейти в раствор; с другой стороны, вследствие исчезновения из раствора свободных ионов H^+ , произведение из концентрации оставшихся ионов H^+ на концентрацию ионов OH' делается меньше произведения их растворимости и новые молекулы воды распадутся на эти ионы; но вследствие всего этого произведение из концентраций ионов PO_4''' и H^+ превзойдет произведение их растворимости и снова произойдет соединение этих ионов, а соответствующие количества ионов OH' останутся свободными и т. д. Таким образом в результате разлагающего действия (гидролиза) воды на соль сильного основания и слабой кислоты мы получим, с одной стороны, накопление гидроксильных ионов OH' , присутствие которых по современным воззрениям обуславливает щелочную реакцию среды; с другой же стороны, в раствор перейдет трехкальциевого фосфата значительно больше, чем это имело бы место без гидролитической диссоциации в силу одной только присущей этому соединению растворимости.

¹ Количество грамм-молекул на 1 л раствора.

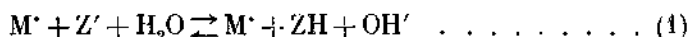
² По сравнению с концентрацией этих ионов в растворах H_3PO_4 .

³ По Arrhenius'у степень электролитической диссоциации воды равна $1,1/10^7$, т. е. концентрация иона H^+ (или OH') в воде равна 11 стомиллионных норм (1 грамм-молекула иона в 1100 миллионах л воды).

Гидролитическая диссоциация $Ca_3(PO_4)_2$ будет идти до известного предела, а именно до тех пор, пока между ионами трехкальциевого фосфата Ca^{++} и PO_4''' , с одной стороны, и продуктами гидролиза Ca^{++} , OH' , HPO_4'' , H_2PO_4' и H_3PO_4 , с другой стороны, не установится равновесие; если мы для простоты обозначим трехкальциевый фосфат через MZ , где M металл, а Z кислотный радикал, то гидролиз можно представить схемой:



или в ионах:



По закону действия масс равновесие в этой системе наступит тогда, когда

$$\frac{K_{M'} \times K_{ZH} \times OH'}{K_{M'} \times K_{Z'}}$$

достигнет определенной, постоянной для данной температуры величины C или когда

$$\frac{K_{ZH} \times KOH'}{K_{Z'}} = C, \quad (2)$$

где K со значком означает концентрацию соответствующего значку соединения. Формула (2) является общим уравнением равновесия для гидролитической диссоциации солей сильных оснований и слабых кислот.

Уравнение (1) и формула (2) показывают, что увеличение каким-либо путем концентрации одного или нескольких продуктов гидролитической диссоциации $Ca_3(PO_4)_2$ должно повлечь за собой реакцию по уравнению (1) справа налево, т. е. соединение ионов H' и Z' , соединение ионов Z' и M' и выпадение твердой соли MZ ; таким образом, увеличивая концентрацию одного из продуктов гидролиза $Ca_3(PO_4)_2$, мы тем самым уменьшим количество фосфорной кислоты, переходящей в раствор из этой соли; и, наоборот, уменьшая концентрацию какого-либо из этих продуктов, мы увеличим это количество.

Каково же будет влияние углекислого кальция на переход в раствор фосфорной кислоты из трехкальциевого фосфата? Исследования, произведенные в последнее время Cameron'ом и Seidell'ем и помещенные ими в цитированной выше статье¹, дали следующие результаты:

Граммов фосфорита на литр	В раствор перешло граммов PO_4 на литр	
	В отсутствие $CaCO_3$	В присутствии твердого $CaCO_3$
5	0,109	Следы
10	0,189	»
20	0,324	»
30	0,558	»

Таким образом, углекислый кальций чрезвычайно сильно понижает количество фосфорной кислоты, переходящей в раствор из $Ca_3(PO_4)_2$. Явление это, по нашему мнению, может быть следующим образом объяснено с точки зрения электролитической диссоциации.

Присутствие мела должно двояко влиять на систему $Ca_3(PO_4)_2$ и вода. Во-первых, $CaCO_3$ должен непосредственно уменьшить растворимость трехкальциевого фосфата на основании общего положения, что растворимость электролита понижается в присутствии другого электролита,

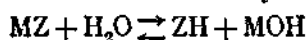
¹ Loc. cit., стр. 1457.

имеющего с первым общий ион (в данном случае Ca^{++}), но роль CaCO_3 не ограничивается лишь этим, в противном случае переход в раствор фосфорной кислоты не уменьшился бы в такой степени, так как этот переход есть результат не столько растворимости, сколько гидролиза. Второе и главное влияние, оказываемое присутствием CaCO_3 в системе $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и вода, и есть уменьшение гидролитической диссоциации трехкальциевого фосфата. В самом деле, углекислый кальций, подобно $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, есть соль относительно сильного основания и слабой кислоты, и потому действие воды на него проявится совершенно так же, как это раньше мы видели на $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; в числе продуктов гидролиза CaCO_3 будет, между прочим, и гидроксильный ион OH^- ; таким образом, присутствие мела (а тем более CaO и $\text{Ca}(\text{OH})_2$) увеличивает концентрацию одного из продуктов гидролиза трехкальциевого фосфата, что влечет за собой, как мы знаем, уменьшение концентрации фосфорной кислоты.

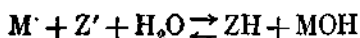
Два кальциевый и однокальциевый фосфаты, CaHPO_4 и $\text{CaH}_2(\text{PO}_4)_2$. Первый из них труднорастворим, второй же в значительной степени растворяется в воде.

Действие углекислого кальция на эти соединения понятно: в присутствии его переход в раствор фосфорной кислоты должен значительно уменьшиться, во-первых, потому, что углекислый кальций имеет с этими солями общий ион Ca^{++} , во-вторых, потому, что под влиянием его и CaHPO_4 и $\text{CaH}_2(\text{PO}_4)_2$ будут переходить в менее растворимый $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и, наконец, вследствие уменьшения гидролитической диссоциации.

Фосфорнокислое железо FePO_4 , подобно трехкальциевому фосфату, также само по себе почти абсолютно нерастворимо в воде; переход же фосфорной кислоты в раствор и тут обязан гидролизу этой соли; но продукты гидролиза в случае фосфорнокислого железа иного свойства, чем при $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Дело в том, что фосфорнокислое железо представляет соль и слабого основания и слабой кислоты, и вследствие этого продукты гидролиза должны быть почти не диссоциированы; уравнение гидролитической диссоциации для этого случая будет следующее:



или в ионах:



Гидроксильных ионов, таким образом, в растворе мы не будем иметь (кроме, конечно, того ничтожного их количества, которое всегда содержится в воде); но зато в данном случае в растворе будут находиться, кроме вышеуказанных в уравнении веществ, водородные ионы, потому что хотя фосфорная кислота и слабая кислота, но степень диссоциации ее¹ все-таки больше, чем степень диссоциации гидрата окиси железа: трехзначных ионов $\text{PO}_4^{'''}$ фосфорнокислого железа в водном растворе не останется, но они перейдут не целиком в недиссоциированные молекулы H_3PO_4 , а часть их даст при гидролизе двузначные ионы $\text{HPO}_4^{''}$ и однозначные $\text{H}_2\text{PO}_4'$ (последних должно быть значительно больше, нежели первых); таким образом, при гидролизе фосфорнокислого железа освобождается некоторое количество водородных ионов, и потому растворы этого фосфата имеют кислую реакцию в противоположность растворам трехкальциевого фосфата, обладающим щелочной реакцией (присутствие гидроксильных ионов OH^-).

¹ В очень разжиженных растворах она достигает величины 0,08, т. е. в таких растворах около 8% молекул диссоциированы.

Итак, продуктами гидролитической диссоциации фосфорнокислого железа являются: 1) гидрат окиси железа, выпадающий в твердом виде и отчасти остающийся в растворе в виде коллоида, 2) недиссоциированные молекулы H_3PO_4 , одно-, а может быть, и двузначные ионы фосфорной кислоты и 3) водородные ионы; гидролиз будет продолжаться до тех пор, пока между этими продуктами, с одной стороны, и содержащимися в растворе ионами фосфорнокислого железа Fe^{+++} и PO_4^{---} , с другой стороны, не установится равновесия; все, что будет уменьшать концентрацию одного из продуктов гидролиза, устраняя его из сферы действия, будет увеличивать степень гидролиза, т. е., подобно тому, как это мы видели при $Ca_3(PO_4)_2$, увеличивать переход фосфорной кислоты $FePO_4$ в раствор. Обратно, если мы каким-либо способом увеличим концентрацию одного из продуктов гидролиза, то этим уменьшим количество фосфорной кислоты, переходящей в раствор.

Чтобы дать понятие о количестве фосфорной кислоты, переходящей в раствор из $FePO_4$, мы приведем здесь несколько цифр из статьи F. Cameron'a и L. Hurst'a¹. К сожалению, исследованные ими два образца не отвечали точно формуле $FePO_4$: один (I) содержал в избытке фосфорную кислоту (больше на 5,15% PO_4), другой же (II)—в избытке основание (12,37% $Fe(OH)_3$).

I. $FePO_4$		II. $FePO_4$	
Куб. см воды на 1 г фосфата	Граммов PO_4 , перешедшей в 1 л	Куб. см воды на 1 г фосфата	Граммов PO_4 , перешедшей в 1 л
60	0,152	60	0,072
100	0,107	100	0,061
200	0,070	200	0,037
400	0,042	400	0,033

Рассмотрим теперь, как должно влиять присутствие углекислого кальция на содержание фосфорной кислоты в растворе при обработке водоем фосфорнокислого железа. Как было указано при трехкальциевом фосфате, $CaCO_3$ в растворах дает вследствие гидролиза гидроксильный ион OH^- ; последний, встречаясь в растворе с водородным ионом, продуктом гидролиза фосфорнокислого железа, должен соединиться с ним в молекулы воды, так как произведение растворимостей H^+ и OH^- чрезвычайно малая величина; таким образом, присутствие углекислого кальция, в противоположность тому, что мы видели при $Ca_3(PO_4)_2$, понижает концентрацию одного из продуктов гидролиза $FePO_4$, что должно вызвать не уменьшение, как в случае трехкальцевого фосфата, а увеличение количества фосфорной кислоты, переходящей в раствор из фосфорнокислого железа.

Но образование воды из ионов H^+ и OH^- усиливает степень гидролиза не только $FePO_4$, но по той же причине и $CaCO_3$, в результате чего в растворе накапливаются, кроме ионов фосфорной кислоты, еще ионы Ca^{++} и угольной кислоты HCO_3^{--} ; увеличение концентрации ионов Ca^{++} должно будет вызвать соединение их с ионами PO_4^{---} фосфорнокислого железа в недиссоциированные молекулы трехкальцевого фосфата, а с двузначными ионами фосфорной кислоты HPO_4^{--} (продукт гидролиза $FePO_4$) в не-

¹ F. Cameron and L. Hurst. The action of water and saline solutions upon certain slightly soluble phosphates. «Journ. Amer. Chem. Soc.», т. 26, 1904, стр. 892 и 896.

² Продукты гидролиза $CaCO_3$: $CaCO_3 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{++} + OH^- + HCO_3^-$.

диссоциированные молекулы двукальциевого фосфата CaHPO_4 и выпадение этих солей в твердом состоянии; выпадение однокальциевого фосфата едва ли будет иметь место ввиду его большой растворимости и потому значительной величины произведения растворимостей его ионов (Ca^{++} и H_2PO_4^-). Накопление в растворе ионов угольной кислоты вызовет выделение из раствора газообразной углекислоты.

Итак, углекислый кальций повышает переход в раствор фосфорной кислоты из фосфорнокислого железа, переводя вместе с тем часть последнего в более растворимые фосфаты кальция.

Цифровых данных в подтверждение вышеуказанного мы привести не можем; укажем на ряд опытов Костычева¹, неопровержимо доказывающих значительное выделение CO_2 в смеси FePO_4 и CaCO_3 ; но так как, во-первых, эти опыты велись с фосфорнокислым железом, содержащим в избытке фосфорную кислоту², и, во-вторых, количество выделявшейся CO_2 показывает только на общее количество фосфорной кислоты, связавшейся с кальцием, то, по данным Костычева, нельзя судить о количестве фосфорной кислоты, перешедшей в раствор.

Фосфорнокислый алюминий AlPO_4 в своем отношении к воде совершенно аналогичен фосфорнокислому железу и в присутствии CaCO_3 он, подобно последнему, должен отдавать в раствор более фосфорной кислоты.

Фосфорноорганические соединения. Чтобы закончить с почвенными фосфатами, нам еще остается рассмотреть действие, оказываемое углекислым кальцием на переход в раствор фосфорной кислоты фосфорноорганических соединений. К сожалению, природа этих соединений до сих пор остается темной. Самое вероятное предположение по поводу их строения высказано было Густавсоном³: в гуминовых веществах, кроме кислотных водных остатков, имеются еще спиртовые водные остатки, водород которых может замещаться металлами, обладающими слабыми кислотными свойствами; последние своими свободными средствами могут связывать, между прочим, фосфорную кислоту. При таком строении фосфорноорганических соединений связь фосфорной кислоты с органической частью нужно признать очень слабой; она может существовать в отсутствие избытка оснований, в почвах с более или менее кислой реакцией, или, по крайней мере, нейтральной. Углекислый кальций, как соль очень слабой и притом легко удаляющейся из сферы действия кислоты, должен очень легко нарушать эту связь, образуя фосфорнокислый кальций. Углекислый кальций, таким образом, является веществом, способствующим минерализации фосфорной кислоты фосфорноорганического соединения и тем самым переходу в раствор этой кислоты.

Подводя итог рассмотренному выше действию углекислого кальция на почвенные и удобрительные фосфаты, мы видим, что это вещество влияет неодинаково на переход в раствор фосфорной кислоты различных фосфорнокислых соединений: 1) у кальциевых фосфатов этот переход под влиянием CaCO_3 значительно понижается; 2) у фосфорнокислых железа и алюминия и у фосфорноорганических соединений, наоборот, повышается.

¹ П. Костычев. Нерастворимые фосфорнокислые соединения почв, стр. 42 и далее.

² Состав исследовавшейся Костычевым соли был $4\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5$ вместо $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ нормального фосфата.

³ Густавсон. Двадцать лекций агрономической химии, изд. 2, стр. 58.

II. ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА РАСТВОРЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ КОРНЕВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ

Влияние углекислого кальция на растворяющую силу выделяемых корнями кислот и кислых солей в общем само понятно; $CaCO_3$, подобно другим известковым удобрениям, будет их нейтрализовать и таким образом уничтожать их растворяющее действие. Мы остановимся несколько только на действии выделяемой корнями углекислоты и на влиянии на это действие углекислого кальция.

Давно уже установлено, что вода, содержащая углекислоту, извлекает из почвы больше фосфорной кислоты, нежели чистая вода. Мы приведем здесь для иллюстрации данные относительно влияния CO_2 на растворимость трехкальциевого фосфата, полученные в последнее время Cameron'ом и Seidell'ем¹.

Граммов $Ca_3(PO_4)_2$ на литр	Граммов PO_4 , перешедшей в 1 л	
	Вода без CO_2	Вода с CO_2
5	0,109	0,239
10	0,189	0,344
20	0,324	0,481
40	0,558	0,738

Каким же образом CO_2 содействует растворению $Ca_3(PO_4)_2$? Как кислота значительно более слабая, нежели H_3PO_4 , и притом дающая с кальцием соль не более трудно растворимую, нежели $Ca_3(PO_4)_2$, углекислота не должна вытеснять фосфорной кислоты из этого соединения; растворяющее ее действие должно быть, по нашему мнению, следствием того, что в ее присутствии гидролитическая диссоциация $Ca_3(PO_4)_2$ усиливается: углекислота с одним из продуктов гидролиза, именно с едкой известью, дает $CaCO_3$, выпадающий в твердом состоянии, или, представляя этот процесс в ионах, водородный ион углекислоты соединяется с гидроксильным ионом, продуктом гидролиза $Ca_3(PO_4)_2$ в воду; таким образом, CO_2 , в противоположность $CaCO_3$, уменьшает концентрацию одного из продуктов гидролиза $Ca_3(PO_4)_2$ и тем усиливает гидролитический процесс и связанный с ним переход фосфорной кислоты фосфата в раствор. Если теперь мы имеем систему, состоящую из трехкальциевого фосфата, воды, углекислоты и углекислого кальция, то растворяющее действие CO_2 должно уменьшиться сравнительно с тем, каково оно было бы в отсутствие $CaCO_3$, так как CO_2 будет поглощаться углекислым кальцием с образованием двууглекислого кальция; при значительном преобладании $CaCO_3$ над CO_2 присутствие мела может почти совершенно парализовать растворяющее действие CO_2 .

Так, по данным Cameron'a и Seidell'я²:

Граммов $Ca_3(PO_4)_2$ на литр	Граммов PO_4 , перешедшей в 1 л	
	Вода с CO_2	Вода с CO_2 в присутствии твердого $CaCO_3$
5	0,239	Следы
10	0,344	»
20	0,481	»
40	0,738	»

¹ F. Cameron and A. Seidell. The action of water upon the phosphates of calcium. «Journ. Amer. Chem. Soc.», т. 26, 1904, стр. 1457.

² Loc. cit., стр. 1457.

Если сравнить эти результаты с растворимостью того же фосфата в чистой воде (см. стр. 19), то оказывается, что в условиях опыта выше-названных исследователей углекислый кальций не только уничтожил растворяющее действие CO_2 , но уменьшил значительно и количество фосфорной кислоты, переходящей в чистую воду.

Фосфорнокислородное железо и алюминий к углекислоте относятся иначе, нежели фосфорнокислый кальций; одним из продуктов гидролиза этих соединений является водородный ион, а не гидроксильный, как у $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, поэтому углекислота, как дающая в водных растворах также водородный ион, не будет уже уменьшать концентрацию продуктов гидролиза, а, наоборот, несколько увеличивать ее для иона H^+ ; таким образом, CO_2 не содействует переходу в раствор фосфорной кислоты из фосфатов железа и алюминия, а даже, наоборот, этот переход должен в ее присутствии несколько уменьшиться. Цифровых данных в подтверждение этого у нас не имеется; насколько нам известно, в этом направлении имеется лишь исследование Gerlach'a¹, но он ограничился только констатированием того, что как чистая вода, так и вода, насыщенная на холоду углекислотой, не извлекает весомых количеств фосфорной кислоты из фосфорнокислого железа.

В присутствии углекислого кальция, связывающего углекислоту, выделяемую корнями, неблагоприятное действие последней на доступность фосфорной кислоты фосфорнокислого железа и алюминия должно уменьшиться; таким образом, и в этом отношении влияние известкования на эти соли противоположно влиянию его на кальциевые фосфаты.

III. ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА РАСТВОРЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПОЧВЫ

Почвенные растворы сообразно своему составу, зависящему от характера почвы, должны оказывать известное влияние на растворимость почвенных и удобрительных фосфатов; в них фосфаты должны обладать иной растворимостью, нежели в чистой воде; наибольшее влияние на растворимость должна оказывать реакция этих растворов и выделяемая почвой углекислота; действие мела в этом отношении то же, что и на растворяющее влияние корневых выделений, внесением этого вещества мы понижаем растворяющее действие почвы. Кроме своей реакции, почвенные растворы влияют на растворимость фосфатов и составом входящих в них ионов: присутствие ионов, общих с ионами фосфата, должно понижать его растворимость, присутствие же не общих ионов, наоборот, повышать; в последнем отношении углекислый кальций, конечно, не изменяет действия, оказываемого почвенными растворами на фосфаты. К тому же действие это вообще не может быть практически существенным ввиду вообще малой концентрации почвенных растворов.

Итак, в результате нашего рассмотрения воздействия углекислого кальция на моменты, обуславливающие степень доступности почвенных и удобрительных фосфатов, мы приходим к следующему:

1) Углекислый кальций *понижает* растворяющее действие корневых выделений независимо, конечно, от того, какого характера почву мы имеем.

¹ M. Gerlach. Ueber das Verhalten der wasserlöslichen Phosphorsäure gegen absorbierende Bestandteile des Bodens. Landw. Vers.-St., т. 48, стр. 207.

2) Углекислый кальций *понижает* растворяющее действие почвы, обусловленное кислой реакцией почвенных растворов.

3) Углекислый кальций *понижает* доступность фосфорной кислоты кальциевых фосфатов и *повышает* доступность фосфорной кислоты фосфорнокислого железа и алюминия и фосфорноорганических соединений.

Естественно поэтому, что известкование в большинстве почв должно понизить количество фосфорной кислоты, находящейся в них в доступных растению формах; иное действие известки можно ожидать только на почвах, содержащих относительно много фосфорной кислоты в виде фосфатов железа и алюминия и фосфорноорганических соединений. До сих пор в наших опытах мы встретились только с несколькими почвами, в которых усвояемость фосфорной кислоты резко повышалась под влиянием известкования (см. стр. 10); все эти почвы подзолистые, и, таким образом, углекислый кальций в отношении растворяющего действия почвы должен был влиять неблагоприятно на усвояемость их фосфорной кислоты; остается предположить, что эти почвы, в противоположность остальным, содержат значительные количества фосфата железа или фосфорноорганических соединений¹; какое из этих соединений на самом деле содержат эти почвы, трудно сказать с уверенностью; во всяком случае нам кажется более вероятным, что тут мы имеем дело с фосфорноорганическими соединениями.

Кроме высказанных теоретических соображений в пользу содержания в вышеуказанных почвах фосфорнокислого железа или фосфорноорганических соединений, мы можем привести и аналитические данные. В большинстве почв, на которых сельскохозяйственная лаборатория ставила вегетационные опыты, нами определялась фосфорная кислота, растворимая в 2% лимоннокислой и 2% уксуснокислой вытяжках². Отношение между количествами лимоннорастворимой и уксуснорастворимой фосфорной кислоты для большинства почв оказывается около 15, причем в подзолах оно обычно несколько выше, нежели в лесных суглинках и черноземах; в почвах же, о которых здесь идет речь, оно значительно больше и для некоторых достигает громадной цифры—40³. Так как уксусная кислота, в противоположность лимонной, почти абсолютно не растворяет фосфорнокислого железа и извлекает из почв чрезвычайно мало органического вещества, то вышесказанное указывает также на относительно богатство этих почв или фосфорнокислым железом, или фосфорноорганическими соединениями. Для подтверждения того, что при богатстве почвы фосфорнокислым железом отношение между лимонно- и уксуснорастворимой фосфорной кислотой должно быть значительно большим, чем в большинстве наших почв, мы проанализировали образец горизонта А и горизонта С латеритообразной почвы Кутаисского опытного поля; оба образца очень богаты железом⁴. В горизонте А нами найдено 0,0055% P_2O_5 , растворимой в 2% лимонной кислоте, и 0,00015% P_2O_5 , растворимой в 2% уксусной кислоте, для горизонта С соответственно 0,0117 и 0,0004%; отношение лимоннорастворимой к уксуснорастворимой P_2O_5 в горизонте А равно 37, в горизонте С—29; как и следовало ожидать, отношение это

¹ О содержании в них фосфорнокислого алюминия едва ли может быть речь.

² Часть этих данных опубликована нами в «Трудах Сельскохозяйственной лаборатории», вып. IV, 1905, стр. 61.

³ На стр. 786 и далее для каждой из этих почв мы приводим содержание P_2O_5 , растворимой в 2% лимонной и 2% уксусной кислотах.

⁴ По анализу С. А. Захарова горизонт А содержит 11,20%, а горизонт С 12,50% Fe_2O_3 , извлекаемой 10% соляной кислотой.

оказывалось значительно большим, чем, например, в черноземах, где оно около 10. Во всяком случае, от чего бы ни зависело получаемое при анализе большое отношение между растворимостью фосфорной кислоты почвы в лимонной и уксусной вытяжках, от содержания ли в них больших количеств фосфорнокислого железа или же фосфорноорганических соединений, но раз такое отношение получается, то это должно быть признаком благоприятного действия известкования на усвояемость растениями фосфорной кислоты почвы.

Нам остается еще сказать несколько слов о влиянии известкования на доступность растениям фосфорной кислоты фосфорнокислых туков. Очевидно, что известкование должно *понижать* эту доступность, так как в этом случае углекислый кальций в этом направлении действует на все три момента, обуславливающие собой эту доступность: он понижает и растворяющее действие корневых выделений и растворяющее действие почвы и, наконец, уменьшает переход из туков фосфорной кислоты в почвенный раствор, так как главными фосфорнокислыми соединениями в этих туках являются кальциевые соли. Это подтверждается как всеми имеющимися в литературе данными¹, так и приведенными выше результатами вегетационных опытов нашей лаборатории.

С.-Петербург, 5 октября 1905 г.

¹ Ср., например, Schulze. Ueber den Einfluss des Kalkens auf die Leistungsfähigkeit der Phosphorsäure den Handelsdünger. «Fuhling's Landw. Zeit.», 1904, стр. 186 и далее.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА ПОЧВЫ И ГУСТОТЫ ПОСЕВА НА ПОТРЕБНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Кажется, ни в одной области научного исследования не замечается такого разнообразия и несогласованности методов исследования, какое мы видим в агрокультурхимии и агрокультурфизике; не только отдельные научные учреждения, но почти каждый исследователь применяет свой метод, нисколько не заботясь о том, чтобы согласовать его с методами, применявшимися уже к решению интересующего его вопроса. Это отсутствие единства методов мы видим не только в таких вопросах, как, например, определение потребности почвы в том или другом питательном веществе, сущность которых и заключается в установлении самого метода: разнообразие методов здесь понятно и необходимо, пока вопрос не разрешен в том или другом смысле; но его нет и при таких исследованиях, результаты которых нисколько бы не пострадали, не дали бы меньшего числа выводов с применением несколько иного метода. Так, например, обстоит дело с почвенными анализами: однообразие в приготовлении солянокислых вытяжек, водных вытяжек и т. п. не только возможно без ущерба делу, но необходимо и является насущным вопросом для почвоведения. Вегетационный метод не представляет исключения из вышесказанного, не только не установлена область его применимости, но также техническая, методологическая сторона его. Величина сосудов, объем почвы, количество растений, способы полива, проветривания, дренажа и т. д., т. е. все те условия, которые, без сомнения, так или иначе влияют на получаемые результаты и относительно которых нетрудно было бы прийти к общему соглашению, на каждой опытной станции иные; вследствие этого, конечно, детальное сравнение результатов, полученных целым рядом станций, становится невозможным, а в лучшем случае полученные выводы всегда будут вызывать некоторые сомнения. Укажем для примера на очень интересный вопрос о влиянии климатических условий на максимальную производительность¹ почвы в сосудах: многочисленный опытный материал, накопившийся на русских и иностранных вегетационных станциях, конечно, был бы вполне достаточен для решения этого вопроса, если бы он отличался большей однородностью. Влияние на результаты вегетационного способа тех или иных условий постановки опыта большей частью или совсем, или сравнительно мало еще выяснено; так, например, дело обстоит с влиянием объема

¹ Величина урожая при полной обеспеченности растений в питательных веществах.

почвы и числа растений, помещаемых на единицу поверхности почвы в сосудах, между тем и то и другое интересно не только с методологической, но и с физиологической стороны. Кроме того, исследование влияния этих двух факторов на относительную потребность почвы в питательных веществах в сосудах под тем или другим растением представляет значение и в другом отношении: если бы оказалось, что относительная потребность растения в удобрении значительно меняется в зависимости от того, с каким объемом почвы и со сколькими растениями в сосуде имеешь дело, то это было бы одним из веских доводов против применимости вегетационного метода к определению потребности почвы в удобрении. Последнее соображение главным образом и побудило нас поставить в 1904 и 1905 гг. опыты по влиянию объема почвы и числа растений на величину урожая в сосудах.

1. ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА ПОЧВЫ

Насколько нам известно, первые опыты по влиянию объема почвы в сосудах (собственно глубины сосудов) на величину получаемого урожая принадлежат Е. Peters¹. Опыты производились с ячменем на неудобренной почве. На неудобренной же почве ставил подобные опыты Haberlandt² в сосудах трех размеров с маисом, подсолнечником и коноплей. Так как в первом минимуме находились питательные вещества (или одно из них), то, конечно, у обоих исследователей урожай возрастал с увеличением объема почвы, причем производительность весовой единицы почвы у Peters'a в одном из двух опытов возросла с увеличением объема сосуда, в другом, наоборот, уменьшилась; у Haberlandt'a же она возрастала для маиса при переходе к сосудам, вмещающим в четыре раза больше почвы, и уменьшалась при переходе к сосудам в 12 раз большим; для подсолнечника увеличивалась при переходе к сосудам в три раза большим, в остальных же случаях уменьшалась.

Подобное же исследование произведено было Wollny³ на неудобренной почве с озимой рожью, зеленым маисом, горохом и конскими бобами в сосудах, имеющих одну и ту же высоту (20 см) и разную площадь поперечного сечения (от 7,07 до 254,46 кв. см); на основании полученных результатов Wollny пришел к выводу, «что относительный урожай тем больше, чем меньший объем почвы предоставлен растению»⁴. Легко показать, что подобного вывода никак нельзя сделать из вегетационных опытов Wollny и что сделан он последним вследствие не вполне удачного сопоставления данных. В самом деле, для сопоставления производительности почвы в различных сосудах цитируемый автор на основании абсолютной величины урожаев приводит следующие ряды цифр⁵.

	VI	V	IV	III	II	I
Объемы почв находятся между собою в отношении	1	: 4	: 9	: 16	: 25	: 36
Соответствующие урожаи в отношении	1	: 2	: 5,5	: 7,7	: 13,9	: 20,6

¹ E. Peters. Ein kleiner Beitrag zur Frage über die Tiefkultur; der Landwirt, 1871, стр. 5; Jahresbericht für Agrikulturchemie, 1870—1872, 2-й отд., стр. 137.

² Fr. Haberlandt. Einfluss des Boden-Volums auf die Entwicklung der Pflanzen Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzentums. 1875, стр. 232.

³ Wollny. Saat und Pflege. 1885, стр. 342.

⁴ Там же, стр. 396.

⁵ Там же, стр. 395.

II. Зеленый манис

Объемы почв находятся между собою в отношении — 1 : 2,15 : 4,0 : 6,25 : 9
 Соответствующие урожаи в отношении — 1 : 2,2 : 3,6 : 6,4 : 9,9

III. Горох

Объемы почв находятся между собою в отношении 1 : 2,15 : 4,0 : 6,25 : 9,0 : 12,2
 Соответствующие урожаи в отношении 1 : 2,90 : 3,2 : 3,8 : 5,4 : 7,4

IV. Конские бобы

Объемы почв находятся между собою в отношении — 1 : 2,25 : 4,0 : 6,25 : 9,0
 Соответствующие урожаи в отношении — 1 : 2,20 : 3,5 : 5,7 : 8,5

С первого взгляда на эту таблицу может действительно показаться, что вообще урожай возрастает медленнее, нежели объем; но это только потому, что сравнение ведется лишь по отношению урожая в самых малых сосудах; если же мы на основании тех же данных вычислим производительность 1 кг почвы в каждом из сосудов Wollny, то картина представится несколько иная:

Растение \ Сосуды	Производительность 1 кг удобренной почвы					
	VI	V	IV	III	II	I
Озимая рожь	3,7	1,8	2,4	2,1	2,0	2,5
Зеленый манис	—	7,3	7,1	6,5	7,5	8,0
Горох	3,8	5,0	3,2	2,3	2,6	2,5
Конские бобы	—	3,6	3,9	3,3	3,8	3,9

Полученные ряды не показывают никакой закономерности, и, по нашему мнению, никакого заключения об убывании или возрастании производительности из них вывести нельзя, а если уж делать вывод, то, конечно, в пользу возрастания с увеличением объема, а никак не убывания, особенно если исключить первую цифру (3,7) урожая озимой ржи; а исключить ее, по нашему мнению, необходимо, так как весь абсолютный урожай для этого случая равен всего 0,526 г¹, с такой же величиной при вегетационных опытах оперировать невозможно, так как она значительно ниже погрешности самого метода.

Рассматриваемым нами вопросом много занимался Hellriegel² при изучении влияния объема почвы на корневую систему; свои опыты он производил с почвой, не нуждавшейся в удобрениях, с целью показать, что объем почвы сам по себе влияет на произрастание растений и что больший урожай при большом объеме почвы в сосуде и при обеспеченности в питательных веществах есть именно результат влияния этого фактора. С. Kraus³ не соглашается с этим положением Hellriegel'я; по его мнению, причиной зависимости высоты урожая от объема почвы является различие в условиях питания растений в сосудах с различным количеством почвы, обусловливаемое различием в развитии корневой системы растений.

¹ Wollny. Saat und Pflege. 1885, стр. 394.

² Beiträge zu den naturwissenschaftl. Grundlagen des Ackerbaues, 1883, стр. 118—280.

³ Untersuchungen über die Bewurzelung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, т. 17, стр. 55.

В последнее время были произведены по этому же вопросу исследования Lemmermann'ом. В первых двух своих статьях¹ он пришел к тому же выводу, что и Hellriegel: «увеличение урожая в более крупных сосудах обуславливается фактором, не находящимся в зависимости от питания растений; объем сам по себе влияет на развитие растений». Но в третьей своей статье² Lemmermann изменил свой взгляд: на основании того, что в водных культурах он получал одинаковые урожаи при различных объемах сосудов, он вывел, что главную роль здесь играет не объем сам по себе, а большие количества воды, даваемой растениям при большем объеме почвы. Мы вполне присоединяемся к этому выводу; без сомнения, различные абсолютные количества воды играют в рассматриваемом явлении огромную роль; в качестве косвенного подтверждения можно привести, например, тот факт, что в вегетационных сосудах, вообще говоря, почвы с большей влагоемкостью дают при полном удобрении большие урожаи, нежели почвы с меньшей влагоемкостью.

Такое объяснение зависимости урожая от объема почвы не противоречит и вышеприведенному взгляду Kraus'a; наоборот, нам кажется, даже в известной степени подтверждает его, так как с изменением в поглощении и испарении воды должны изменяться также и условия питания растений. Вместе со всем этим считаем, однако, что опыт Lemmermann'a, приводимый им в доказательство роли воды, мало убедителен; условия произрастания растений в почве и в воде настолько различны, и среда развития корней в первом и во втором случае так мало имеет между собою общего, что независимость роста растения от объема воды в водных культурах еще ничего не говорит против влияния объема почвы «самого по себе». Дальше мы приведем опыт, который, по нашему мнению, лучше доказывает влияние воды на урожай в сосудах различной величины.

Обратимся теперь к описанию наших опытов. Они были поставлены в 1904 и 1905 гг., в обоих случаях опытным растением служил овес. В 1904 г. опыты велись на суглинистом черноземе Бобровского уезда Воронежской губернии из имени Анна³ в вагнеровских сосудах трех размеров: 1) диаметр и высота 20 см; 2) диаметр 20, высота 40 см; 3) диаметр 25, высота 33 см; в сосуды первой величины помещалось по 4,6 кг, второй величины по 10,1 кг и в сосуды третьей величины по 13,2 кг почвы (по перечислению на сухую). С каждой серией были поставлены сосуды (по два) без удобрения, с полным удобрением, с полным удобрением без азота и с полным удобрением без фосфорной кислоты; состав полного удобрения был следующий: 0,32 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,16 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 , с 0,02 г K_2O в K_2SO_4 на каждый килограмм почвы. Овес был посеян 3 июня, взошел 9 июня; в каждом сосуде было оставлено по 15 растений. Влажность

¹ O. L e m m e r m a n n. Untersuchungen über den Einfluss eines verschiedenen grossen Bodenvolumens auf den Ertrag und die Zusammensetzung der Pflanzen. «Journ. f. Landw.», т. 51, стр. 1 и 279.

² O. L e m m e r m a n n. Untersuchungen über den Einfluss eines verschiedenen grossen Bodenvolumens auf die Entwicklung der Pflanzen. «Journ. f. Landw.», т. 53, стр. 173.

³ Химический и механический состав этой почвы можно видеть из аналитических данных, помещенных мною в статье «Потребность в удобрении русских почв из различных местностей по вегетационному методу». «Труды Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. IV, стр. 14 и далее. Для описываемых опытов были смешаны образцы с участков D, E и F.

⁴ Калия мы давали немного, так как предшествующие опыты показали, что почва в нем не нуждается.

в сосудах во время вегетации поддерживалась ежедневной поливкой во всех сосудах на высоте 41% от веса сухой почвы.

До 20 июня овсы в сосудах каждой серии не отличались между собою, не выказывая потребности в удобрениях; с этого же числа стала проявляться реакция на фосфорную кислоту: растения в сосудах без удобрения и с полным удобрением без P_2O_5 стали поемногу отставать от растений в сосудах с полным удобрением и с полным без азота, причем реакция на фосфор стала сначала заметной в малых сосудах, затем в средних и только к 23 июня в больших. К этому же времени началось купение овса.

	Сосуды малые	Сосуды средние	Сосуды большие
Без удобрения	28 июня	28 июня	28 июня
Полное удобрение	23 »	22 »	20 »
» без N	23 »	22 »	20 »
» » P_2O_5	29 »	28 »	28 »

Цифры наглядно показывают зависимость времени купения от обеспеченности растения в питательных веществах: всюду при полном удобрении и полном без азота, в котором овес к этому времени еще не нуждался, оно раньше, нежели без удобрения и при полном без фосфорнокислого, причем в больших сосудах купение наступало раньше, чем в меньших, т. е. чем больше было питательных веществ в почве, тем раньше раскустился овес.

Потребность в азоте стала проявляться значительно позже, нежели в фосфорной кислоте; только с 6 июля овес в сосудах по полному удобрению без азота стал постепенно желтеть и поемногу отставать в росте от овса по полному удобрению, причем опять-таки эта потребность сначала сказалась в меньших сосудах, затем в средних (начиная с 12 июля) и, наконец, в больших (с 15 июля). В нашей почве, как видно будет из результатов этого опыта, в первом минимуме находится и азот и фосфорная кислота, но общий урожай в сосудах без фосфорнокислого удобрения получился выше, чем без азота (об этом будет подробнее ниже); таким образом, овес без азота в первую половину вегетационного периода развивался значительно лучше, нежели овес без фосфорной кислоты, почти не отличаясь в росте от овса по полному удобрению, во вторую же половину вегетации он, постепенно отставая в росте, в конце концов отстал не только от овса по полному удобрению, но и от овса без фосфорнокислого удобрения. Подобное явление часто наблюдается и на почвах, где в конечном результате в первом минимуме оказывается азот; и здесь в начале вегетации в первом минимуме может оказаться фосфорная кислота, а затем постепенно в это положение становится азот. С подобной *переменой минимума* мы встретимся и в излагаемых ниже опытах 1905 г., там остановимся на этом явлении подробнее.

Начало колошения во всех сосудах 26 июля. 16 октября овес был убран во всех сосудах в зрелом состоянии. После уборки овса в одном из каждой пары параллельных сосудов были отмыты корни и взвешены в воздушносухом состоянии; полученные цифры нельзя считать вполне точными, так как почва в сосудах за вегетационный период сильно уплотнилась, корни же распространились по всему объему сосуда, и вымыть всю почву, не потеряв части мелких корешков, не представлялось возможным; но, несмотря на это, мы все-таки приведем полученные данные как представляющие некоторый интерес. Результаты опыта собраны в таблице 1.

Таблица 1

Влияние объема почвы на урожай осеа. Опыт 1904 г. (суглинистый чернозем). Урожай осеа (в граммах на сосуд)

	Размер сосуда (в см)		Вес почвы в сосу-де (в кг)	Без удобрения					Полное удобрение					Полное удобрение без N					Полное удобрение без P ₂ O ₅				
	Высота	Диаметр		№ сосуда	верно	солома	наземный урожай	корни	№ сосуда	верно	солома	наземный урожай	корни	№ сосуда	верно	солома	наземный урожай	корни					
1-й параллельный со-суд	20	20		626	15,645,9	31,5	7,5	628	56,0	65,0	121,0	19,1	631	19,6	20,5	40,1	—	633	18,6	34,4	53,0	6,9	
2-й параллельный со-суд	20	20	4,6	627	15,44,2	29,6	—	630	56,1	63,0	119,9	—	632	19,3	19,6	38,9	8,1	634	15,6	31,2	46,2	—	
Среднее из двух па-раллельных сосу-дов	—	—		—	15,515,1	30,6	—	—	56,1	64,4	120,5	—	—	19,5	20,0	39,5	—	—	17,1	32,8	49,9	—	
1-й параллельный со-суд	40	20		8	35,745,1	80,813,2	—	5	80,8	108,8	189,6	—	4	41,2	46,0	87,213,8	—	2	38,2	73,8	112,0	—	
2-й параллельный со-суд	40	20	10,1	7	35,143,3	78,4	—	6	84,9	112,3	197,2	26,1	3	39,6	46,4	86,0	—	1	41,2	75,4	116,6	21,0	
Среднее из двух па-раллельных сосу-дов	—	—		—	35,444,2	79,6	—	—	82,8	110,6	193,4	—	—	40,4	46,2	86,6	—	—	39,7	74,6	114,3	—	
1-й параллельный со-суд	33	25		22	46,062,0	108,013,3	—	24	110,2	149,1	243,5	—	20	56,3	68,6	124,9	21,5	28	51,9	105,6	157,4	32,0	
2-й параллельный со-суд	33	25	13,2	23	45,261,4	106,6	—	25	114,2	135,9	250,1	37,8	27	56,3	65,6	121,8	—	29	54,5	101,4	155,9	—	
Среднее из двух па-раллельных сосу-дов	—	—		—	45,661,7	107,3	—	—	112,2	134,6	246,8	—	—	56,3	67,1	123,4	—	—	53,2	103,2	156,7	—	

Опыты 1905 г. были поставлены на песчаном черноземе Бобровского уезда Воронежской губернии из имения г. Резцова¹ в сосудах пяти размеров: 1) диаметр и высота 20 см; 2) диаметр 20, высота 33 см; 3) диаметр 20, высота 40 см; 4) диаметр 25, высота 33 см и 5) диаметр 25, высота 40 см. Количество почвы на сосуд было соответственно: 5,47, 8,75, 10,94, 13,77 и 16,42 кг (по перечислению на сухую). Так же как и в опытах 1904 г., для каждой величины были поставлены сосуды без удобрений, с полным удобрением, с полным удобрением без азота и с полным удобрением без фосфорной кислоты; состав полного удобрения был следующий: 0,32 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,16 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 и 0,05 г K_2O в K_2SO_4 на каждый килограмм почвы; влажность во всех сосудах поддерживалась во время вегетации ежедневной поливкой на высоте 27,3% от веса сухой почвы сосуда.

Овес был посеян 20 мая и взшел 27 мая; в каждом сосуде было оставлено по 15 растений.

Как показывают результаты этого ряда опытов, урожай овса без азотистого удобрения получился значительно меньше, нежели без фосфорнокислого удобрения (приблизительно в два раза), и таким образом в конечном результате в первом минимуме в нашей почве для овса надо признать азот; в первую же половину вегетационного периода, подобно тому как и в предшествующей серии опытов, наоборот, в первом минимуме во всех сосудах была фосфорная кислота; уже к 8 июня растения в сосудах без фосфорнокислого удобрения и без всякого удобрения ясно отстали в росте от прочих, первые же признаки недостатка в азоте проявились только к 15 июня, причем вплоть до 30 июня растения с полным удобрением без азота были лучше, нежели без фосфорнокислого удобрения; только начиная с этого числа они стали отставать от последних и в конце концов дали значительно меньший урожай. Подобное явление смены минимумов в течение вегетации, и именно смены первоначального минимума Р на минимум N, нам приходилось наблюдать на всех почвах, исключая тех крайних случаев, когда почвы были очень богаты усвояемой фосфорной кислотой и сравнительно очень бедны усвояемым азотом; обратного же явления, чтобы в первой половине вегетации в первом минимуме был азот, а в окончательном фосфорная кислота, мы никогда не наблюдали. Причина этого явления заключается, по нашему мнению, в различных условиях использования растением азота и фосфорной кислоты почвы; в каждый момент растение может использовать только тот азот, который находится в почве в виде азотных и аммиачных солей, само растение не может принимать участия, не может способствовать переходу этих соединений в почвенный раствор, так как все их количество, находящееся в почве, должно само по себе быть в растворе. Иначе обстоит дело с фосфорнокислыми соединениями почвы; степень использования их находится в тесной зависимости от развития корневой системы растения: переходу их в раствор содействуют, с одной стороны, корневые выделения, с другой стороны, и само поглощение находящейся в растворе фосфорной кислоты, так как взамен ее в раствор должны перейти новые количества этого вещества; поэтому, исключая случая особенно благоприятных условий нитрификации во время вегетационного периода, растение в первые периоды своего развития будет лучше обеспечено в азотистой пище, нежели

¹ Данные о химическом и механическом составе этой почвы помещены в моей статье «Потребность в удобрении русских почв». «Труды Сельхоз. хим. лаборатории», вып. IV, стр. 34 и 36.

Таблица 2

Влияние объема почвы на урожай овса. Опыт 1905 г. (Песчаный чернозем). Урожай овса (в граммах на сосуд)

	Размер сосуда (в см)		Вес почвы в сосуде (в кг)	Все удобрения				Полное удобрение				Полное удобрение без N				Полное удобрение без P ₂ O ₅			
	высота	диаметр		№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего
1-й параллельный сосуд	20	20	5,47	672	3,7	4,8	8,5	674	40,3	36,5	76,8	676	3,3	5,6	8,9	678	6,8	7,5	14,3
2-й "	20	20	5,47	673	4,4	5,2	9,6	675	39,5	35,3	74,8	677	3,5	4,6	8,1	679	7,9	6,5	14,4
Среднее из двух параллельных сосудов	—	—	5,47	—	4,1	5,0	9,1	—	38,9	35,9	75,8	—	3,4	5,1	8,5	—	7,4	7,0	14,4
1-й параллельный сосуд	33	20	8,75	1	6,1	6,5	12,6	3	58,5	56,5	115,0	5	6,7	8,5	15,2	7	10,2	11,9	22,1
2-й "	33	20	8,75	2	6,2	5,9	12,1	4	59,0	57,5	116,5	6	7,2	8,9	16,1	8	10,5	12,4	22,9
Среднее из двух параллельных сосудов	—	—	8,75	—	6,2	6,2	12,4	—	58,8	57,0	115,8	—	7,0	8,7	15,7	—	10,4	12,1	22,5
1-й параллельный сосуд	40	20	10,94	1	7,7	7,0	14,7	4	69,7	70,0	139,7	8	8,1	9,4	17,5	9	13,3	13,3	27,1
2-й "	40	20	10,94	—	—	—	—	5	67,5	72,8	140,3	—	—	—	—	10	14,6	14,6	28,9
Среднее из двух параллельных сосудов	—	—	10,94	—	—	—	14,7	—	68,6	71,4	140,0	—	—	—	17,5	—	14,0	14,0	28,0
1-й параллельный сосуд	33	25	13,77	15	12,2	12,0	24,2	19	89,0	86,0	175,0	21	12,2	14,7	26,9	25	17,2	17,0	34,2
2-й "	33	25	13,77	—	—	—	—	20	89,7	90,7	180,2	—	—	—	—	28	18,6	18,6	37,2
Среднее из двух параллельных сосудов	—	—	13,77	—	—	—	24,2	—	89,4	88,2	177,6	—	—	—	26,9	—	17,9	17,8	35,7
ных сосудов	40	25	16,42	1	16,2	16,9	33,1	2	102,6	104,2	206,3	3	16,0	18,1	34,1	4	21,0	21,8	42,8

Таблица 3

Влияние объема почвы на урожай овса. Содержание фосфорной кислоты и азота в урожае овса опыта 1904 г.

Количество почвы на сосуд (в кг)	Всё удобрение			N+P+K			P+K			N+K		
	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай
Процентное содержание P_2O_5 в воздушносухом веществе												
4,6	0,722	0,067	0,400	0,571	0,051	0,290	0,780	0,403	0,583	0,550	0,116	0,232
10,1	0,764	0,102	0,395	0,684	0,071	0,333	0,802	0,393	0,583	0,532	0,125	0,265
13,2	0,727	0,109	0,370	0,681	0,073	0,376	0,792	0,310	0,550	0,527	0,123	0,259
Абсолютное содержание P_2O_5 в урожае сосуда (в г)												
6,4	0,112	0,010	0,122	0,320	0,030	0,350	0,152	0,080	0,232	0,094	0,022	0,116
10,1	0,270	0,045	0,315	0,566	0,079	0,645	0,324	0,181	0,505	0,210	0,098	0,303
13,2	0,331	0,067	0,398	0,832	0,098	0,930	0,471	0,208	0,679	0,280	0,127	0,407
Процентное содержание N в воздушносухом веществе												
4,6	1,454	0,322	0,895	1,976	0,555	1,217	1,194	0,288	0,737	2,332	1,337	1,679
10,1	1,427	0,343	0,824	1,756	0,466	1,018	1,262	0,288	0,742	2,318	1,070	1,502
13,2	1,481	0,364	0,838	1,707	0,466	1,131	1,290	0,288	0,742	2,405	1,061	1,446
Абсолютное содержание N в урожае сосуда (в г)												
4,6	0,225	0,049	0,274	1,109	0,357	1,466	0,233	0,058	0,291	0,399	0,439	0,838
10,1	0,505	0,151	0,656	1,454	0,515	1,969	0,510	0,133	0,643	0,920	0,798	1,718
13,2	0,675	0,224	0,899	2,086	0,726	2,812	0,726	0,193	0,916	1,168	1,088	2,266

Фосфорная кислота

Азот

в последующие: в его распоряжении будет весь запас удобоусвояемого азота, накопившегося в почве за период до вегетации; кроме того, и количество азота, нужное для нормального развития растения, еще не велико; по мере же использования запаса и возрастания растительной массы растение начинает ощущать все больший и больший недостаток в азоте; для фосфорнокислого же питания мы имеем обратное; в первые периоды развития в распоряжении растения будет меньше усвояемой фосфорной кислоты, так как деятельность самого растения будет незначительна, по мере же роста деятельность эта должна все возрастать.

Овес во всех сосудах этого опыта был срезан в зрелом состоянии в конце августа.

Результаты опыта 1905 г. собраны в таблице 2. В таблице 3 мы приводим результаты определения фосфорной кислоты и азота в урожае, полученных в 1904 г. на суглинистом черноземе.

Перейдем теперь к рассмотрению полученных результатов; прежде всего остановимся на абсолютной величине урожаев и для большей наглядности приведем здесь из таблиц 1 и 2 только средние общие урожай зерна и соломы (в граммах на сосуд).

Сосуды	Количество почвы на сосуд (в кг)	Без удобрения	N+P+K	P+K	N+K
1904 г.					
20×20 см	4,6	30,6	120,5	39,5	49,9
20×40 »	10,1	79,6	193,4	86,5	114,3
20×33 »	13,2	107,3	246,8	123,4	156,7
1905 г.					
20×20 см	5,5	9,1	75,8	8,5	14,4
20×33 »	8,7	12,4	115,8	15,7	22,5
20×40 »	10,9	14,7	140,0	17,5	28,0
25×33 »	13,8	24,2	177,0	26,9	35,7
25×40 »	16,4	33,1	206,8	34,1	42,8

Рассмотрим урожай по полному удобрению; как мы видим, на обеих почвах они растут вместе с увеличением объема почвы. Если мы перечислим эти урожаи на весовую единицу почвы и сравним полученную производительность 1 г почвы в сосудах равной величины:

Производительность 1 кг почвы по полному удобрению

Опыт 1904 г.

Сосуды	20×20 см	20×40 см	25×33 см
Урожай (в г)	26,2	19,1	18,7

Опыт 1905 г.

Сосуды	20×20 см	20×33 см	20×40 см	25×33 см	25×40 см
Урожай (в г)	13,8	13,2	12,9	12,9	12,6

то увидим, что с увеличением объема почвы производительность падает, т. е. что урожаи по полному удобрению увеличиваются не пропорционально объему почвы, а несколько медленнее. Чем же объяснить, во-пер-

вых, самый факт зависимости урожая от объема почвы¹ и, во-вторых, меньшую производительность почвы в сосудах большей величины? Относительно первого вопроса, как мы видели, существует три различных мнения: Hellriegel видит причину зависимости урожая от количества почвы в объеме самом по себе, который он признает, таким образом, самостоятельным фактором вегетации, Kraus—в различных условиях питания растения в сосудах различной величины благодаря иному развитию корневой системы и, наконец, Lemmermann—в различных количествах воды, даваемых растению при различных количествах почвы. Признавая вместе с Lemmermann'ом, что в данном явлении первенствующая роль принадлежит воде, мы поставили следующий опыт.

В сосуды, оставленные с почвой из-под опытов 1904 г. (суглинистый чернозем), весной 1905 г. были прибавлены соответствующие удобрения и высеян овес; сосуды малые и большие поливались по обычной норме, т. е. влажность почвы в них поддерживалась на высоте 41%; сосуды же средние (20×40 см) с полным удобрением и с полным без фосфора поливались таким образом, чтобы абсолютное содержание в них воды было то же, что и в больших, для чего влажность в них приходилось поддерживать при 53,5%.

Мы приведем здесь только общие урожаи зерна и соломы, полученные в этом опыте.

» Урожай (в граммах на сосуд)

Сосуды	Количество почвы (в кг)	Без удобрений	N+P+K	P+K	N+K
20×20 см	4,7	11,2	80,5	8,3	26,6
20×40 »	10,1	28,2	190,6	25,8	67,4
25×33 »	13,2	39,1	196,5	37,6	82,2

Производительность 1 кг почвы в этом опыте оказывается для разных сосудов следующая (в граммах).

Сосуды	Без удобрения	Полное удобрение	Полное без N	Полное без P ₂ O ₅
20×20 см	2,4	17,9	1,8	5,9
20×40 »	2,8	18,8	2,5	6,6
25×33 »	3,0	15,0	2,9	6,2

И тут мы видим, как и в раньше изложенных опытах, что в сосудах без удобрения и без азота, т. е. там, где влажность почвы поддерживалась при одном и том же проценте, производительность почвы несколько увеличивалась с увеличением объема сосуда; по полному же удобрению и по полному без фосфорнокислого правильность в изменчивости этих цифр

¹ Что в наших опытах при самом малом объеме почвы оставалось еще много неиспользованных питательных веществ, ясно видно из сравнения содержания азота и фосфорной кислоты в урожаях с количеством этих веществ, внесенных и имевшихся в почве. Например, в малых сосудах 1904 г. урожай содержал 1,212 г N и 0,350 г P₂O₅, в поч. у же внесено было 1,5 г N и 0,75 г P₂O₅; кроме того, в ней содержалось (на основании урожая без удобрения) 0,274 г N и 0,122 г P₂O₅ в доступной растениям форме.

нарушается цифрами для сосудов средней величины: производительность 1 кг почвы для этих сосудов оказалась выше, чем для малых и больших; особенно это резко при полном удобрении. Если мы примем общий урожай в больших сосудах по полному удобрению за 100, то для урожаев в других сосудах этого опыта получим:

Сосуды малые (20×20 см)	41
» средние (20×40 см)	97
» большие (25×33 см)	100

В опыте же 1904 г. на той же почве мы имели:

Сосуды малые (20×20 см)	49
» средние (20×40 см)	78
» большие (25×33 см)	100

Таким образом, производительность почвы и относительная величина урожая под влиянием большей влажности в сосудах средней величины сильно возросли, причем общий урожай овса почти сравнялся с урожаем его в больших сосудах; опыт, по нашему мнению, ясно доказывает, что больший абсолютный урожай в сосудах, содержащих больше почвы, обусловливается главным образом большим количеством воды, предоставляемой в распоряжение растения в более крупных сосудах. Но урожай в средних сосудах получился все-таки несколько ниже, нежели в больших (97 вместо 100), несмотря на одинаковое содержание воды, поэтому опыт не дает возможности утверждать, что в данном вопросе имеет исключительное значение количество воды; но, с другой стороны, этот результат мы не имеем права рассматривать как влияние объема «самого по себе», так как, без сомнения, овес в средних сосудах был относительно проветривания почвы в худших условиях, нежели овес в больших сосудах, вследствие более высокого процента влажности; поэтому несколько более низкий урожай в средних сосудах, быть может, был обусловлен этим обстоятельством. Во всяком случае влияние объема почвы самого по себе должно быть признано ничтожным. Роль воды в данном явлении заключается, по всей вероятности, в создании лучших условий питания растений: большие количества воды должны способствовать более сильному использованию питательных веществ, находящихся в доступной растению форме; вопрос этот требует во всяком случае дальнейших исследований.

Мы видели выше, что при полном удобрении урожай растет медленнее, нежели объем почвы, и, следовательно, количество даваемой воды. Какова же причина этого? Здесь, по нашему мнению, играет роль другой фактор вегетации, а именно свет; очевидно, что условия освещения растений при большем урожае с единицы поверхности будут менее благоприятны для произрастания; достаточно взглянуть на вышеприведенные цифры производительности 1 кг почвы (стр. 32), чтобы увидеть, что производительность гораздо сильнее падает при переходе от меньших сосудов к большим, но имеющих одинаковую площадь поперечного сечения, нежели имеющим большую поверхность: так, при увеличении количества почвы в сосудах с диаметром 20 см с 4,6 до 10,2 кг производительность упала с 26,2 до 19,2 г, между тем как при переходе от сосудов 20×40 см к сосудам 25×33 см с увеличением почвы с 10,2 до 13,1 кг производительность уменьшилась всего с 19,7 до 18,6 г, а в опыте 1905 г. в этом случае даже осталась совсем без изменения; можно наверно сказать, что при еще большем диаметре сосуда, но при том же объеме производительность почвы могла бы даже возрасти. Роль света в этом явлении подтверждается также и сравнением между собою опытов 1904 и 1905 гг.; в последних

вообще производительность значительно менее падает, чем в опытах 1904 г.; и вместе с тем и общая величина урожая в каждом сосуде значительно ниже.

Обратимся теперь к производительности почвы в различных сосудах при недостатке того или другого питательного вещества. Таблицы урожаев (см. стр. 28 и 30) показывают, что и здесь урожай с увеличением объема почвы увеличивается, но производительность 1 кг почвы, в противоположность тому, что мы видели при полном удобрении, не уменьшается, а возрастает:

Производительность 1 кг почвы (в г) (урожай надземных частей)

Сосуды	Количество почвы на сосуд (в кг)	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без N	Полное удобрение без P_2O_5
1904 г.					
20×20 см	4,6	6,9	26,2	8,6	10,8
20×40 »	10,1	7,9	19,1	8,6	11,3
25×33 »	13,2	8,1	18,7	9,6	11,9
1905 г.					
20×20 см	5,5	1,6	13,8	1,5	2,6
25×33 »	8,7	1,4	13,2	1,8	2,6
20×40 »	10,9	1,3	12,9	1,6	2,6
25×33 »	13,8	1,7	12,9	1,9	2,5
20×40 »	16,4	2,0	12,6	2,1	2,6

Увеличение урожая с увеличением количества почвы в данном случае, конечно, обусловлено тем питательным веществом, которое находится в минимуме; в больших сосудах количество его больше, потому и урожай выше. Но почему производительность почвы увеличивается? Анализ растений (табл. 3) показывает, что это явилось следствием лучшего использования растениями в больших сосудах азота и фосфорной кислоты почвы; так, урожаи 1904 г. извлекли из 1 кг почвы, не удобренной в одном случае азотом, а в другом фосфорной кислотой, следующие количества фосфорной кислоты и азота (в граммах):

Сосуды	P_2O_5	N
20×20 см	0,025	0,063
20×40 »	0,030	0,066
25×33 »	0,031	0,070

Лучшее же использование почвы с увеличением ее объема может быть объяснено тем, что чем больше объем почвы, нуждающейся в каком-нибудь удобрении, тем лучше обеспечены растения в первый период своего развития, когда их потребность в питании еще не велика, и потому тем сильнее они развиваются и тем полнее впоследствии будут использовать питательные вещества почвы.

Возрастание производительности в наших опытах гораздо яснее выразилось на суглинистом черноземе, нежели на песчаном, что опять-

таки вполне понятно с вышеприведенной точки зрения: первая почва значительно более плодородна и по отношению к азоту и по отношению к фосфорной кислоте, нежели песчаный чернозем опыта 1905 г., и потому лучшие условия в питании растений в сосудах большей величины должны были сильнее сказаться на более плодородном суглинистом черноземе.

Мы указывали раньше, что в опытах Peters'a, Haberlandt'a и Wollny в некоторых случаях производительность почвы при недостатке в питательном веществе уменьшалась с увеличением объема сосуда; еще определеннее это получилась у Lemmermann'a¹: при увеличении количества почвы без фосфорнокислого удобрения с 15 до 22,5 кг (т. е. в 1,5 раза) урожай горчицы увеличился лишь с 35,5 до 44,4 г (т. е. в 1,25 раза), в сосудах с 30 кг почвы он был лишь 49,4 г (т. е. увеличился лишь в 1,39 раза); но нам кажется, что это не противоречит нашим результатам; производительность может увеличиваться и уменьшаться с увеличением объема почвы, в зависимости от того, каковы объемы почвы, в каких пределах изменяются они и насколько полно используется растениями почва; у Lemmermann'a, например, можно думать, что растения не вполне использовали уже наименьший его объем почвы (15 кг), а тогда, конечно, еще в большей степени это должно было происходить в больших сосудах, так как число растений у него всюду было одинаково. Вообще мы все наши выводы относим только к исследованным нами объемам; без сомнения, и у нас получилось бы в конце концов уменьшение производительности, если бы мы стали дальше увеличивать размеры сосудов или сильно уменьшили бы число растений: по всей вероятности, на результат влияет и род растения, а быть может, и степень плодородия почвы, так как чем последняя плодороднее, тем сравнительно в более худших условиях относительно света будут находиться растения в больших (собственно говоря, в более глубоких) сосудах.

Перейдем теперь к главному нашему вопросу: изменится ли и в какой степени относительная потребность почвы в удобрениях при испытании в сосудах различной величины? Наши опыты дают следующую величину для относительных урожаев овса в сосудах различной величины, если принять урожай по полному удобрению отдельно в сосудах каждой величины за 100.

Сосуды	Количество почвы на сосуд (в кг)	Без удобрения	N+P+K	P+K	N+K
1904 г.					
20×20 см	4,6	25,0	100	33,0	42,0
20×40 »	10,1	41,0	100	45,0	59,0
25×33 »	13,2	43,0	100	50,0	63,0
1905 г.					
20×20 см	5,5	12,0	100	11,0	19,0
20×33 »	8,7	10,6	100	13,5	19,4
20×40 »	10,9	10,0	100	12,0	20,0
25×33 »	13,8	13,0	100	15,0	20,1
25×40 »	16,4	14,0	100	16,5	20,1

¹ «Journ. f. Landw.», т. 51.

Таким образом, относительный урожай изменяется с изменением объема почвы в сосудах, а именно он увеличивается с увеличением объема, т. е. *относительная потребность почвы в удобрениях уменьшается с увеличением объема сосудов, в которых производится исследование*. Далее, таблица показывает, что относительная потребность изменяется сильнее у суглинистого чернозема, чем у песчаного; из изложенного выше об изменении производительности этих почв с изменением объема должна быть ясна причина этого: относительная потребность почв в каком-либо элементе есть частное от деления урожая с почвы, не получившей этого элемента, на урожай по полному удобрению; числитель этой дроби увеличивается не пропорционально объему почвы, а быстрее, и тем быстрее, чем плодороднее почва (каков у нас суглинистый чернозем); знаменатель же увеличивается медленнее, нежели объем, и притом тем медленнее, чем большие урожаи способна давать почва по полному удобрению, а последнее в сосудах замечается обычно у почв более глинистых; таким образом, обе величины, от которых зависит относительный урожай почвы, изменяются с увеличением объема сосуда в направлении возрастания этой величины и притом сильнее для более плодородного и дающего больший урожай по полному удобрению суглинистого чернозема, нежели песчаного. На основании сказанного мы думаем, что констатированная выше *зависимость относительной потребности почв в удобрениях от объема сосудов, по всей вероятности, будет сказываться тем сильнее, чем плодороднее почва и чем больший урожай она дает по полному удобрению*.

Конечно, те колебания в величине относительной потребности в удобрениях, которые получились у нас с изменением объема песчаного чернозема, очень невелики, на них можно и не обращать внимания; не то уже в случае несколько более плодородного суглинистого чернозема, на котором, как мы видели, относительный урожай по полному удобрению без фосфорнокислого в сосудах с 4,6 кг почвы 43, а с 13,2 кг—уже 63; конечно, и эти цифры не настолько различны, чтобы затруднить приблизительную характеристику почвы в отношении плодородия, тем более что от вегетационного метода в лучшем случае большего и не требуют; но если действительно окажется, что для почв, более плодородных, чем наши, в различных сосудах относительные урожаи еще больше различаются, то это обстоятельство, как мы это уже упоминали вначале, будет одним из доводов против применимости вегетационного метода к определению потребности почв в удобрениях, так как мы не будем знать, на какой величине сосудов остановиться.

Полученные нами результаты опыта 1904 г. на суглинистом черноземе интересны и в некоторых других отношениях.

Прежде всего мы видим, что на этой почве и фосфорная кислота и азот, каждый в отдельности, повышают урожай¹.

Общий урожай овса (в г)

Сосуды	Без удобрения	P+K	N+K
20×20 см	30,6	39,5	49,9
20×40 »	79,6	86,6	114,3
25×33 »	107,3	123,4	156,7

¹ В калии эта почва вовсе не нуждается.

Особенно сильно поднялся урожай от внесения азота. Этот интересный случай довольно часто наблюдается при испытании почвы в удобрениях. Основываясь только на величине урожаев, можно было бы думать, что дело тут заключается в увеличении количества усвояемой фосфорной кислоты в почве под влиянием внесенных $N+K$ и усвояемого азота под влиянием $P+K$; но анализ растений показывает, что фосфорной кислоты овес и без удобрения и по полному удобрению без фосфорнокислого извлек из почвы одно и то же количество.

Содержание P_2O_5 в общем урожае овса

Сосуды	Без удобрения (в г)	по $N+K$ (в г)
20×20 см	0,122	0,116
20×40 »	0,315	0,303
25×33 »	0,398	0,404

Совершенно то же и относительно азота.

Сосуды	Без удобрения (в г)	по $P+K$ (в г)
20×20 см	0,274	0,291
20×40 »	0,656	0,643
20×33 »	0,899	0,919

Таким образом, и фосфор и азот были на самом деле в нашей почве в первом минимуме, урожай же от внесения каждого из них в отдельности подымался потому, что растение почему-то получало при этом способность создавать свое вещество с меньшим процентным содержанием того питательного элемента, который не вносился; в этом явлении мы видим подтверждение взгляда, высказанного впервые, насколько нам известно, проф. Богдановым, что недостаток в каком-нибудь питательном веществе иногда может быть в известной степени восполнен избытком другого¹.

Далее эти же опыты могут служить хорошей иллюстрацией того, что при избыточном азотистом удобрении получаемые урожаи злаков отличаются высоким содержанием соломы.

Урожай овса (в граммах на сосуд)

Сосуды	Без удобрения			Азот и калий		
	зерна	соломы	всего	зерна	соломы	всего
20×20 см	15,5	15,1	30,6	17,1	32,8	49,9
20×40 »	35,4	44,2	79,6	39,7	74,6	114,3
25×33 »	45,6	61,7	107,3	53,2	103,5	156,7

¹ Проф. С. Богданов. Третий отчет о работах по изучению плодородия почв. «Сельское хозяйство и лесоводство», т. 198, стр. 267.

Отношение зерна к соломе.

Сосуды	Без удобрения	Азот и калий
20×20 см	1:1	1:1,9
20×40 »	1:1,3	1:1,9
25×33 »	1:1,3	1:1,9

Таким образом, в самых малых сосудах азотистое удобрение без фосфорнокислого создало урожай вдвое более богатый соломой, чем урожай без удобрения; интересно сопоставить с этим энергию кушения; число стеблей, полученных из 15 оставленных всходов при различной комбинации удобрений, оказалось следующим:

Сосуды	Без удобрения	N+P+K	P+K	N+K
20×20 см	15	37	15	37
20×40 »	30	57	25	67
25×33 »	37	66	33	76

т. е. по одному азотистому удобрению энергия кушения была вдвое больше, нежели без удобрения, и в средних и больших сосудах превосходила даже энергию кушения при полном удобрении. Избыток фосфорнокислого удобрения (сосуды с P+K) повлиял скорее обратно и на энергию кушения и на относительный урожай соломы; но в обоих случаях содержание избыточно внесенного питательного вещества в продуктах урожая, как видно из таблицы 3, громадно, особенно высоко оно в соломе; так, в то время, как в соломе без удобрения и по полному удобрению процент азота около 0,5, по одному азотистому удобрению он достигает 1,3; процентное содержание фосфорной кислоты в соломе без удобрения и по полному удобрению около 0,1, а по одному фосфорнокислому удобрению около 0,4; таким образом, избыточно внесенное в почву питательное вещество не только, согласно закону минимума, не поднимает урожая (или поднимает, как в нашем случае, лишь незначительно), но и бесполезно тратится на создание органической массы, процентно более богатой им. В каких широких пределах может колебаться отношение азота к фосфорной кислоте в зерне и соломе овса при различных удобрениях, показывают ниже следующие цифры, вычисленные на основании данных таблицы 3.

Отношение N к P_2O_5 в урожаях овса

Сосуды	Без удобрения	N+P+K	P+K	N+K
Зерно				
20×20 см	100:50	100:30	100:65	100:23
20×40 »	100:54	100:39	100:64	100:23
25×33 »	100:49	100:40	100:62	100:24
Солома				
20×20 см	100:21	100:9	100:140	100:9
20×40 »	100:30	100:15	100:137	108:12
20×33 »	100:30	100:16	100:107	100:12

Итак, рассмотрение результатов опытов по влиянию объема почвы на урожай приводит нас к следующим заключениям.

1. С увеличением объема предоставляемой растениям почвы возрастает и величина даваемого ими урожая как в случае недостатка в каком-нибудь питательном веществе, так и при избыточной обеспеченности в питательных элементах.

2. Урожай с увеличением сосудов возрастает не пропорционально увеличению количества почвы: когда всех питательных веществ в избытке, величина урожая растет медленнее, нежели количество почвы; при недостатке же одного или нескольких питательных веществ величина урожая, наоборот, растет быстрее, чем количество почвы, пока, конечно, объем не увеличен настолько, что растения не в состоянии его использовать вполне.

3. Возрастание урожая при полном удобрении с увеличением употребляемых для опыта сосудов является результатом главным образом, если не исключительно, изменения в условиях питания под непосредственным влиянием больших количеств воды, вносимой в более крупные сосуды.

4. Лучшее использование питательных веществ почвы, находящихся в ней в минимуме, при большом объеме почвы является следствием более сильного развития растений в больших сосудах в первые периоды вегетации; меньшая же производительность почвы при полном удобрении в более крупных сосудах—результат худших условий освещения.

5. Относительная потребность почвы в удобрениях под овсом уменьшается с увеличением объема сосуда, и тем сильнее, чем плодороднее почва и чем более высокий урожай она дает по полному удобрению.

2. ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ РАСТЕНИЙ

Опыты 1904 г. Опыты с густотой посева в 1904 г. были поставлены на песчаном черноземе из имения Резцова, Бобровского уезда, Воронежской губернии, в цинковых сосудах 20 см высоты и 20 см в диаметре с тремя растениями: ячменем, овсом и льном; во все сосуды вносилось одно и то же количество почвы—5,020 кг (по перечислению на сухую) с соответствующими удобрениями; для каждой степени густоты были поставлены сосуды без удобрения, с полным удобрением (0,75 г азота в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,5 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 и 0,5 г K_2O в K_2SO_4), с полным удобрением без азота и с полным удобрением без фосфорной кислоты¹. Для каждого растения испытывалось три степени густоты: для ячменя и овса 15, 10 и 5 растений на сосуд (площадь сосуда 314 кв. см), что составит по перечислению на десятину 12, 8 и 4 пуда семян овса, для льна 50, 30 и 16 растений на сосуд и соответственно на десятину 6, 3,6 и 2 пуда семян.

Посев ячменя и льна был произведен 5 мая, а овса—10 июня; при посеве вносилось вдвое больше семян, чем нужно; лишние растения были удалены через неделю после всхода; распределение оставшихся растений на площади сосуда было приблизительно равномерно. Влажность почвы во все время вегетации поддерживалась ежедневной поливкой при 27,2% (от веса сухой почвы). Растения развивались нормально, и параллельные сосуды дали согласные результаты. Лен поспел к началу сентября,

¹ Сосудов с полным удобрением без калия не ставилось, так как применявшаяся почва на калий не реагировала.

Т а б л и ц а 4

Опыты с различной густотой растений в сосудах на истощенном черноземе (1904 г.)

1. Изменение (урожаи в граммах на сосуд)

	Без удобрения						Полное удобрение						Полное удобрение без N						Полное удобрение без P ₂ O ₅					
	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	общий урожай	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	общий урожай	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	общий урожай	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	общий урожай
15 растений																								
1-й параллельный сосуд	107	6,96	3,13	2	—	—	101	39,840	4,80	2	9,589	7,110	6,26	3,12	5,29	45,41	10,812	7	23,5	—	—	—	—	—
2-й »	108	6,66	4,13	0	—	—	102	39,641	2,80	8	—	111	5,86	4,11	9	—	144	14,44	8	26,4	—	—	—	—
3-й »	109	6,35	9,12	2	—	—	103	40,239	5,79	7	—	112	5,76	6,12	3	—	115	11,74	2	25,9	4,630	5	—	—
Среднее из трех параллельных со- судов	—	6,66	2,12	8	—	—	—	39,940	3,80	2	—	89,7	—	5,96	3,12	2	15,1	—	41,313	0	25,2	—	—	29,8
10 растений																								
1-й параллельный сосуд	116	6,26	3,12	5	—	—	104	39,141	1,80	2	—	119	6,46	2,12	6,3	15,9	122	10,115	2	25,3	5,831	1	—	—
2-й »	117	6,06	6,12	6	—	—	105	38,140	3,78	4	—	120	5,55	9,11	4	—	123	10,415	0	25,4	—	—	—	—
3-й »	118	6,26	7,12	9	—	—	106	40,643	0,83	6	13,4	97,012	6,66	4,13	0	—	124	8,915	6	24,5	—	—	—	—
Среднее из трех параллельных со- судов	—	6,16	6,12	7	—	—	—	39,341	4,80	7	—	94,1	—	6,26	1,12	3	15,6	—	9,815	3	25,1	—	—	—
5 растений																								
1-й параллельный сосуд	125	6,77	5,14	3	—	—	128	39,344	0,83	9	—	131	7,07	4,14	4	3,5	17,8134	11,215	3	26,5	—	—	—	—
2-й »	126	6,98	4,15	3	—	—	129	37,943	6,81	5	—	132	6,97	4,14	3	—	135	10,715	6	26,3	4,931	2	—	—
3-й »	127	6,98	1,15	0	—	—	130	36,641	8,78	7	15,0	93,713	6,77	0,13	7	—	136	8,616	2	24,8	—	—	—	—
Среднее из трех параллельных со- судов	—	6,98	0,14	9	—	—	—	38,043	2,81	3	—	96,3	—	6,97	2,14	1	17,6	—	10,215	7	25,9	—	—	30,8

Таблица 5

Опыты с различной густотой растений в сосудах на песчаном черноземе (1904 г.)
2. Овес (урожай в граммах на сосуд)

	Без удобрения					Полное удобрение					Полное удобрение без N					Полное удобрение без P ₂ O ₅				
	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни	№ сосуда	зерно	солома	наземный урожай	корни
15 растений																				
1-й параллельный сосуд . .	741	6,0	9,5	15,5	—	734	39,5	65,9	105,4	—	745	4,3	10,7	15,0	—	747	9,2	18,7	27,9	6,0
2-й »	742	5,4	9,5	14,9	5,3	744	35,7	62,6	98,4	18,2	746	4,8	11,4	16,2	—	748	8,2	20,2	28,4	—
Среднее из двух параллельных сосудов	—	5,7	9,5	15,2	—	—	37,6	64,3	101,9	—	—	4,6	11,0	15,6	—	—	8,7	19,5	28,2	—
10 растений																				
1-й параллельный сосуд . .	749	5,9	10,0	15,9	—	751	34,2	66,5	110,7	20,7	755	6,1	11,4	17,5	5,5	757	7,8	18,6	26,4	—
2-й »	750	5,6	9,3	14,9	—	754	32,6	63,2	95,8	—	756	5,9	11,6	17,5	—	759	7,5	16,9	24,5	—
Среднее из двух параллельных сосудов	—	5,8	9,7	15,5	—	—	33,4	64,8	98,2	—	—	6,0	11,5	17,5	—	—	7,7	17,8	25,5	—
5 растений																				
1-й параллельный сосуд . .	760	5,4	12,6	18,0	5,6	764	33,1	65,6	98,7	—	766	7,0	13,3	20,3	—	768	5,7	21,4	27,1	5,8
2-й »	762	4,5	12,0	16,5	—	765	29,9	60,4	90,3	25,4	767	7,1	12,7	19,8	7,2	769	5,8	21,3	27,1	—
Среднее из двух параллельных сосудов	—	5,0	12,3	17,3	—	—	31,5	63,0	94,5	—	—	7,1	13,4	20,1	—	—	5,8	21,3	27,1	—

Таблица 6

Данные с различной густотой растений в сосудах на песчаном черномом

3. Лен (урожай в граммах на сосуд)

	Без удобрения						Полное удобрение						Полное удобрение без N						Полное удобрение без P ₂ O ₅					
	№ сосуда	зерно	солонча	наземный урожай	корни	общий урожай	№ сосуда	зерно	солонча	наземный урожай	корни	общий урожай	№ сосуда	зерно	солонча	наземный урожай	корни	общий урожай	№ сосуда	зерно	солонча	наземный урожай	корни	общий урожай
50 растений																								
1-й параллельный сосуд	1373,4	10,9	13,3	—	—	—	14014,0	44,3	58,3	—	—	—	1432,9	12,0	14,9	—	—	—	146	6,6	17,8	24,4	—	—
2-й »	1383,3	11,4	14,7	—	—	—	14114,1	42,6	56,7	—	—	—	1442,8	11,2	14,0	—	—	—	147	6,1	16,8	22,9	—	—
3-й »	1393,4	11,2	14,6	—	—	—	14213,1	45,6	58,7	—	—	—	1452,5	10,2	12,7	—	—	—	148	6,7	17,8	24,5	3,5	28,0
Среднее из трех параллельных со- судов	—	3,4	11,2	14,6	—	—	—	13,7	44,2	57,9	7,8	65,7	—	2,7	11,1	13,8	—	—	—	6,5	17,4	23,9	—	—
30 растений																								
1-й параллельный сосуд	1493,6	10,4	13,9	—	—	—	15213,7	43,1	56,8	—	—	—	1553,1	11,2	14,3	—	—	—	158	6,2	15,8	22,0	—	—
2-й »	1503,6	10,7	14,3	17,4	15313,9	45,3	59,2	7,6	66,8	1563,0	11,4	14,4	—	—	—	—	—	159	6,6	16,4	23,0	3,4	26,4	
3-й »	1513,7	10,8	14,5	—	—	—	15413,7	41,2	54,9	—	—	—	1572,9	10,6	13,5	—	—	—	160	5,7	14,7	20,4	—	—
Среднее из трех параллельных со- судов	—	3,6	10,6	14,2	—	—	—	13,8	43,2	57,0	—	—	—	3,0	11,1	14,1	—	—	—	6,2	15,6	21,8	—	—
16 растений																								
1-й параллельный сосуд	1613,7	9,2	12,9	2,1	16414,8	35,0	49,8	—	—	—	—	—	1672,8	9,5	12,3	—	—	—	170	5,0	12,5	17,5	3,5	21,0
2-й »	1623,5	9,2	12,7	—	16512,4	33,3	45,7	—	—	—	—	—	1683,1	9,9	13,0	—	—	—	171	5,2	11,8	17,0	—	—
3-й »	1633,3	10,7	14,0	—	16614,5	36,0	50,5	15,6	156,1	1693,1	9,5	12,6	—	—	—	—	—	172	5,2	12,3	17,5	—	—	
Среднее из трех параллельных со- судов	—	3,5	9,7	13,2	—	—	—	13,9	34,8	48,7	—	—	—	3,0	9,7	12,7	—	—	—	5,1	12,2	17,3	—	—

Таблица 7

Опыты с различной густотой овса в сосудах на суглинистом черноземе (1905 г.)

Урожай овса (в граммах на сосуд)

	Без удобрения				Полное удобрение				Полное удобрение без N				Полное удобрение без P ₂ O ₅			
	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего
24 растения																
1-й параллельный сосуд	166	14,4	13,0	27,4	191	48,5	48,9	97,4	219	14,4	14,9	29,3	229	23,1	24,9	48,0
2-й »	167	13,2	13,6	26,8	192	51,2	48,0	99,2	220	16,1	16,5	32,6	230	25,3	25,2	50,5
Среднее из двух парал- лельных сосудов . . .	—	13,8	13,3	27,1	—	49,9	48,4	98,3	—	15,3	15,7	31,0	—	24,2	25,1	49,3
18 растений																
1-й параллельный сосуд	164	14,4	13,8	28,2	189	47,8	51,1	98,9	217	15,2	15,6	30,8	227	22,8	23,2	46,0
2-й »	165	14,3	13,3	27,6	190	49,2	50,1	99,3	218	15,7	16,3	32,5	228	22,5	23,8	46,3
Среднее из двух парал- лельных сосудов . . .	—	14,4	13,5	27,9	—	48,5	50,6	99,1	—	15,5	16,2	31,7	—	22,7	23,5	46,2
12 растений																
1-й параллельный сосуд	162	15,6	14,0	29,6	172	50,2	50,4	100,6	215	15,2	14,5	29,7	225	22,1	25,6	47,7
2-й »	163	14,5	14,8	29,3	180	49,9	50,4	100,3	216	15,2	15,7	30,9	226	20,5	23,4	43,9
Среднее из двух парал- лельных сосудов . . .	—	15,1	14,4	29,5	—	50,1	50,4	100,5	—	15,2	15,1	30,3	—	21,3	24,5	45,8
6 растений																
1-й параллельный сосуд	160	18,7	16,6	35,3	170	53,2	52,7	105,9	213	18,6	17,8	36,4	223	24,0	25,0	49,0
2-й »	161	18,0	16,6	34,6	171	52,2	52,9	105,1	214	19,2	17,8	37,0	224	22,5	23,8	46,3
Среднее из двух парал- лельных сосудов . . .	—	18,4	16,6	35,0	—	52,7	52,8	105,5	—	18,9	17,8	37,6	—	23,3	24,4	47,7
3 растения																
1-й параллельный сосуд	158	19,4	19,2	38,6	168	58,5	57,8	116,3	194	22,3	23,9	46,2	221	27,6	26,2	53,8
2-й »	159	18,9	17,9	36,8	169	57,2	57,4	114,6	195	21,9	22,3	44,2	222	25,5	27,3	52,8
Среднее из двух парал- лельных сосудов . . .	—	19,2	18,5	37,7	—	57,9	57,6	115,5	—	22,1	23,1	45,2	—	26,6	26,7	53,3

ячмень—в середине сентября, а овес—к середине октября. Результаты опыта собраны в таблицах 4, 5 и 6.

Опыты 1905 г. В 1905 г. опыты с густотой растений были повторены только для овса; сосуды и комбинации удобрений были те же, что и в опытах 1904 г.; почвой служил суглинистый чернозем из имения Анна, Бобровского уезда, Воронежской губернии. Посев овса (тот же сорт, что и в опытах 1904 г.) был произведен 26 апреля; для всякой комбинации удобрений испытывалось 5 степеней густоты: 24, 18, 12, 6 и 3 растения на сосуд или 19, 2, 14,4, 9,6, 4,8, 2,4 пуда семян на десятину. Влажность почвы во время опыта поддерживалась на высоте 41% от веса сухой почвы. Развитие овса все время шло нормально; растения созрели в половине августа. Результаты опыта собраны в таблице 7.

Для облегчения рассмотрения и сравнения полученных данных мы приводим в таблице 8 средние урожаи зерна всех трех испытывавшихся растений, в таблице 9 средние урожаи соломы и в таблице 10 средние урожаи всей надземной массы.

Остановимся прежде всего на результатах, полученных для некустящегося растения—льна. Урожай зерна этого растения, при всех комбинациях удобрений, как показывает таблица 8, почти не изменился при различной густоте; беря среднее из всех степеней густоты для каждой комбинации удобрений, мы получим, что урожай зерна льна без удобрения равен 3,5 г, по полному удобрению—13,8 г, по полному удобрению

Таблица 8

*Влияние густоты посева на урожай зерна.
Средний урожай зерна (в граммах на сосуд)*

	Растение	Число растений на сосуд	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без N	Полное удобрение без P ₂ O ₅
Песчаный чернозем; опыт 1904 г.	Лен	{ 50	3,4	13,7	2,7	6,5
		{ 30	3,6	13,8	3,0	6,2
		{ 16	3,5	13,9	3,0	5,1
	Ячмень	{ 15	6,6	39,9	5,9	11,3
		{ 10	6,1	39,3	6,2	9,8
		{ 5	6,9	38,0	6,9	10,2
	Овес	{ 15	5,7	37,6	4,6	8,7
		{ 10	5,8	33,4	6,0	7,7
		{ 5	5,0	31,5	7,1	5,8
Суглинистый чернозем; опыт 1905 г.	Овес	{ 24	13,8	49,9	15,3	24,2
		{ 18	14,4	48,5	15,5	22,7
		{ 12	15,1	50,1	15,2	22,1
		{ 6	18,4	52,7	18,9	23,3
		{ 3	19,2	57,9	21,6	26,6

без азота—2,9 г и по полному удобрению без фосфорной кислоты—5,9 г; наибольшие отклонения от этих средних величин в зависимости от густоты соответственно равны 0,1, 0,1, 0,1 и 0,6 г; величина этих отклонений меньше, чем величина отклонений в параллельных сосудах (см. табл. 6). Таким образом, принимая во внимание точность вегетационного метода, приходится сказать, что урожай зерна льна, в пределах нашего

Таблица 9

Влияние густоты посева на урожай соломы.
Средний урожай соломы (в граммах на сосуд)

	Растение	Число растений на сосуд	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без N	Полное удобрение без P_2O_5
Песчаный чернозем; опыт 1904 г.	Лен	{ 50	11,2	44,2	11,1	17,4
		{ 30	10,6	43,2	11,1	15,6
		{ 16	9,7	34,8	9,7	12,2
	Ячмень	{ 15	6,2	40,3	6,3	13,9
		{ 10	6,6	41,4	6,1	15,3
		{ 5	8,0	43,2	7,2	15,7
	Овес	{ 15	9,5	64,3	11,0	19,5
		{ 10	9,6	64,8	11,5	17,8
		{ 5	12,3	63,0	13,0	21,3
Суглинистый чернозем; опыт 1905 г.	Овес	{ 24	13,3	48,4	15,7	25,1
		{ 18	13,5	50,6	16,2	23,5
		{ 12	14,4	50,4	15,1	25,6
		{ 6	16,6	52,9	17,7	24,4
		{ 3	18,5	57,6	22,3	26,8

Таблица 10

Влияние густоты посева на надземный урожай.
Средний урожай надземных частей растений (в граммах на сосуд)

	Растение	Число растений на сосуд	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без N	Полное удобрение без P_2O_5
Песчаный чернозем; опыт 1904 г.	Лен	{ 60	14,6	57,9	13,8	23,9
		{ 30	14,2	57,0	13,5	21,8
		{ 16	13,2	48,7	12,7	17,3
	Ячмень	{ 15	12,8	80,2	12,2	25,2
		{ 10	12,7	80,7	12,3	25,1
		{ 5	14,9	81,3	14,1	25,9
	Овес	{ 15	15,2	101,9	15,6	28,2
		{ 10	15,4	98,2	17,5	25,5
		{ 5	17,3	94,5	20,1	27,1
Суглинистый чернозем; опыт 1905 г.	Овес	{ 24	27,1	98,3	31,0	49,3
		{ 18	27,9	99,1	31,7	46,2
		{ 12	29,5	100,5	30,3	47,7
		{ 6	35,0	105,5	37,6	47,7
		{ 3	37,7	115,5	43,9	53,4

опыта, не зависит от числа растений в сосуде. Относительно урожая тресты льна таблица 9 показывает, что с уменьшением числа растений величина его падает при всех комбинациях удобрений; принимая за 100 урожай соломы при 50 растениях на сосуд, мы получим:

Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфорной кислоты
50	100	100	100	100
30	90	98	100	89
16	87	79	87	70

Наиболее сильное понижение урожая соломы с уменьшением числа растений на сосуд имело, таким образом, место при полном удобрении без фосфорнокислого, а затем при полном удобрении.

Что касается общего урожая зерна и соломы, то вследствие вышеуказанного отношения между густотой и величиной урожая каждой из этих частей он также уменьшался с уменьшением числа растений на сосуд и примерно в такой же степени, как и урожай соломы. Отметим, что для соломы и для всей надземной массы понижение величины урожая с уменьшением числа растений резко выразилось лишь при переходе от 30 на 16 растений на сосуд; 50 же растений и 30 дали во всех случаях почти равные урожаи.

Для того чтобы яснее видеть зависимость *относительной* потребности в удобрениях льна от густоты его стояния в сосудах, мы приведем относительную величину урожаев соломы и соломы плюс зерно (для зерна не приводим, так как величина его урожая не изменялась с густотой), привимая за 100 урожай по полному удобрению.

Относительный урожай тресты льна

Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфорной кислоты
50	25,5	100	25,3	39,3
30	24,5	100	25,7	36,1
16	27,9	100	27,9	34,3

Относительный урожай зерна плюс треста

Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфорной кислоты
50	25,2	100	23,8	41,3
30	25,0	100	23,7	38,1
16	27,1	100	25,7	35,5

Данные эти определенно показывают, что количество экземпляров льна, по крайней мере в пределах, испытанных нами, практически не влияет на относительную потребность этого растения в удобрениях при вегетационном испытании, так как то небольшое повышение потребности льна в фосфорнокислом удобрении, какое мы видим в вышеприведенных

данных, при переходе от 50 на 16 растений, достигающее около 6%, не может, конечно, повлиять на наше представление о потребности почвы. Но во всяком случае числа для потребности льна в фосфорной кислоте определенно показывают, что она возрастает с уменьшением числа растений, между тем как потребность в азоте при этом не только не повышалась, но даже несколько понижалась.

Обратимся теперь к растениям кустиющимся.

Я ч м е н ь. Таблица 8 показывает, что урожай зерна ячменя был почти одинаков при 15, 10 и 5 растениях на сосуд. Сильнее сказалось влияние числа растений на урожай соломы; если принять за 100 величину его в сосудах с 15 растениями, мы получим:

Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфорной кислоты
15	100	100	100	100
10	106	103	97	110
5	129	107	114	111

Таким образом, урожай соломы ячменя, в противоположность тому, что мы видели для тресты льна, не уменьшался с уменьшением числа растений в сосуде, но увеличивался, а так как урожай зерна почти не изменился при этом, то и общий урожай зерна и соломы увеличивался несколько с уменьшением числа растений.

Так как колебание в величине урожая ячменя в зависимости от густоты в общем еще меньше, нежели это имело место у льна, то само собой очевидно, что *относительная* потребность ячменя в питательных веществах при вегетационном испытании еще в меньшей степени зависела от числа высеванных растений: при всех трех степенях густоты, испытанных нами, она оставалась почти совершенно одинаковой.

О в с. Опыты с овсом производились два раза: в 1904 г. на песчаном черноземе и в 1905 г. на суглинистом черноземе; результаты обоих опытов не вполне тождественны. Урожай зерна в опытах 1905 г. (см. табл. 8) в сосудах без удобрения, по полному удобрению и по полному удобрению без азота увеличивался с уменьшением числа растений на сосуд, по полному же удобрению без фосфорной кислоты определенной закономерности в полученном ряде незаметно; принимая за 100 урожай зерна овса при 24 растениях на сосуд, получим:

Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфорной кислоты
24	100	100	100	100
18	104	97	100	94
12	109	100	100	94
6	133	106	123	96
3	139	116	141	110

Таким образом, урожай зерна на сушлинистом черноземе в сосудах с тремя экземплярами овса был выше, нежели в сосудах с 24 растениями без удобрения и по полному удобрению без азота почти на 40%, а по полному удобрению на 16%. В опытах же 1904 г. на песчаном черноземе повышение урожая зерна с уменьшением числа растений наблюдается только при полном удобрении без азота (с 4,6 г при 15 растениях до 7,1 г при 5 растениях, т. е. на 54%); в сосудах без удобрения урожай этот почти не изменялся с изменением числа растений, а по полному удобрению и по полному без фосфорной кислоты определенно понижался с уменьшением числа растений в сосуде (по полному удобрению уменьшился с 37,6 до 31,5 г, т. е. на 16%, а по полному удобрению без фосфорной кислоты с 8,7 до 5,8 г, т. е. на 33%).

Урожай соломы овса в опытах 1905 г. показал ту же зависимость от густоты, что и урожай зерна в том же году: он повышался с уменьшением числа растений в сосудах без удобрения, по полному удобрению и по полному удобрению без азота и изменялся неопределенно по полному удобрению без фосфорной кислоты.

Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфорной кислоты
24	100	100	100	100
12	101	104	103	94
12	108	104	96	102
6	125	110	113	97
3	139	119	142	107

Результаты, полученные для соломы в опытах 1904 г., опять, подобно тому, что мы видели относительно зерна, отклоняются, хотя и в меньшей степени, от результатов опыта 1905 г. (см. табл. 9), а именно урожай по полному удобрению не увеличивается с уменьшением числа растений, а как будто несколько, хотя и очень незначительно, убывает. Чем обусловлено такое различие в результатах этих двух опытов, трудно сказать: тут могли сыграть известную роль и неодинаковые метеорологические условия 1904 и 1905 гг., и сравнительно поздний посев овса в 1904 г., и, наконец, быть может, известное влияние оказывает и характер почвы.

Обращаемся теперь к *относительной* потребности овса в удобрениях. В нижеследующей таблице мы приводим относительные урожаи зерна, соломы и общий овса по различным удобрениям, принимая за 100 урожай по полному удобрению для каждой степени густоты (см. табл. на стр. 50)

Как видим, в обоих рядах опытов относительная потребность овса в питательных веществах мало изменялась в зависимости от числа растений в сосуде; наибольшее отклонение, замечаемое при этом, совершенно не может изменить наше представление о степени обеспеченности овса в том или другом питательном веществе.

Из всех приведенных данных по влиянию объема почвы и густоты стояния растений в сосудах на величину урожая можно сделать тот общий вывод, что *относительная потребность почвы в удобрениях, определяемая*

		Число растений	Без удобрения	Полное удобрение	Полное удобрение без азота	Полное удобрение без фосфор- ной кислоты
Опыт 1904 г.						
Зерно	{	15	15	100	12	23
		10	17	100	18	23
		5	16	100	23	18
Солома	{	15	15	100	17	30
		10	15	100	18	27
		5	20	100	21	34
Общий урожай	{	15	15	100	15	27
		10	16	100	18	26
		5	18	100	21	29

Опыт 1905 г.

Зерно	{	24	28	100	31	48
		18	29	100	32	47
		12	30	100	30	44
		6	35	100	35	44
		3	33	100	37	46
Солом	{	24	26	100	32	52
		18	26	100	32	46
		12	28	100	30	50
		6	31	100	34	46
		3	32	100	39	46
Общий урожай	{	24	27	100	31	50
		18	28	100	32	46
		12	29	100	30	47
		6	33	100	35	45
		3	33	100	38	46

вегетационным методом, сравнительно мало зависит от величины употребляемых сосудов (по крайней мере, для почв низкого и среднего плодородия) и почти вовсе не изменяется с изменением в довольно широких пределах густоты стояния растений.

Представлялось интересным выяснить, как влияет густота стояния растений на содержание питательных веществ в получаемых урожаях; поэтому мы определили в урожаях льна, ячменя и овса на песчаном черноземе (опыт 1904 г.) содержание азота и фосфорной кислоты; полученные данные приведены в таблицах 11 (процентное содержание азота и фосфорной кислоты в воздушносухом материале) и 12 (абсолютное содержание). К сожалению, степень точности вегетационного метода и определения азота и фосфорной кислоты в растениях, главным образом в соломе, не дает возможности по большей части придавать решающее значение тем небольшим различиям, какие получились в содержании питательных веществ в растениях в зависимости от густоты их стояния; поэтому мы остановимся лишь на наиболее резко выраженных соотношениях между густотой и содержанием азота и фосфорной кислоты, и только для общего урожая.

Процентное содержание азота в растениях при опытах с различной высотой¹
(Опыт 1904 г., на песчаном черноземе)

Растение	Число растений на сосуд	Без удобрения			Полное удобрение			Полное удобрение без N			Полное удобрение без P ₂ O ₅		
		зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение
Лен	50	2,744	0,401	0,918	3,836	0,525	1,309	2,968	0,447	0,942	4,039	0,966	1,803
	30	2,898	0,420	0,971	3,948	0,525	1,352	3,060	0,392	0,964	4,046	0,949	1,826
	16	3,206	0,494	1,212	4,018	0,581	1,524	3,116	0,357	1,008	3,850	1,033	1,861
Ячмень	15	1,176	0,326	0,767	1,295	0,364	0,812	1,239	0,399	0,802	1,858	1,001	1,385
	10	1,176	0,350	0,742	1,299	0,371	0,824	1,281	0,392	0,838	1,820	0,980	1,307
	5	1,163	0,361	1,718	1,330	0,361	0,814	1,120	0,350	0,723	1,625	0,987	1,250
Овес	15	1,351	0,273	0,675	1,358	0,294	0,690	1,316	0,367	0,641	1,988	0,963	1,280
	10	1,230	0,258	0,626	1,351	0,301	0,658	1,295	0,315	0,651	1,890	0,973	1,212
	5	1,330	0,339	0,590	1,477	0,336	0,716	1,204	0,315	0,603	1,827	0,938	1,129

Процентное содержание фосфорной кислоты в растениях при опытах с различной высотой¹
(Опыт 1904 г., на песчаном черноземе)

Лен	50	1,342	0,0893	0,383	1,475	0,092	0,419	2,019	0,555	0,848	0,723	0,0697	0,246
	30	1,365	0,0927	0,415	1,527	0,130	0,468	1,952	0,484	0,837	0,780	0,0710	0,271
	16	1,532	0,1062	0,485	1,527	0,167	0,530	1,934	0,441	0,795	0,812	0,0793	0,301
Ячмень	15	0,834	0,0601	0,460	0,658	0,0499	0,353	1,103	0,540	0,812	0,380	0,0576	0,199
	10	0,816	0,0644	0,441	0,617	0,0563	0,329	1,075	0,533	0,812	0,399	0,0704	0,199
	5	0,713	0,0908	0,376	0,617	0,0601	0,320	1,062	0,449	0,752	0,384	0,0595	0,185
Овес	15	0,718	0,0864	0,322	0,647	0,0704	0,283	0,869	0,879	0,859	0,403	0,0819	0,181
	10	0,708	0,0915	0,323	0,635	0,0851	0,272	0,867	0,810	0,829	0,448	0,0819	0,196
	5	0,678	0,1126	0,272	0,668	0,0915	0,284	0,842	0,721	0,766	0,485	0,0831	0,170

¹ Анализ произведен К. Гедройцем.

Таблица 12

Содержание азота (в г) в среднем урожае на сосуд при опытах с различной густотой
(Опыт 1904 г., на песчаном черноземе)

Растение	Число растений на сосуд	Без удобрения				Полное удобрение				Полное удобрение без N				Полное удобрение без P ₂ O ₅			
		зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение	зерно	солома	все растение	все растение
Лен	50	0,092	0,042	0,134	0,526	0,232	0,758	0,080	0,050	0,130	0,263	0,168	0,431	0,263	0,168	0,431	0,431
	30	0,094	0,044	0,138	0,544	0,227	0,771	0,092	0,044	0,136	0,250	0,148	0,398	0,250	0,148	0,398	0,398
	16	0,112	0,048	0,169	0,559	0,209	0,768	0,093	0,035	0,128	0,196	0,126	0,322	0,196	0,126	0,322	0,322
Ячмень	15	0,078	0,020	0,098	0,505	0,146	0,651	0,073	0,025	0,098	0,210	0,139	0,349	0,210	0,139	0,349	0,349
	10	0,072	0,023	0,095	0,511	0,154	0,665	0,079	0,024	0,103	0,178	0,150	0,328	0,178	0,150	0,328	0,328
	5	0,080	0,027	0,107	0,505	0,156	0,661	0,077	0,025	0,102	0,164	0,160	0,324	0,164	0,160	0,324	0,324
Овес	15	0,077	0,026	0,103	0,521	0,189	0,710	0,060	0,040	0,100	0,173	0,188	0,361	0,173	0,188	0,361	0,361
	10	0,071	0,025	0,096	0,451	0,195	0,646	0,078	0,036	0,114	0,146	0,173	0,319	0,146	0,173	0,319	0,319
	5	0,066	0,042	0,102	0,465	0,212	0,677	0,091	0,041	0,132	0,106	0,200	0,306	0,106	0,200	0,306	0,306

Содержание фосфорной кислоты (в г) в среднем урожае на сосуд при опытах с различной густотой
(Опыт 1904 г., на песчаном черноземе)

Лен	50	0,046	0,010	0,056	0,202	0,041	0,243	0,055	0,062	0,117	0,047	0,012	0,059	0,047	0,012	0,059	0,059
	30	0,049	0,010	0,059	0,211	0,036	0,267	0,059	0,054	0,113	0,048	0,011	0,059	0,048	0,011	0,059	0,059
	16	0,054	0,010	0,064	0,212	0,060	0,268	0,053	0,043	0,101	0,042	0,010	0,052	0,042	0,010	0,052	0,052
Ячмень	15	0,055	0,004	0,059	0,268	0,020	0,283	0,065	0,034	0,099	0,043	0,008	0,051	0,043	0,008	0,051	0,051
	10	0,050	0,006	0,056	0,243	0,023	0,266	0,067	0,033	0,100	0,039	0,011	0,050	0,039	0,011	0,050	0,050
	5	0,049	0,007	0,056	0,234	0,026	0,260	0,073	0,032	0,105	0,039	0,009	0,048	0,039	0,009	0,048	0,048
Овес	15	0,041	0,008	0,049	0,243	0,045	0,288	0,040	0,067	0,134	0,035	0,016	0,051	0,035	0,016	0,051	0,051
	10	0,041	0,009	0,050	0,212	0,055	0,267	0,052	0,093	0,145	0,035	0,015	0,050	0,035	0,015	0,050	0,050
	5	0,034	0,013	0,047	0,210	0,058	0,268	0,060	0,094	0,154	0,028	0,018	0,046	0,028	0,018	0,046	0,046

Л е н. В нижеследующей таблице мы приводим общий урожай льна и содержание в нем азота.

	Без удобрения			N+P+K			P+K			N+K		
	Общий урожай (в г)	Содержание азота		Общий урожай (в г)	Содержание азота		Общий урожай (в г)	Содержание азота		Общий урожай (в г)	Содержание азота	
		в %	в г		в %	в г		в %	в г		в %	в г
30 растений	14,6	0,918	0,134	57,9	1,309	0,758	13,8	0,942	0,130	23,9	1,803	0,431
20 "	14,2	0,971	0,138	57,0	1,352	0,771	14,1	0,964	0,136	21,8	1,826	0,398
10 "	13,2	1,212	0,160	48,7	1,524	0,768	12,7	1,008	0,128	17,3	1,861	0,322

Таким образом, процентное содержание азота в общем урожае льна с уменьшением густоты, сопровождающимся уменьшением урожая, повышается; повышение это слабее всего в сосудах без фосфорнокислого удобрения, где имело место сильно выраженное избыточное поглощение этого элемента; благодаря повышению процентного содержания абсолютное содержание азота в общем урожае льна с уменьшением числа растений на сосуд, сопровождающимся всюду уменьшением урожая, понижается только в сосудах без фосфорнокислого удобрения, и то незначительно; при всех же других комбинациях удобрений или не изменяется, или же повышается.

Зависимость содержания фосфорной кислоты в льне от густоты посева видна из следующей таблицы.

	Без удобрений			N+P+K			P+K			N+K		
	Общий урожай (в г)	Содержание P_2O_5		Общий урожай (в г)	Содержание P_2O_5		Общий урожай (в г)	Содержание P_2O_5		Общий урожай (в г)	Содержание P_2O_5	
		в %	в г		в %	в г		в %	в г		в %	в г
15 растений	14,6	0,383	0,056	57,9	0,449	0,243	13,8	0,848	0,117	23,9	0,246	0,059
10 "	14,2	0,415	0,059	57,0	0,418	0,267	14,1	0,837	0,113	21,8	0,271	0,059
5 "	13,2	0,485	0,064	48,7	0,530	0,268	12,7	0,795	0,101	17,3	0,301	0,052

Таблица показывает, что содержание фосфорной кислоты в урожае льна находится в такой же зависимости от густоты льна в сосуде, как и содержание азота, только в сосудах с избыточным удобрением фосфорной кислотой (сосуды без азотистого удобрения) имеет место не слабое повышение содержания фосфорной кислоты с уменьшением густоты, а понижение.

Я ч м е н ь. Как показывают нижеследующие данные, процентное содержание азота в общем урожае ячменя с уменьшением числа растений на сосуд или понижается, или остается приблизительно одинаковым; первое имеет место при тех комбинациях удобрений, при которых урожай ячменя с уменьшением густоты заметно увеличивается, второе—когда урожай с изменением густоты почти не изменяется; возрастание процентного содержания азота происходит так, что абсолютное его содержание в урожаях при одной и той же комбинации удобрения почти не изменяется с изменением густоты.

	Без удобрения			N+P+K			P+K			N+K		
	Общий уро- жай (в г)	Содержание азота		Общий уро- жай (в г)	Содержание азота		Общий уро- жай (в г)	Содержание азота		Общий уро- жай (в г)	Содержание азота	
		в %	в г		в %	в г		в %	в г		в %	в г
15 растений	12,8	0,767	0,098	80,2	0,812	0,651	12,2	0,802	0,098	25,2	1,385	0,349
10 »	12,7	0,742	0,095	80,7	0,824	0,665	12,3	0,838	0,103	25,1	1,307	0,328
5 »	14,9	0,718	0,107	81,3	0,814	0,661	14,1	0,713	0,102	25,9	1,250	0,324

Содержание фосфорной кислоты в урожаях ячменя, как видно из нижеследующей таблицы, находится совершенно в такой же зависимости от густоты, как и содержание азота.

	Без удобрения			N+P+K			P+K			N+K		
	Общий уро- жай (в г)	Содержание P_2O_5		Общий уро- жай (в г)	Содержание P_2O_5		Общий уро- жай (в г)	Содержание P_2O_5		Общий уро- жай (в г)	Содержание P_2O_5	
		в %	в г		в %	в г		в %	в г		в %	в г
15 растений	12,8	0,460	0,059	80,2	0,353	0,283	12,2	0,812	0,099	25,2	0,199	0,051
10 »	12,7	0,441	0,056	80,7	0,329	0,266	12,3	0,812	0,100	25,1	0,199	0,050
5 »	14,9	0,376	0,056	81,3	0,320	0,260	14,1	0,752	0,105	25,9	0,185	0,048

О в е с. Что касается овса, то определенная зависимость процентного содержания азота и фосфорной кислоты от густоты стояния может быть констатирована только в сосудах без удобрения и без азота; приводимые данные показывают, что, как и у ячменя, с уменьшением густоты, сопровождающимся повышением урожая, процентное содержание азота и фосфорной кислоты в урожае понижается; в сосудах без удобрения оно

	Без удобрения						P+K					
	Общий уро- жай (в г)	Содержание				Общий уро- жай (в г)	Содержание					
		азота		P ₂ O ₅			азота		P ₂ O ₅			
		в %	в г	в %	в г		в %	в г	в %	в г		
15 растений . . .	15,2	0,675	0,103	0,322	0,049	15,6	0,641	0,100	0,859	0,139		
10 » . . .	15,5	0,626	0,096	0,323	0,050	17,5	0,651	0,114	0,829	0,145		
5 » . . .	17,3	0,590	0,102	0,272	0,047	20,1	0,603	0,132	0,766	0,154		

понижается так, что абсолютное содержание при различной густоте остается почти одинаковым, а в сосудах без азота так, что абсолютное содержание с уменьшением густоты все-таки несколько повышается. В сосудах с полным удобрением и без фосфорнокислого удобрения параллельные сосуды недостаточно согласны, и этим, быть может, надо объяснить отсутствие прочной зависимости между величиной урожая и содержанием в нем азота и фосфорной кислоты.

ПОТРЕБНОСТЬ КРАСНОГО КЛЕВЕРА
В ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЕ
В СВЯЗИ С ХОДОМ ВОСПРИЯТИЯ ЭТОГО ВЕЩЕСТВА
И ЯВЛЕНИЕМ КЛЕВЕРОУТОМЛЕНИЯ ПОЧВЫ

(Из сельскохозяйственной хим. лаборатории в СПб.)

Изучение потребности клевера в питательных веществах, кроме того общего интереса, который представляет этот вопрос в отношении других растений, имеет еще особое значение, связанное с так называемым клевероутомлением почвы. Работы иностранных исследователей, а в последнее время изучение клевероутомления у нас, на Батищевской сельскохозяйственной опытной станции¹ и в Сельскохозяйственной химической лаборатории в СПб.², заставляют признать, что непосредственной причиной плохого роста клевера на исследовавшихся клевероутомленных почвах является недостаточное питание; клеверу на таких почвах не хватает доступной фосфорной кислоты, а иногда калия. Так как в отношении большинства других растений утомления почвы не наблюдается и растения эти могут давать удовлетворительные урожаи и на клевероутомленных почвах, то само собою вытекает предположение, что клевер в отношении использования фосфорной кислоты, а может быть и калия, чем-то существенно отличается от других не утомляющих почву растений; и нам кажется, что окончательное разрешение вопроса о клевероутомлении как явления, вызывающегося недостатком питательных веществ в почве, возможно будет лишь тогда, когда удастся научно обосновать эту точку зрения, показав, что клевер действительно обладает такими особенностями, которые ставят его в этом отношении особняком среди большинства других сельскохозяйственных растений.

Известные уже биологические особенности клевера: глубокое ускорение, сравнительно слабая способность использовать труднорастворимые почвенные соединения и, наконец, одностороннее истощение почвы клевером—объясняют до некоторой степени явление клевероутомления и без сомнения в известных случаях могут являться причиной его, но во всяком случае их недостаточно еще для полного выяснения вопроса; достаточно указать, например, на то, что в литературе имеются данные, показывающие, что иногда удобрения не устраняли клевероутомления. Поэтому нам казалось, что дальнейшее изучение биологии клевера, кроме общего интереса, может дать кое-что и в этом отношении. В нашем

¹ Н. Дьяконов. К вопросу о клевероутомлении. Приложение к «Хоз.», 1904, кн. № 11.

² П. Коссович. Клевероутомление почвы. «Труды Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. IV, стр. 1906, «Журнал опытной агрономии», т. 6 (1905), стр. 515.

исследовании мы остановились на двух таких вопросах, имеющих, по нашему мнению, очень близкое отношение к явлению клевероутомления, а именно: на определении содержания фосфорной кислоты в клевере в зависимости от его возраста и на выяснении потребности клевера в легко-растворимой фосфорной кислоте сравнительно с потребностью в ней других растений.

1. СОДЕРЖАНИЕ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ В КЛЕВЕРЕ В РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

Мы имеем довольно много работ по исследованию клевера в различные периоды его вегетации, но в большинстве случаев фосфорная кислота или не определялась, или же определялась через слишком большие промежутки времени. Наиболее полное исследование поступления фосфорной кислоты в клевере было сделано в 60-х годах прошлого столетия Dietrich¹; он, между прочим, дает содержание фосфорной кислоты для периодов одногоднего клевера за промежуток времени от всходов до окончания цветения. Наше исследование того же вопроса мы предприняли потому, что Dietrich пользовался клевером, высеванным с осени под рожь, и не указал продолжительности первого периода, между тем интересно было проследить ход поступления фосфорной кислоты в клевере, посеянном без покровного растения, и точно знать ход поступления именно в самый начальный период роста; далее мы считали не лишним проверить, насколько те особенности в восприятии фосфорной кислоты клевером по сравнению с восприятием ее другими растениями, какие вытекают из данных Dietrich'a, не являются делом случая.

Наше исследование мы производили только над первогодним клевером и два раза, в 1904 и 1905 гг.

Оба года клевер высевался на песчаной почве из парка С.-Петербургского лесного института. В 1904 г. клевер выращивался в цинковых сосудах (20 × 20) и на делянке, в обоих случаях по полному удобрению (в сосудах: в каждый сосуд с 7,5 кг почвы вносилось 0,2 г N в азотнокислом кальции, 0,3 г K₂O в сернокислом калии и 0,75 г P₂O₅ в одноватриевом фосфате; на делянке, на десятину: селитры 6 пудов, калийта 40 пудов, томасшлака 60 пудов). Посев клевера был произведен 9 мая; всходы появились 15 мая, первая проба для анализа была взята 26 мая (появление первого простого листа); следующие пробы брались через каждую неделю до 4 августа включительно; исследование не продолжалось дальше, так как оказалось, что было поставлено недостаточное количество сосудов; в оставленном для наблюдений сосуде цветочные головки появились к 25 августа, а на грядке 28 августа.

Образцы для анализа брались следующим образом. *Клевер в сосудах.* Нужное число сосудов осторожно вываливалось в большую посуду с водой; благодаря крупнозернистости почвы главная масса ее легко отделялась от корней растений; растения собирались и тщательно промывались в текущей воде. *Клевер на делянке.* Для взятия образца в нескольких местах делянки выкапывались глыбы земли с клевером; в дальнейшем с ним поступали так же, как и с клевером из сосудов. В полученном материале определялось сухое вещество и фосфорная кислота отдельно в кор-

¹ Landw. Zeitschr. f. Kurhessen, 1864, стр. 216; цитирую по G. Liebscher'y. Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für Düngerlehre. «Journ. f. Landw.», т. 35, 1887, стр. 335.

нях и надземных частях, кроме первых трех проб, где эти определения делались в целом растении; полученные данные собраны в таблице 1.

Таблица 1

Анализ клевера в различные периоды вегетации (опыт 1904 г.)

Время взятия пробы	Клевер, выращенный в сосудах					Клевер, выращенный на делянке				
	вес сухой массы 100 растений	вес корней в про- центах от веса все- го растения (сухое вещество)	Процентное содержание P_2O_5 в сухом веществе			вес корней в про- центах от веса всего растения (сухое ве- щество)	наземных час- тей	корней	всего растения	
			наземных час- тей	корней	всего растения					
26 мая	0,30	21	—	—	0,937	0,0028	—	—	—	0,965
2 июня	0,45	18,8	—	—	0,854	0,0038	—	—	—	0,867
9 »	1,40	30,5	—	—	0,554	0,0078	—	—	—	0,606
16 »	2,00	32,7	0,582	0,742	0,634	0,0127	23,7	0,716	1,054	0,798
23 »	6,40	26,9	0,599	0,912	0,680	0,0438	20,6	0,764	1,058	0,823
30 »	12,80	30,1	0,539	0,704	0,588	0,0751	22,3	0,715	0,900	0,748
7 июля	20,30	27,6	0,492	0,709	0,552	0,1121	21,7	0,603	0,817	0,650
14 »	33,11	24,4	0,480	0,585	0,507	0,1678	25,2	0,559	0,660	0,584
21 »	43,00	27,4	0,469	0,551	0,470	0,2121	20,7	0,551	0,646	0,570
28 »	62,00	27,4	0,419	0,474	0,434	0,2691	25,2	0,533	0,614	0,554
4 августа	76,00	31,8	0,407	0,437	0,416	0,3142	27,9	0,500	0,540	0,511

В 1905 г. мы повторили исследование со следующими изменениями. Клевер выращивался только в сосудах (сосуды снаряжались совершенно так же, как и в 1904 г.); клевер был посеян 30 апреля; взошел 5 мая; пробы для анализа брались через каждые две недели, считая со дня всхода; анализировались отдельно листовые пластинки, стебли, корни и цветочные головки. Всего было взято 9 проб; последняя из них—8 сентября, к этому времени клевер отцвел. Полученные результаты собраны в таблице 2 (стр. 53).

Обращаясь к полученным данным, мы рассмотрим прежде всего ход изменения процентного содержания фосфорной кислоты, сначала в клеверах, выращенных в сосудах, а затем на делянке.

Данные таблиц 1 и 2 дают одну и ту же картину изменения в процентном содержании фосфорной кислоты в клевере по мере его развития, а именно: во всем растении и в отдельных частях его, кроме стеблей, наиболее высокое процентное содержание фосфорной кислоты в самом молодом возрасте; по мере развития растения содержание это сначала понижается, затем начинает повышаться и, достигнув вскоре некоторой величины, значительно меньшей, чем в первый период, опять падает и уже непрерывно до конца исследования; таким образом, кривая процентного содержания фосфорной кислоты клевера (всего растения, листьев и корней) в период от всхода до полного отцветания представляет два максимума: в самом начале вегетации и в первой половине ее; для стеблей наши данные не показывают второго максимума, но во всяком случае из таблицы 2 видно, что приблизительно в то же время, когда этот максимум наблюдается у остальных частей растения и у целого растения, процентное содержание фосфорной кислоты в стеблях за двухнедельный период изменяется значительно меньше, нежели в остальное время,

и быть может, второй максимум пришелся как раз в середине этого периода. В одном лишь отношении исследования 1904 и 1905 гг. дают неодинаковые результаты: второй максимум в клеверах 1904 г. наступил раньше, нежели в клеверах 1905 г.; можно думать, что причиной этого неодинаковые метеорологические условия этих двух лет; лето 1904 г. в отношении погоды было вообще менее благоприятно для развития клевера, нежели лето 1905 г.; это видно из веса растений в соответствующие периоды, а также из времени цветения (клевер 1904 г. зацвел на 102-й день, а клевер 1905 г. на 91-й); клевер в 1904 г. развивался, таким образом, медленнее, нежели в 1905 г., и, может быть, именно поэтому второй максимум в процентном содержании фосфорной кислоты у него наступил раньше.

Таблица 2

Анализ клевера в различные периоды вегетации (опыт 1905 г.)

Время взятия пробы	Вес сухой массы 100 растений	Процентное содержание в растениях (в сухом состоянии)				Процентное содержание воды в сырых				Процентное содержание воды в возд.-сух.			
		листовых пластинок	стеблей	цветочных головок	корней	листовых пластинок	стеблей	цветочных головок	корней	листовых пластинок	стеблей	цветочных головок	корней
19/V	0,41	47,7	20,3	—	32,0	88,4	89,8	—	92,7	9,2	8,7	—	9,9
2/VI	1,59	47,6	16,1	—	36,3	85,4	87,8	—	93,9	8,6	9,6	—	9,9
16/VI	9,40	43,1	24,1	—	32,8	82,8	85,6	—	92,4	9,5	9,1	—	8,5
30/VI	26,70	38,3	32,7	—	29,0	82,3	87,1	—	89,2	9,2	9,3	—	8,9
14/VII	45,10	34,5	37,9	—	27,6	82,1	86,5	—	89,1	9,2	8,5	—	9,4
28/VII	82,60	29,5	40,2	2,1	28,2	76,5	81,6	79,3	86,7	9,7	9,6	9,2	9,1
11/VIII	120,50	22,9	41,4	4,5	31,2	74,5	75,8	78,8	82,2	9,4	8,9	9,5	9,4
25/VIII	122,90	22,8	40,5	5,0	31,7	72,5	77,7	78,0	75,0	9,5	9,2	8,9	9,0
8/IX	121,10	22,5	41,0	4,9	31,6	—	—	—	—	8,9	9,4	9,1	8,7

Таблица 2 (продолжение)

Время взятия пробы	Вес сухой массы 100 растений	Процентное содержание фосфор- ной кислоты в сухой массе					100 сухих растений содержат фосфорной кислоты (в г)				
		листовых пластинок	стеблей	цветочных головок	корней	всего растений	всего растений за вычетом фосфорной кислоты семян	в листовых пластин- ках	в стеблях	в цветочных голов- ках	в корнях
19/V	0,41	0,713	1,050	—	1,039	0,878	0,303	0,0014	0,0009	—	0,0013
2/VI	1,59	0,526	0,739	—	0,666	0,609	0,458	0,0039	0,0018	—	0,0038
16/VI	9,40	0,550	0,483	—	0,652	0,566	0,541	0,0223	0,0108	—	0,0201
30/VI	26,70	0,729	0,472	—	0,793	0,664	0,623	0,0748	0,0411	—	0,0614
14/VII	45,10	0,589	0,385	—	0,536	0,494	0,490	0,0913	0,0654	—	0,0660
28/VII	82,60	0,513	0,318	0,702	0,388	0,404	0,399	0,1258	0,1056	0,0119	0,0904
11/VIII	120,50	0,493	0,264	0,729	0,376	0,371	0,371	0,1345	0,1312	0,0391	0,1414
25/VIII	122,90	0,451	0,261	0,603	0,362	0,359	0,359	0,1263	0,1318	0,0425	0,1412
8/IX	121,10	0,439	0,258	0,595	0,391	0,358	0,358	0,1144	0,1282	0,0358	0,1498

В таблице 2 рядом с процентным содержанием фосфорной кислоты в целом растении приводится это содержание за вычетом той фосфорной кислоты, которую клевер получил из семян; эта графа показывает, таким образом, процентное содержание фосфорной кислоты, которая была извлечена клевером из почвы; в этом ряду цифр мы имеем уже только один максимум, а именно прежний 2-й: приблизительно в конце первой половины всего исследованного нами периода вегетации процентное содержание фосфорной кислоты, извлекаемой клевером из почвы, наивысшее.

Обратимся теперь к результатам исследования клевера, выращенного на делянке. Исследование это велось с целью установить, будет ли различие и какое в поступлении фосфорной кислоты в клевер, выращенный в сосудах и в поле; таблица 1 показывает, что хотя абсолютные величины процентного содержания фосфорной кислоты в том и другом случае неодинаковы (на грядке в те же периоды оно выше, нежели в сосудах), но характер их изменений совершенно тождествен.

Рассмотрим теперь величины урожая и абсолютного содержания фосфорной кислоты клевера 1905 г.; нижеследующая таблица дает вес сухого вещества и содержание фосфорной кислоты (I столбец в граммах, II относительно наивысшего веса и содержания) в 100 экземплярах клевера в различные периоды его роста.

Вес сухого вещества 100 растений и содержание в них фосфорной кислоты.

	Сухое вещество		Фосфорная кислота	
	I (в г)	II	I (в г)	II
19 мая	0,41	0,3	0,0036	0,8
2 июня	1,59	1	0,0095	2
16 »	9,40	8	0,0532	12
30 »	26,70	22	0,1773	40
14 июля	45,10	37	0,2227	51
28 »	82,60	67	0,3337	76
11 августа	120,50	98	0,4452	100
25 »	122,90	100	0,4418	100
8 сентября	121,10	99	0,4332	100

Таблица показывает, что и вес сухого вещества и содержание фосфорной кислоты в клевере увеличивается в течение вегетации вплоть до 11 августа—времени полного цветения; начиная с этого времени количество того и другого остается уже постоянным; сравнивая между собой относительные цифры сухого вещества и содержание фосфорной кислоты, видим, что первый ряд цифр растет медленнее, чем второй, т. е. что кривая, выражающая образование органического вещества, более отлогая, нежели кривая фосфорной кислоты; цифры эти далее показывают, что создание органического вещества и поглощение фосфорной кислоты клевером в первый период его развития, а именно в течение, по крайней мере, первых 6 недель, происходит чрезвычайно медленно: к концу этого времени создается лишь 8% сухого вещества и поглощается 12% фосфорной кислоты от соответствующих максимальных количеств, между тем как в следующий за этим и почти равный ему период (около 8 недель) создается и поглощается все остальное количество сухого вещества (90%) и фосфорной кислоты (82%).

Чтобы дать представление о скорости создания органической массы и восприятия фосфорной кислоты клевером из почвы в различные периоды, мы приведем из тех же данных 1905 г. двухнедельный и средний для каждого двухнедельного периода ежедневный прирост того и другого.

Увеличение сухой массы и фосфорной кислоты в 100 экземплярах клевера (в граммах).

В период	Сухой массы		Фосфорной кислоты	
	в 14 дней	ежедневно	в 14 дней	ежедневно
от всхода (5 мая) до 19 мая	0,4	0,03	0,0036	0,0003
с 19 мая по 2 июня	1,18	0,08	0,0059	0,0004
со 2 июня по 16 июня	7,81	0,56	0,0437	0,0031
с 16 » » 30 »	17,30	1,24	0,1241	0,0089
» 30 » » 14 июля	18,40	1,31	0,0452	0,0031
» 14 июля » 28 »	37,50	2,68	0,1110	0,0079
» 28 » » 11 августа	37,90	2,70	0,1115	0,0080
» 11 августа по 25 августа	1,50	—	—0,0034	—
» 25 » » 8 сентября	—1,00	—	—0,0085	—

Таким образом, в течение всего периода увеличения сухой массы (от всхода до полного цветения, 5 мая—11 августа) ежедневный прирост ее непрерывно возрастает и достигает наибольшей величины в промежутке между 14 июля и 11 августа во время развития главной массы стеблей, вес которых к этому времени, как видно из таблицы 2, достигает своего максимума (более 40% от веса всего растения). Несколько иной ход ежедневного восприятия фосфорной кислоты; ее величина не возрастает непрерывно: начиная с очень небольшой величины она увеличивается и достигает наибольшей величины (0,0089 г) приблизительно к концу второго месяца вегетации, затем значительно понижается (0,0031 г между 30 июня и 14 июля, в период сравнительно слабого увеличения прироста сухой массы) и снова возрастает до полного отцветания (11 августа).

Исследования 1904 г., обнимавшие значительно меньший период вегетации, дали результаты, совершенно подобные вышеописанным; мы здесь приведем в подтверждение этого ежедневный прирост в 100 растениях сухой массы и фосфорной кислоты в граммах, вычисленный по недельному и двухнедельному (числа в скобках) приросту:

	Сухая масса	Фосфорная кислота
с 15 мая по 26 мая	0,03	0,0000
» 26 » » 2 июня	0,02 (0,02)	0,0301 (0,0002)
со 2 июня по 9 »	0,14	0,0006
с 9 » » 16 »	0,09 (0,12)	0,0007 (0,0006)
» 16 » » 23 »	0,63	0,0044
» 23 » » 30 »	0,92 (0,77)	0,0045 (0,0045)
» 30 июня » 7 июля	1,7	0,0079
» 7 июля » 14 »	1,83 (1,45)	0,0065 (0,0072)
» 14 » » 21 »	1,56	0,0064
» 21 » » 28 »	2,71 (2,08)	0,0084 (0,0073)
» 28 » » 4 августа	2,00	0,0064

При сравнении этих чисел с соответствующими для клеверов 1905 г. обращают на себя внимание следующие два обстоятельства. Во-первых, тот первый максимум ежедневного прироста фосфорной кислоты, который наблюдался в клеверах 1905 г. на 42—56-й день их роста, в клеверах 1904 г. нами не обнаружен; он мог поэтому наступить, если он вообще наступил, не раньше чем на 68—74-й день, а быть может, и еще позже; явление это, по нашему мнению, должно находиться в связи с упомянутым раньше более медленным развитием клевера в 1904 г. Во-вторых, числа предыдущей таблицы, вычисленные по еженедельному приросту, не представляют правильно возрастающего ряда, подобно тому как мы это видели для ежедневного прироста в опытах 1905 г., но тот же ежедневный прирост, найденный на основании двухнедельного прироста (числа

в скобках) не обнаруживает этих колебаний: очевидно, на результатах еженедельного анализа клевера сказывается уже довольно чувствительно влияние второстепенных факторов.

Таков ход создания органического вещества и поглощения фосфорной кислоты первогодним клевером в течение его вегетационного периода по данным нашего исследования; результаты эти вполне согласны с результатами, полученными в ранее упомянутом исследовании Dietrich'a; в подтверждение мы приведем здесь в процентах от максимальных величин данные одного из опытов Dietrich'a.

Характеристика растений	Длина периода	Сухое вещество	Фосфорная кислота
4—6 листьев	?	0,9	1,8
5—6 »	27	2,8	5,1
Образование стеблей	19	4,5	7,1
» головок	10	6,5	10,5
Начало цветения	10	16,5	23,6
Полное цветение	9	31,0	39,0
Конец цветения	17	71,3	79,9
		100,0	100,0

Принимая во внимание, что исследование Dietrich'a и наше велись с материалом, выращенным при очень не одинаковых климатических и культурных условиях, едва ли можно сомневаться, что полученный результат является типичным для клевера и даст действительное представление об общем характере поступления в клевер фосфорной кислоты.

Перейдем теперь к сравнению клевера с другими растениями и, ввиду опытов, изложенных во 2-й главе, остановимся на льне, горчице и овсе. В нижеследующей диаграмме представлены кривые восприятия фосфорной кислоты (на оси абсцисс время, на оси ординат содержание фосфорной кислоты в соответствующий период в процентах от максимального содержания): первогодним клевером (по данным нашего исследования), льном (по данным Bretschneider'a и Küllenberg'a, заимствую у Liebscher'a), овсом (заимствую у Liebscher'a) и горчицей (по данным профессора Богданова, «Хоз», 1900, стр. 1453).

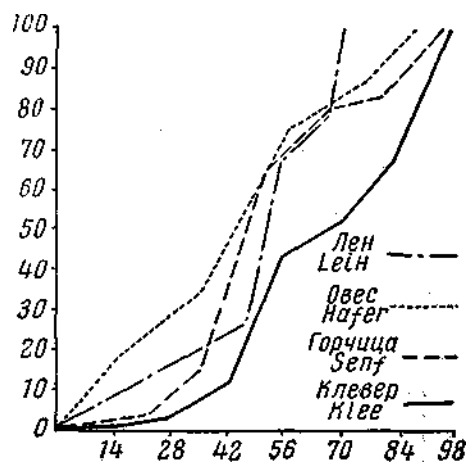


Рис. 1. Ход восприятия фосфорной кислоты.

Кривые особенно отличаются в первой своей трети: кривая льна и особенно кривая горчицы и клевера в этой части значительно отложе, нежели кривая овса; в дальнейшем ход кривых в существенных чертах одного и того же характера. На что указывает такая разница в ходе восприятия фосфорной кислоты клевером, горчицей и льном, с одной стороны, и овсом, с другой стороны? В какой связи находится она с потреб-

ностью в удобрении? Само по себе то или иное содержание питательного вещества в растении, тот или иной ход восприятия его растением не дает еще указания на потребность в удобрении уже потому, что последняя, как это указывалось, например, Kühn'ом, Wagner'ом и Liebscher'ом, обусловлена не только содержанием этого вещества в растении, но и некоторыми другими факторами, как то: продолжительностью вегетации и способностью использовать имеющийся в распоряжении растения питательный материал. И в рассматриваемом нами частном случае малое потребление фосфорной кислоты льном, горчицей и особенно клевером в первый период их вегетации сравнительно с потреблением ее в тот же период овсом не дает указаний на потребность этих растений в этот же период в фосфорной кислоте. Мы думаем, наоборот, что, только зная детально потребность растения в удобрении в различные периоды его жизни, можно объяснить себе наблюдаемый характер поступления в растение питательных веществ, то или иное потребление этих веществ в различные периоды роста. В следующей главе мы и перейдем к изложению опытов, имеющих целью выяснение потребности клевера, льна, овса и горчицы в легкорастворимой фосфорной кислоте, и к сравнению этой потребности с ходом восприятия.

II. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ КЛЕВЕРА, ЛЬНА, ОВСА И ГОРЧИЦЫ В ЛЕГКОРАСТВОРИМОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЕ

Сравнительные наблюдения над ростом клевера и других растений на различных почвах и по различным фосфорнокислым удобрениям наводили нас на мысль, что потребность в легкорастворимой фосфорной кислоте у клевера, а отчасти и у льна, заметно выше, нежели у овса, ячменя, горчицы, гречихи. Для того чтобы ближе подойти к этому вопросу и точнее определить наблюдаемую разницу в этих растениях, мы поставили в 1903 и 1904 гг. вегетационные опыты с четырьмя растениями: клевером, льном, овсом и горчицей, на песчаном черноземе, отличающемся бедностью доступной растениям фосфорной кислоты; опыты 1903 г. отличались от опытов 1904 г. только меньшими размерами; результаты их были совершенно тождественны с результатами 1904 г.; поэтому в дальнейшем мы будем говорить лишь об опытах 1904 г. как более детальных. Для всех растений схема опытов была одна и та же:

2	сосуда с основным удобрением ¹	без фосфорнокислого	
2	»	»	+ 1 г P_2O_5 в $FePO_4$ сильно прокаленном
2	»	»	+ 0,95 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,05 г P_2O_5 в NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,9 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,1 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,8 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,2 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,7 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,3 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,6 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,4 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,5 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,5 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,2 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 0,8 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	»	+ 0,0 » P_2O_5 » $FePO_4$ + 1,0 » P_2O_5 » NaH_2PO_4

Применявшееся фосфорнокислое железо для уменьшения доступности его фосфорной кислоты очень сильно прокаливалось; как видно будет из окончательных результатов этих опытов, доступность ее действительно была незначительна; таким образом, во всех сосудах опыта содер-

¹ Состав основного удобрения на сосуд: 0,75 г азота (0,2 г для клевера) в азотно-кислом кальции и 0,5 г K_2O в сернокислом калии.

жалось одно и то же количество всей фосфорной кислоты; разница заключалась в том, что начиная от 1-й пары до последней (10-й) постепенно увеличивалось количество растворимой фосфорной кислоты и уменьшалось количество труднодоступной. Все растения были посеяны одновременно 7 мая; горчица взошла 10, ячмень 11, а клевер и лен 13 мая.

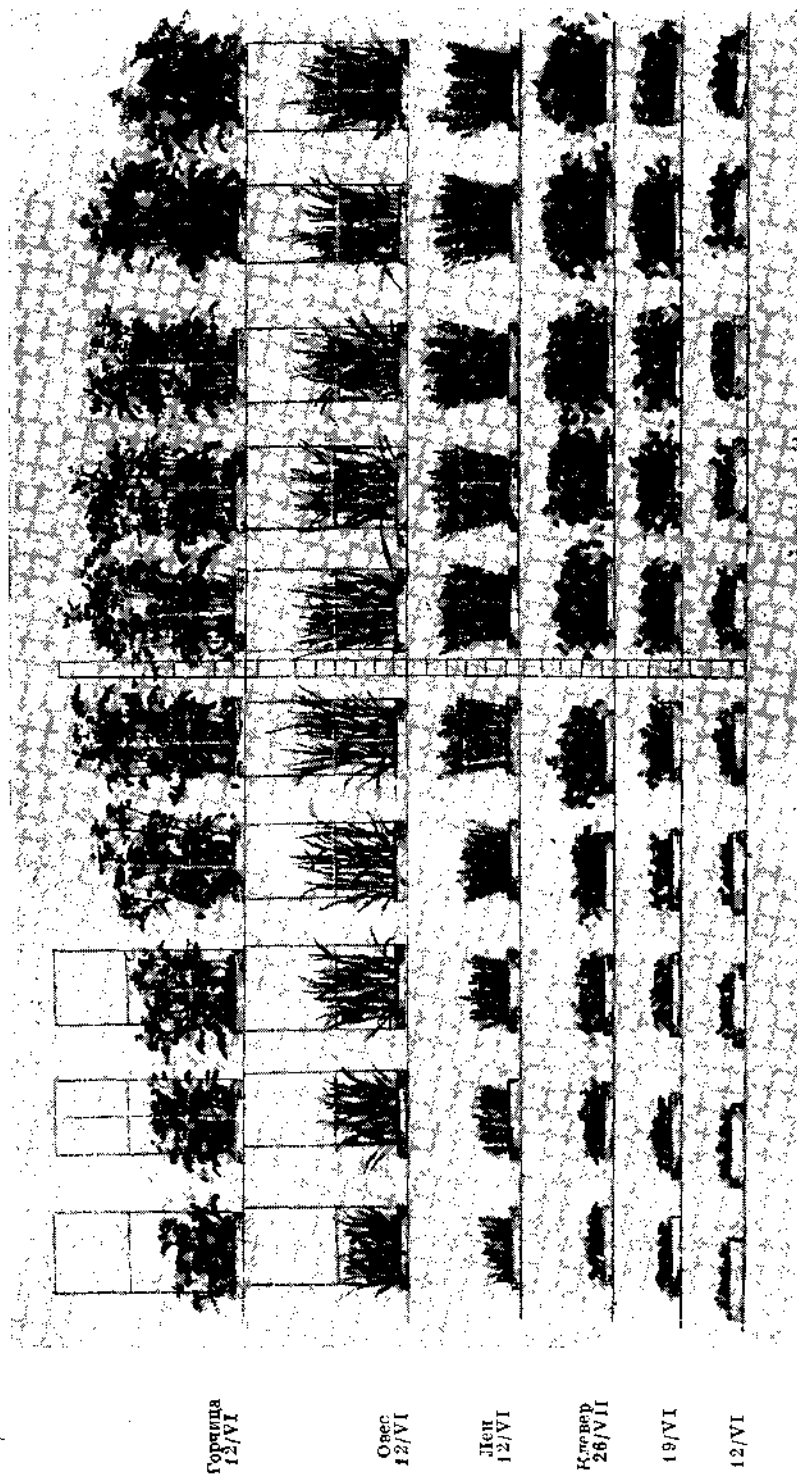
Мы не имели возможности для каждого растения поставить столько сосудов, чтобы определять вес образовавшейся органической массы в различные периоды роста, поэтому мы ограничились подробными записями и фотографированием; первый раз фотографии были сняты 12 июня, а затем через каждую неделю; на прилагаемом рисунке (стр. 64) мы приводим первый снимок горчицы, овса, льна и клевера (12 июня, приблизительно месячный возраст), для последнего же, кроме того, снимок второй (19 июня) и третий (26 июня).

На основании дневника культур и фотографий картина развития растений представляется в следующем виде.

К л е в е р. Уже через неделю после всхода стало проявляться различие в развитии растений: первые три сосуда¹ не отличались между собою, начиная же с 4-го до последнего включительно развитие растений постепенно усиливалось; с течением времени разница между сосудами все увеличивалась и в том же порядке, причем в начале 3-й недели она сказалась и в первых трех сосудах, так что с этого времени мы имели ряд сосудов все с сильнее и сильнее развитым клевером; параллельно с лучшим развитием и большей высотой клевера в сосудах слева направо все отдельные фазы развития клевера происходили тем раньше, чем дальше отстоял сосуд от начала. Состояние клеверов на 30-й, 37-й, 44-й день их развития представлено на рисунке 2; на первом из них уже не заметна разница между предпоследним и последним сосудом; в дальнейшем ход развития сохранялся совершенно тот же, что был описан раньше, только разница между тремя последними сосудами все уменьшалась. Цветение клевера раньше всего началось в последнем сосуде, затем постепенно и в остальных в порядке справа налево; во время полного цветения каждая пара сосудов срезалась и определялся вес воздушно-сухой массы; результаты взвешивания даны в таблице 3, где мы приводим только средние урожаи из двух пар сосудов (параллельные сосуды во всех случаях дали почти совпадающие результаты; наибольшее отклонение получилось для 6-й пары 3,5 г или 1,8 г, что составит около 3% от среднего урожая; таблица показывает, что с увеличением количества растворимой фосфорной кислоты урожаи клевера все увеличивались, сначала сильно, а под конец, начиная с 4-й пары с конца, на небольшие величины.

Таким образом, клевер уже с первых дней своего развития сильно реагировал на даваемую ему растворимую фосфорную кислоту, и притом тем сильнее, чем больше давалось ему ее; клевер в урожае которого на сосуд в недельном возрасте содержалось не более 2 мг фосфорной кислоты (причем большая часть ее принадлежала семени), развивался быстрее и сильнее в сосуде, содержащем 1 г растворимой фосфорной кислоты, нежели в сосуде с 0,8 г ее. И это несмотря на более высокую концентрацию раствора, которая сама по себе едва ли создавала благоприятные условия для развития. Опыт, по нашему мнению, ясно показывает, что клевер уже в самые ранние периоды своего развития чрез-

¹ Всюду будем иметь в виду тот же порядок сосудов, в каком они представлены на фотографиях и на приведенной схеме (см. стр. 62).



Основное удобрение

FePO_4	P_2O_5 г	0	1	0,95 0,05	0,9 0,1	0,8 0,2	0,7 0,3	0,6 0,4	0,5 0,5	0,2 0,8
0	0									

Рис. 2. Потребность растений в первые периоды развития в растворимой фосфорной кислоте.

вычайно требователен по отношению к легкодоступной фосфорной кислоте, что для своего полного развития он уже в эти периоды нуждается в громадном количестве легкодоступных фосфатов. Относительно других, более поздних периодов мы не имеем достаточно данных, хотя косвенное указание дают нам последние пары сосудов нашего опыта: мы видели, что первоначальная ясно заметная разница у них, в смысле более сильного роста с увеличением количества растворимой фосфорной кислоты, постепенно с развитием клевера сглаживалась; клевер как будто бы по мере своего развития лучше использовал предоставляемые ему запасы и уже не только почти одинаково относился к 0,5 и 1,0 г фосфорной кислоты, но и успевал наверстать тот ущерб, который был у него в начале.

Л е н. Развитие льна в разных сосудах и в различные периоды вегетации представляло очень большое сходство с изложенным развитием клевера; только различие в сосудах проявлялось на несколько дней позже и максимальное развитие все время было у льна 3-го сосуда с конца; 2-й и 1-й сосуды с конца все время по высоте растений несколько отставали от 3-го, хотя к концу вегетации почти сравнялись с ним, по толщине же растения в этих сосудах несколько превосходили растения 3-го сосуда с конца; в этом, очевидно, сказалось вредное влияние высокой концентрации почвенного раствора; помещенный снимок дает ясное представление о характере роста льна по различным количествам растворимой фосфорной кислоты; так же как и у клевера, различные фазы развития льна наступали сначала в сосудах с большими количествами растворимой фосфорной кислоты. По мере созревания лен срезался; вес окончательного урожая приведен в таблице 3; так же как и для клевера, окончательный урожай оказался тем больше, чем больше дано было фосфорной кислоты, хотя это сказалось главным образом на весе стеблей; зерно же уже с 5-й пары (с начала) сосудов оставалось почти без изменения. Таким образом, лен, совершенно подобно клеверу, оказался чрезвычайно благодарным уже в самые первые периоды своего развития за большие количества легкодоступной фосфорной кислоты.

О в с. Иную картину представляло развитие овса; он довольно рано (приблизительно на 9-й день) обнаружил лучший рост во 2-й и особенно в 3-й паре сосудов сравнительно с 1-й, но в это время все остальные сосуды ничем не отличались от 3-й пары, т. е. к этому времени овес на 0,05 г растворимой фосфорной кислоты развивался так же, как и на всех остальных больших количествах; через некоторое время 3-я пара сосудов начала отставать от остальных, находящихся вправо от нее, а к 12 июня, когда был сделан первый снимок с овса, отстала уже и 4-я пара; затем по мере роста, через довольно большие промежутки времени (не меньше недели), отстали последовательно сосуды 5-й и 6-й пары; овсы в 7-м, 8-м, 9-м и 10-м сосудах остались до конца вегетации одинаковыми; отметим, что время наступления различных фаз развития (выход в трубку, колошение и т. д.) в сосудах, в которых овес отличался по своей величине, не было настолько различно, как у клевера и льна. Окончательный урожай овса приведен в таблице 3; результаты показывают, что последние пары сосудов дали одинаковый урожай.

Г о р ч и ц а. Горчица в своем отношении к растворимой фосфорной кислоте проявила много сходства с овсом и не меньше отличалась, чем последний, в этом отношении от клевера и льна. Приблизительно через неделю после всходов ряд сосудов давал следующую картину: 1-й сосуд (без фосфорной кислоты) немного отстал в развитии от 2-го сосуда (только с фосфорнокислым железом); 2-й заметно отстал от 3-го, содержащего

Таблица 3

Средний урожай (в граммах на сосуд)

Основное удобрение															
P_2O_5 г в $\left\{ \begin{array}{l} FePO_4 \\ NaH_2PO_4 \end{array} \right.$	0			1			0,95			0,9			0,8		
	0			0			0,05			0,1			0,2		
	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего
Клевер	—	—	13,1	—	—	23,2	—	—	30	—	—	36,4	—	—	47,6
Лен	6,8	17,6	24,4	10,2	23,4	33,5	12,5	28,7	41,2	14,1	31,4	45,5	15,4	37,2	52,3
Овес	12,9	15,0	27,9	18,8	18,9	37,7	22,9	23,6	46,5	26,8	26,0	52,8	31,6	32,2	63,8
Горчица	1,7	13,1	14,8	3,6	16,0	19,0	4,6	22,7	27,2	9,7	43,6	53,3	11,0	50,6	61,6

Таблица 3 (продолжение)

Основное удобрение															
P_2O_5 г в $\left\{ \begin{array}{l} FePO_4 \\ NaH_2PO_4 \end{array} \right.$	0,7			0,6			0,5			0,2			0		
	0,3			0,4			0,5			0,8			1		
	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего
Клевер	—	—	51,4	—	—	59,8	—	—	61,2	—	—	62,6	—	—	64,2
Лен	15,7	39,6	55,3	15,6	40,2	55,8	16,0	43,1	59,1	16,0	45,6	61,6	16,2	48,6	64,8
Овес	35,0	37,7	72,7	40,4	43,3	83,7	41,8	40,0	81,8	41,6	39,0	80,6	43,7	41,1	84,8
Горчица	13,9	56,3	70,1	16,4	58,9	75,3	18,8	67,0	85,8	17,9	67,4	85,3	18,5	68,5	87,0

0,05 г растворимой фосфорной кислоты; начиная же с 3-го сосуда до последнего разницы в развитии горчицы нельзя было заметить; с течением времени стал отставать 3-й сосуд, на 11-й день это было уже вполне ясно заметно; вместе с этим, к этому времени горчица в последнем сосуде по высоте растений стала отставать от соседних; дальше начала отставать в росте горчица в 4-м сосуде (с 0,1 г растворимой фосфорной кислоты) и к 12 июня, когда была снята первая фотография (см. стр. 64), уже довольно значительно отличалась от более правых сосудов; так постепенно отставала в росте и вообще в развитии горчица в сосудах слева направо до 4-го с конца включительно (по 0,4 г растворимой фосфорной кислоты); к 19 июля (начало цветения) отстал 5-й сосуд от начала, а во время полного цветения 6-й и 7-й (от начала); вместе с тем горчица последнего сосуда к этому времени была ниже сантиметров на 10 сравнительно с горчицей двух соседних сосудов, но стебли ее были значительно толще; в этом сосуде, а отчасти и предпоследнем, развитие горчицы указывало на слишком высокую для нее концентрацию почвенного раствора. В зрелом состоянии горчица была срезана; вес воздушносухого урожая приведен в таблице 3. Как показывают эти данные, вес соломы и зерна повышался вплоть до 3-го с конца сосуда (с 0,5 г растворимой фосфорной кислоты), в последних же трех сосудах величина того и другого колеблется в пределах точности вегетационного метода, так что большие количества растворимой фосфорной кислоты, чем 0,5 г на наш сосуд,

ни в первые, ни в последние периоды вегетации горчицы не улучшали ее развития, а скорее наоборот.

Таким образом, горчица, подобно овсу, в первые периоды своего развития довольствовалась лишь небольшими количествами легкодоступной фосфорной кислоты и лишь по мере своего развития, по мере того, как она использовала эти количества, она отставала в росте от растений, получивших больше этого вещества.

Все вышесказанное дает право, по нашему мнению, сделать определенное заключение, что клевер и лен уже в самые первые периоды своего развития сильно нуждаются в больших количествах легкодоступной фосфорной кислоты, тогда как овес и особенно горчица, несмотря на большее содержание в них в эти периоды фосфорной кислоты, нуждаются в значительно меньших запасах легкодоступных фосфатов. Мы не имеем достаточно данных, чтобы указать на ближайшую причину такого различия между этими растениями. Дело в том, что нет возможности даже приблизительно судить о том, насколько повышалась концентрация фосфорной кислоты в почвенном растворе сосудов от прибавления все увеличивающихся количеств фосфорнокислого натрия и какая часть фосфорной кислоты переходила в нерастворимое состояние вследствие поглощения почвой; можно сказать только, что концентрация фосфорной кислоты повышалась у нас в сосудах слева направо, но насколько — вопрос остается открытым; поэтому остается открытым и вопрос о том, вызывается ли то различие между клевером и льном, с одной стороны, и овсом и горчицей, с другой стороны, о котором здесь идет речь, способностью овса и горчицы сильнее, сравнительно с клевером и овсом, использовать водный раствор фосфата или же более слабой способностью клевера и льна, опять-таки по сравнению с овсом и горчицей, усваивать фосфорную кислоту легкодоступных, но не находящихся в растворе, а поглощенных почвой фосфатов.

В первой главе статьи мы видели, что кривые поглощения фосфорной кислоты в первой трети периода вегетации у клевера и льна идут отложее, нежели у овса; лен и клевер в первые периоды их развития воспринимают из почвы меньший процент всей фосфорной кислоты, заключающейся в окончательном урожае их, нежели овес; опыты же с удобрением показали нам, что потребность первых двух растений в том же возрасте в легкодоступных фосфатах значительно выше, нежели потребность в них овса; таким образом, сравнительно малое содержание фосфорной кислоты в первом периоде в урожаях клевера и льна является не следствием их малой потребности в фосфорной кислоте, а, наоборот, связано как будто бы с малой способностью их в этот период усваивать фосфорную кислоту, с большей потребностью их в удобрении в это время сравнительно с овсом; но, с другой стороны, горчица, которая по нашим опытам, приблизительно так же мало нуждалась в больших количествах растворимой фосфорной кислоты, как и овес, по количеству фосфорной кислоты, воспринимаемой в первые периоды развития, мало отличается от клевера и, быть может, даже уступает в этом отношении льну (говоря, быть может, так как исследования Bretschneider'a и Küllenberg'a начались лишь с 55-го дня после всхода льна и, таким образом, ничего не говорят о поступлении фосфорной кислоты в лен); для выяснения этого факта необходимо, очевидно, детальнее исследовать потребность горчицы в фосфорной кислоте в самые ранние периоды развития; что в этом отношении горчица чем-то отличается от остальных упомянутых растений, видно, например, уже из следующего: несмотря на свою способность

очень хорошо использовать фосфорную кислоту фосфоритов, горчица чрезвычайно слабо использует фосфорную кислоту, например, той же почвы, на которой были поставлены вышеописанные опыты; таблица 3 показывает, что урожай горчицы без фосфорнокислого удобрения почти такой же, что и у клевера, и значительно ниже, чем у льна и овса, между тем все эти три растения гораздо слабее горчицы используют на той же почве фосфорную кислоту фосфорита.

Легко видеть, что потребность клевера в больших количествах легкодоступной фосфорной кислоты должна служить одной из главных причин клевероутомления; в силу такой потребности почва может оказаться истощенной по отношению к фосфорной кислоте для клевера, но не для других растений; в зависимости от характера почвы, от предшествующих ему растений и условий культуры истощение это может наступить раньше или позже, в большей или меньшей степени, быть может оно в некоторых случаях и не наступит вовсе; это может случиться на почвах очень деятельных, быстро переводящих нерастворимые соединения в почвенный раствор; но на почвах, деятельность которых в этом отношении ничтожна, не достаточно для удовлетворения текущей потребности клевера, но которые в силу предшествующей культуры накопили за известный промежуток времени некоторые запасы легкорастворимых фосфатов, клевер по прошествии некоторого времени использует эти запасы и начнет страдать от недостатка освобождения почвой растворимой фосфорной кислоты,—появятся признаки клевероутомления; но на тех же почвах другие растения, как овес и горчица, довольствующиеся значительно меньшими количествами растворимой фосфорной кислоты, могут давать и нормальные урожаи, раз деятельность почвы не ниже известного уровня. Внесением соответствующих фосфорнокислых удобрений клевероутомление на таких почвах должно исчезнуть; но для этого необходимо именно соответствующее данной почве удобрение; на почвах, деятельность которых мала только сравнительно с большими требованиями клевера, клевероутомление смогут уничтожить и труднорастворимые фосфорнокислые удобрения; на почвах, деятельность которых вообще ничтожна, клевероутомления, быть может, не уничтожат большие количества томасшлака; нам приходилось наблюдать подобное в сосудах с почвами, очень нуждающимися в фосфорной кислоте: на таких почвах по сравнительно гораздо большим количествам томасшлака, чем какие обыкновенно даются для получения максимального урожая, в сосудах клевер, не в пример прочим растениям, развивался гораздо хуже, чем по нормальному количеству суперфосфата, и это несмотря на то, что по своей реакции томасшлак больше соответствовал клеверу на этих почвах, нежели суперфосфат; еще в большей степени сказанное должно относиться к тем же почвам в поле, так как без сомнения деятельность почвы, помещенной в сосуд, значительно превосходит деятельность ее в поле и растворяющее ее действие на томасшлак в сосудах сильнее, нежели в поле.

В известных случаях клевероутомление может, конечно, наступить вследствие истощения почвы калием; мы этого вопроса не касаемся, но думаем, что если в действительности наблюдаются такие случаи, что клевер перестает расти вследствие недостатка калия, а другие растения ощущают после него этот недостаток не в такой мере, то причины этого явления аналогичны вышеописанному.

Как мы видели выше, лен в своем отношении к фосфорной кислоте почвы очень сходен с клевером; вместе с тем, как известно, имеются ука-

зания и о льноутомлении почвы; едва ли возможно допустить здесь случайное совпадение.

Случаи льноутомления почвы, по крайней мере судя по литературе этого вопроса, встречаются реже и меньше обращают на себя внимание; мы думаем, что причина этого лежит, кроме применения при этой культуре удобрений, еще и в том обстоятельстве, что лен—растение однолетнее, а клевер многолетний; в дальнейшем мы скажем почему, по нашему мнению, многолетний клевер должен сильнее истощать почву, нежели растения однолетние.

В связи с вопросом о клеверутомлении находится вопрос об отдыхе почвы; к сожалению, по крайней мере по отношению к клеверу, имеется недостаточно соответствующего фактического материала для ясной постановки вопроса и более или менее полного выяснения его; тем не менее некоторые из имеющихся опытов определенно показывают, что почвы, прекратившие совершенно давать урожай клевера, после нескольких лет культуры хлебных растений начинали давать снова, хотя и не надолго, вполне удовлетворительные урожаи его. В каждом частном случае, в зависимости от почвы, приемов культуры и особенностей возделываемых растений, непосредственные причины такого отдыха почвы будут, конечно, несколько иными, но тем не менее способы возделывания большинства наших сельскохозяйственных растений настолько отличны в некоторых отношениях от приемов возделывания клевера, что, не входя в частности, можно указать на главнейшую причину лучшего развития клевера после отдыха почвы под другими растениями; причина эта, по нашему мнению, заключается в том, что многолетняя культура клевера понижает, ослабляет деятельность почвы, последующая же культура однолетних растений способна поднять эту ослабленную деятельность.

Укажем прежде всего на то обстоятельство, что в период наиболее энергичной деятельности почвы в осенний период запасы, накапливаемые почвой, расходуются при культуре клевера тогда же осенью, при культуре же большинства других растений, прекращающих восприятие из почвы минеральных веществ уже к концу лета, а то и раньше, остаются в почве и служат пищей растениям следующего года; таким образом, клевер, высеянный даже после одногодней только культуры клевера, будет находиться в худших условиях питания, нежели высеянный после культуры другого, однолетнего растения. Далее однолетние растения ежегодно обогащают почву корневыми остатками, гниение которых должно способствовать деятельности почвы; при культуре клевера, пока он жив, мы этого не имеем. Наконец, существенное значение в рассматриваемом вопросе должно иметь то обстоятельство, что почва под клевером все время его жизни не подвергается обработке; по сравнению с почвой, занимаемой то же число лет однолетними растениями, такая почва должна находиться в гораздо худших условиях проветривания, увлажнения и нагревания, а следовательно, химические и биологические процессы в ней будут происходить менее энергично и количество питательных веществ, освобождаемых такой почвой при всех прочих равных условиях, будет меньше, чем при культуре однолетних растений с постоянно повторяющейся обработкой почвы.

Таковы, по нашему мнению, существенные моменты, обуславливающие большую деятельность почвы под однолетними растениями и позволяющие поднять урожай клевера культурой на той же почве в течение известного времени других растений.

С.-Петербург, 10 февраля, 1907 г.

ОПЫТЫ С ИЗВЕСТКОВЫМ АЗОТОМ

Все усиливающаяся потребность сельского хозяйства в азотистых удобрениях и опасность близкого истощения залежей селитры заставила исследователей энергичнее заняться изысканием способов искусственного приготовления азотистых туков. В результате мы имеем уже три таких способа; два из них основаны на утилизации атмосферного азота: способ Frank'a, состоящий в связывании атмосферного азота карбидом кальция, причем получаемый продукт—цианамид кальция (CN_2Ca) в чистом виде содержит 35% азота, в том же не чистом виде, в каком он получается сейчас фабричным путем,—до 21% и способ Birkeland'a и Eyde—окисление азота помощью электрического тока и получение азотно-кальциевой соли (норвежская селитра); третий способ состоит в утилизации азота торфяников; он предложен в самое последнее время Munz'ом и Laine и еще недостаточно разработан; что же касается до первых двух способов, то более старый из них, способ Frank'a (опубликован в 1903 г.), сейчас является более экономичным.

Фабричным путем цианамид кальция получается теперь в двух сортах: в виде так называемого известкового азота (Kalkstickstoff) и азотистой извести (Stickstoffkalk).

Известковый азот, изготовляемый по Frank'y и Caro обществами Cyanidgesellschaft в Берлине и Societa Italiana di prodotti azotati Riano d'Orta, в среднем имеет следующий состав (в %):

азота	20—21
кальция	40—42
соответственно окиси кальция	56—57
углерода	17—18

Микроскопические исследования Н. Карпен'a показывают, что известковый азот есть смесь главным образом двух веществ: графитообразных пластинок и кристаллического цианамидка кальция.

Азотистая известь, изготовляемая обществом Gesellschaft für Stickstoffdünger в Вестерегелъне, имеет следующий состав (в процентах):

азота	около 20
углерода	» 19,5
хлора	» 6,5
кальция	» 45
соответственно окиси кальция	» 60

Существенно состав последней отличается от состава известкового азота присутствием хлористого кальция. Исследования F. Polzeniusz'a, а затем F. Carlson'a, Foerster'a и Jacoby и Bredig'a показали, что в при-

существовании некоторых веществ, в том числе хлористого кальция, процессе азотирования карбида кальция происходит быстрее и при более низкой температуре¹.

Как известковый азот, так и азотистая известь подвергаются в почве сложным превращениям, характер которых и род получаемых при этом продуктов находятся в зависимости от многих условий и, в свою очередь, обуславливают степень пригодности и выгодности этих веществ в качестве удобрения. До сих пор, несмотря на массу произведенных исследований², в особенности германскими опытными станциями, несмотря на массу добытых результатов, вопрос об этом удобрении далеко еще не решен; получаемые результаты часто противоречат друг другу, что указывает на зависимость действия известкового азота на растения от трудноуловимых факторов. Из многочисленных работ в этой области мы остановимся здесь лишь на работах Seelhorst'a, Haselhoff'a, Immen-dorf'a, Ulpiani, Perotti, B. Schulze, Kappen'a, Löhnis'a и Wagner'a, так как главным образом эти исследователи занимались выяснением тех превращений, каким подвергается цианамид кальция в почве при различных условиях.

Опыты Seelhorst'a и Mütcher'a³ с овсом и гречихой на песчаной почве, на песчаном суглинке и суглинистой почве показали, что известковый азот может являться причиной двоякого рода страдания растений: он может вредить всходам, задерживая всхожесть семян и в наиболее неблагоприятных случаях губя взшедшие растения, и вредить взрослым растениям: листья растений теряют хлорофилл и постепенно, начиная с верхушки, белеют; страдание это, отзываясь, конечно, на урожай, не губит растения.

Так как одним из продуктов превращений, претерпеваемых известковым азотом, может быть дициандиамид, то авторы поставили опыты с действием на растения этого соединения; результат показал, что дициандиамид вредит растениям и причиняемые им страдания по времени и внешнему виду очень сходны со вторым видом страдания растений на известковом азоте; отсюда авторы заключили, что известковый азот в почве является источником двух ядовитых для растений веществ: во-первых, дициандиамида как продукта превращения цианамида,—этот продукт является причиной страдания растений во второй стадии их развития; во-вторых, газообразных продуктов, выделяющихся из известкового азота при смешении его с водой или влажной почвой. Дело в том, что употребляемый для производства известкового азота материал загрязнен различными примесями, между прочим фосфористым и сернистым кальцием, которые при действии воды и являются источником вышеуказанных вредных газообразных продуктов; непосредственные исследования авторов над действием выделяемых известковым азотом газообразных продуктов на высеянный в почве ячмень показали, что действие их чрезвычайно сходно с действием известкового азота. По мнению авторов, это действие нужно приписать фосфористому водороду, а может быть, и ацетилену.

¹ Объяснение такого действия можно найти у Bredig'a (Ztschr. Elektrochemie, 1907, № 9), у Foerster'a и Jacoby (Там же, 1907, № 12), у Polzeniusz'a (Chem. Zt., 1907, стр. 958).

² Исследования производились преимущественно с известковым азотом; те опыты, которые велись параллельно с ним и с азотистой известью, показывают, как и следовало ожидать, судя по их составу, полное сходство в получаемых результатах.

³ Seelhorst и Mütcher. Versuche mit Kalkstickstoff. «Journ. f. Landw.», т. 53, 1905, стр. 329—56; реф. в «Журнале опытной агрономии», 1906, т. 7, стр. 190.

Опыты тех же исследователей показали, что оба вида вредного действия известкового азота—страдание всходов и более взрослых растений, проявляются в неодинаковой степени на почвах различного механического состава: чем почва песчанистее, тем вреднее действует цианамид кальция. Меньшая ядовитость известкового азота на более глинистых почвах объясняется ими большей поглотительной способностью этих почв, так как их опыты показывают, что известковый азот в песчаных культурах не вредит ни всходам, ни взрослым растениям в том случае, когда к песку прибавлено соответствующее количество окиси железа (в опытах авторов 5%), между тем как без этого вещества растения на песке вовсе не всходили.

Мы остановимся сначала на вопросе о причинах, вызывающих понижение всхожести и страдания всходов под влиянием известкового азота. Вопрос о выделяющихся газообразных продуктах при увлажнении известкового азота и о действии их на растения в последнее время был подробно исследован Haselhoff'ом¹. Качественное исследование выделяющихся газов показало присутствие аммиака, ацетилена, фосфористого водорода и сероводорода и отсутствие цианистого водорода; кроме того, исследование пробы из жидкости из смеси известкового азота с культурной почвой на 3-й и на 7-й день также показало отсутствие цианистых соединений; этим, разумеется, ничего не говорится против тех опытов, говорит по этому поводу автор, которые показали, что вследствие превращений в почве известкового азота образуются цианистые соединения, вредно действующие на рост растений. Количественное определение выделяющихся газов дало следующие результаты.

А м м и а к. Из 10 г известкового азота (с 1,807 г N) в течение 8 дней выделилось 68,35 мг NH_3 (3,78% от общего содержания); выделение аммиака продолжалось, конечно, и дальше; максимум наступил на 2-й день.

А ц е т и л е н. Из 10 г известкового азота трехдневным пропусканьем воздуха выделено было 0,0795% (?) ацетилена.

Ф о с ф о р и с т ы й в о д о р о д. Из 50 г известкового азота в три дня выделено было 0,00068 г этого соединения.

С е р о в о д о р о д. В газах, выделяющихся из 50 г известкового азота, этого соединения нельзя было открыть; таким образом, в газообразных продуктах разложения известкового азота содержатся лишь следы сероводорода.

Дальнейшие опыты Haselhoff'a были направлены на выяснение действия этих газов на прорастание семян и рост растений. Исследование влияния на всхожесть семян различных растений аммиака, фосфористого водорода, ацетилена, сероводорода в отдельности и всей совокупности газов, выделяющихся из известкового азота при его разложении, дало следующие результаты. **А м м и а к** определенно влияет вредно на всхожесть семян, и влияние это сильнее на песчаной почве и слабее на суглинистой; овес, ячмень и пшеница оказались более чувствительными к нему, нежели клевер и горчица. Ацетилен не оказывал вредного влияния на испытанные семена (пшеница, гречиха, клевер и горчица). **Ф о с ф о р и с т ы й в о д о р о д** в количестве 0,00053 г в одном литре пространства, где прорастали семена, влиял чрезвычайно ядовито на семена пшеницы, клевера и особенно гречихи и горчицы; опыты с про-

¹ Haselhoff. Untersuchungen über die bei der Zersetzung des Kalkstickstoff entstehenden gasförmigen Verbindungen und ihre Einwirkung auf die Pflanzenwachs-tum. (Landw. Vers.-St., 1908, т. 68, стр. 189—228).

рапированием овса в присутствии этого газа показали, что самое ничтожное его количество заметно понижает энергию всхожести и опять-таки сильнее на песчаной, нежели на глинистой почве. Сероводород также понижал энергию всхожести испытанных овса, ячменя и бобов. Наконец, опыты со всей совокупностью газов, выделяющихся из известкового азота, показали, что в их присутствии энергия прорастания понижается; что же касается процента всхожести, то у овса, пшеницы и гречихи он почти не изменялся, а у клевера и горчицы сильно падал. Из всех этих опытов,—заключает автор эту часть своей работы,—можно вывести, что газы, выделяющиеся при разложении известкового азота под влиянием влажности, вредно влияют на всхожесть семян и что вероятнее всего это вредное действие должно приписать свободному аммиаку, а может быть, также фосфористому водороду».

Что касается влияния вышеперечисленных газов на произрастающие растения, то опыты Haselhoff'a на почве и в водных культурах показали, что, кроме ацетилена, все остальные исследованные газы вредно действуют, вызывая страдания растений и понижение их урожая.

Иного взгляда на причины понижения всхожести семян и страдания всходов растений по известковому азоту держатся Immendorff, Карпен и др. По Immendorff'у известковый азот (а также и азотистая известь) под влиянием воды и уголекислоты в зависимости от температуры может образовывать следующие продукты распада¹:

1. $(\text{CNNH})_2\text{Ca}$ одноосновная кальциевая соль цианамид²
2. $\text{CNN}(\text{CaOH})_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ двуосновная кальциевая соль цианамид³
3. CNNH_2 цианамид
4. $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_4$ дициандиазид
5. $\text{C}_2\text{N}_2\text{O}_2\text{Ca} + 5\text{H}_2\text{O}$ цианамидоуглекислая известь

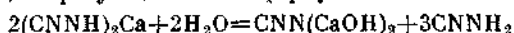
В почвах могут образовываться все эти продукты распада, кроме двуосновной кальциевой соли цианамид. Опыты Immendorff'a и Thielebein'a⁴, а затем опыты Immendorff'a⁵ показали, что как известковый азот, так и все его продукты распада в почве, исключая дициандиазид, оказывают очень вредное влияние на всхожесть семян; на основании этих данных Immendorff, не отрицая вредного действия на всхожесть семян и на всходы растений газов, выделяющихся при разложении известкового азота в почве, главную причину первого страдания растений на цианамиде кальция видит в ядовитости этих продуктов; продукты эти являются сильным ядом и для самих растений, раз корни встретят их в неизменном состоянии; но эти вещества в почве недолго сохраняют свои ядовитые свойства, так как довольно легко подвергаются дальнейшим видоизменениям; поэтому если посев производить через некоторое время после внесения известкового азота (7—14 дней), то на почвах неких вредных влияния в первые стадии развития растений не будет.

Второе страдание растений, удобренных известковым азотом, страдание, проявляющееся уже у взрослых растений, немецкими исследова-

¹ Immendorff и Kempfski. Calciumcyanamid (Stickstoffkalk oder Kalkstickstoff) als Düngemittel Stuttgart, 1907, стр. 25.

² Соль эта получается уже при обработке цианамид кальция холодной водой, по формуле: $2\text{CNNCa} + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{CNNH})_2\text{Ca} + \text{Ca}(\text{OH})_2$.

³ В растворе одноосновной кальциевой соли цианамид выпадают кристаллы двуосновной соли, образующейся по формуле:



⁴ Immendorff и Thielebein. Fühl. Landw. Zt., 1905, стр. 792.

⁵ Immendorff и Kempfski. Calciumcyanamid и пр., стр. 40.

телями приписывается образующемуся в почве при известных условиях (высокая температура—около 40°C) дициандиамиду. Что дициандиамид является ядовитым веществом для растений, доказано непосредственными опытами многих исследователей¹. Вот, например, результаты полевого опыта с овсом, удобренным 50 кг фосфорной кислоты, 80 кг калия и 30 кг N (на гектар), произведенного Löhnis'ом и Sabaschnikoff'ым².

	Урожай в ц/га			Азот (в кг)	
	зерно	солома	мякина	во всем урожае	сравнит. с неудоб.
Без азота	21,6	23,8	4,2	43,66	—
Известковый азот	29,0	28,9	4,0	55,02	+11,36
Азотистая известь	29,6	32,2	4,2	56,22	+12,56
Сернокислый аммоний	31,6	31,2	4,6	58,18	+14,52
Дициандиамид	20,8	21,4	4,2	39,84	— 3,82

Опыты В. Schulze³, кроме того, показали, что вредное свое действие в почве дициандиамид сохраняет очень долго: через год после внесения его в почву сосудов горчица сильно страдала. Причину такого продолжительного вредного влияния дициандиамида выяснил Карпен⁴; он исследовал аммонизацию известкового азота и его различных продуктов на суглинке, на песчаной почве и на мелко раздробленном песке и нашел, что из 66 мг азота в нижепоименованных веществах через 23 дня образовалось аммиака (в миллиграммах).

	Извест- ковый азот	Дициан- дизамид	Циана- мид	Цианами- доугле- кислая известь	Извест- новый азот при 4°	Извест- новый азот+CO ₂
1-я проба	65,60	1,93	59,06	30,65	61,92	73,97
2-я »	65,71	1,05	59,60	30,65	62,32	73,62
3-я »	66,41	1,75	57,84	30,30	62,45	72,92
Среднее	65,90	1,57	58,83	30,53	62,23	73,50
Процент от всего взят. N	99,84	2,37	89,13	46,26	94,28	100,00
1-я проба	17,83	1,87	37,51	21,38	12,62	26,95
2-я »	17,13	1,87	37,51	21,03	11,95	24,79
3-я »	16,44	2,05	37,51	20,68	12,62	25,42
Среднее	17,13	1,93	37,51	21,03	12,98	25,72
Процент от всего взят. N	25,95	2,92	56,83	31,86	18,75	38,96
1-я проба	1,05	0,87	1,05	1,05	1,40	2,80
2-я »	1,05	0,87	1,05	0,87	1,75	2,45
3-я »	1,40	0,87	1,05	0,87	2,45	3,20
Среднее	1,16	0,87	1,05	0,93	1,86	2,81
Процент от всего взят. N	1,75	1,30	1,59	1,40	2,81	4,24

¹ См., например, Seelhorst u. Mütter. Loc. cit.; В. Schulze. Versuche mit Kalkstickstoff u. Dicyandiamide. Jahr. Bericht. Tätig. agr.-chem. Vers. u. Kontrollst. Landw. Prow. Schlesien, 1905, стр. 8—12; реф. в «Журнале опытной агрономии», 1906, стр. 192.

² Löhnis u. Sabaschnikoff. Neue Untersuchungen über die Zersetzung und die Wirkung von Kalkstickstoff und Stickstoffkalk. Fühl. Landw. Zt., 1908, стр. 15.

³ Loc. cit.

⁴ Н. Карпен. Die Umwandlung des Kalkstickstoffes und seiner Zersetzungsprodukte im Boden. Fühl. Landw. Zt., 1907, стр. 122; реф. в «Журн. оп. агр.», 1907, стр. 711.

Таблица ясно показывает, что в то время как аммонизация азота известкового азота и его продуктов разложения, кроме дицианамидов, находится в тесной зависимости от бактериальной деятельности того субстрата, с которым они смешаны, образование аммиака из дицианамидов, независимо от рода субстрата, почти вовсе не имеет места: бактерии почвы при естественных условиях или вовсе не разлагают, или же чрезвычайно медленно разлагают дицианамид.

То же говорят и результаты, полученные Löhnis¹; его опыты с дицианамидом, известковым азотом и азотистой известью в питательных растворах, стерильных и зараженных почвой показали следующее¹ (табл. 1.).

Таблица 1

Вещество	Миллиграммов азота в испыт. веществе		Через 3 недели образовалось миллиграммов N в NH ₃				Через 6 недель образовалось миллиграммов N в NH ₃			
	в литре	в 50 куб. см	стерилизованный	зараженный		разность	стерилизованный	зараженный		разность
				а	в			а	в	
Дицианамид	390	19	0,56	0,84	9,98	+0,35	0,56	0,98	0,84	+ 0,35
	660	33	0,56	0,98	0,84	+0,35	0,56	0,98	0,98	+ 0,42
	1330	67	0,56	0,98	0,84	+0,35	0,56	0,98	0,98	+ 0,42
	2660	133	0,56	0,98	0,84	+0,42	0,56	0,84	0,98	+ 0,35
Известковый азот	375	19	0,84	4,06	3,64	+3,01	0,84	11,20	11,34	+10,13
	619	31	1,68	1,54	1,54	-0,14	1,68	16,24	15,96	+14,47
	1238	62	2,80	2,24	2,24	-0,56	2,80	1,40	1,12	- 1,54
	2476	124	5,74	4,34	4,76	-1,19	5,74	3,08	3,08	- 2,68
Азотистая известь	385	19	0,70	2,66	2,89	+2,03	0,70	9,66	12,18	+10,22
	638	32	1,26	1,96	1,82	+0,63	1,26	15,40	14,28	+13,58
	1230	62	2,24	1,96	1,82	-0,35	2,24	1,40	1,40	- 0,84
	2500	125	4,48	3,08	3,50	-1,19	4,48	1,68	2,42	- 2,31

Исходя из этих результатов и из того факта, что для образования из известкового азота цианамидов, а также его полимера—дицианамидов необходима температура около 40° С, немецкие исследователи пришли к тому выводу, что в почвах при известных условиях может иметь место образование дицианамидов, который вследствие своей ядовитости для растений и неразлагаемости бактериями является в таких случаях причиной страдания растений во второй стадии их развития. Под влиянием углекислоты, свободных гумусовых кислот, а также теплоты известковый азот дает цианамид, превращающийся в дицианамид; чем выше температура, тем скорее совершается этот переход; таким образом, при неблагоприятных условиях (отсутствие соответствующих бактерий, кислая реакция почвы, плохое ее проветривание и высокая температура) азот цианамидов кальция может оказаться в виде дицианамидов.

К иным результатам в оценке действия дицианамидов на растения пришли итальянские исследователи С. Ulpiani² и затем R. Perotti³.

¹ Löhnis u. Sabaschnikoff. Loc. cit., стр. 19.

² По Chem. Zt., 1906, стр. 460. Ulpiani. Ueber die chemischen u. biochemischen Umwandlungen des Calciumcyanamids im Ackerboden.

³ Perotti. Ueber das physiologische Verhalten des Dicyandiamides mit Rücksicht auf seinen Wert als Düngemittel. Zentrbl. Bakt. Paras, II, 1907, 18, стр. 50.

По их данным, из продуктов разложения известкового азота именно дициандиамид наиболее быстро и легко аммонизируется бактериями; известковый азот в почве химически превращается в цианамидоуглекислый кальций, затем в цианамид и в дициандиамид, который уже бактериями аммонизируется; благодаря быстрой аммонизации его азота соединение это безвредно и для всходов и для развитых растений.

В последнее время Lohnis¹ сделал попытки разрешить это противоречие. Признавая вместе с другими немецкими исследователями, что дициандиамид ядовит для растений² и трудноразложим бактериями, он отрицает его образование в почве под влиянием теплоты и допускает, что итальянские исследователи имели дело не с дициандиамидом, а с его изомером дикарбимидом. Отрицание образования в почвах дициандиамида под влиянием нагревания этот исследователь основывает на своих опытах, показывающих, что раствор известкового азота, нагреваемый в паре, не дает дициандиамида, так как азот его легко переводится бактериями в аммиак; вот данные одного из его опытов³.

	Для заражения служила чистая культура	Через 3 недели образовалось миллиграммов N в NH ₃				Аммонизированный N (в %)
		стерилизованный	зараженный			
			а	в	разность	
Раствор известкового азота нагревался пять раз, а после фильтрации еще три раза. В 50 куб. см раствора содержалось 11,48 мг N	Bact. erythrogenes.	1,40	6,16	6,16	4,76	41,5
	Bact. Kirchneri	1,40	5,60	5,88	4,36	37,8
Раствор известкового азота пять раз нагревался выпариванием, после чего еще влажный остаток растворялся в 50 куб. см почвенной вытяжки. В 50 куб. см раствора содержалось 6,3 мг N	Bact. erythrogenes.	0,70	4,62	4,06	3,50	55,5
	Bact. Kirchneri	0,98	4,06	4,20	3,29	52,2

Но эти опыты с влиянием на известковый азот обработки паром едва ли пригодны для решения вопроса о возможности образования в почве дициандиамида, так как исследования Н. Карпен'a⁴ показали, что при такой высокой температуре дициандиамид в присутствии гидрата окиси кальция (что имеет место при образовании дициандиамида из изве-

¹ Loc. cit.

² O. L o e w в недавно опубликованной работе «Ueber die physiologische Wirkung des Dicyandiamids (Chem. Zeit., 1908, стр. 676) на основании своих опытов с дициандиамидом приходит к заключению, что для многих бактерий это соединение не может служить подходящим источником азотистого питания; но вместе с тем относительно ядовитости для низших организмов оно представляет вещество индифферентное. Далее, на основании своих опытов в водных культурах с ячменем, чинной, традесканцией и *Eiodea canadensis*, автор склоняется к тому, что вообще дициандиамид не ядовит для растений; вред же, замечаемый при удобрении дициандиамидом, он склонен объяснять продуктами распада этого соединения.

³ Loc. cit. стр. 21.

⁴ K a r p e n. Ueber den Einfluss des Sterilisierens auf Lösungen von Kalkstickstoff Bact. Paras., II, 1908, стр. 704.

сткового азота) отчасти переходит в амидодициановую кислоту, которая далее дает цианамиди циановую кислоту. Его опыты с нагреванием раствора известкового азота показывают, что после тройной обработки этого раствора паром в нем почти вовсе не остается азота в виде цианамидного соединения и что аммонизация азота в стерилизованном таким образом растворе в присутствии почвенных бактерий совершается гораздо энергичнее, нежели в растворе нестерилизованном.

С питательным раствором				С водой			
стерилизованный		нестерилизованный		стерилизованный		нестерилизованный	
с почвой	без почвы	с почвой	без почвы	с почвой	без почвы	с почвой	без почвы
18,40	3,75	9,60	5,95	14,60	3,41	3,24	1,08
18,14	4,05	9,47	5,68	14,03	3,92	3,38	1,06

Каррен на основании этих исследований быструю аммонизацию азота в стерилизованных паром растворах известкового азота объясняет таким образом: цианамид кальция дает дицианамид, который в присутствии гидрата окиси кальция переходит в амидодициановую кислоту, распадающуюся на циановую кислоту и цианамид, переходящий в дициандиамид и т. д.; получающиеся амидодициановая и циановая кислоты легко под влиянием бактерий дают аммиак. В таком состоянии находится сейчас вопрос об образовании дициандиамида в почве и причинах наблюдаемого в некоторых случаях страдания растений под влиянием удобрения известковым азотом; вопрос во всяком случае нельзя считать окончательно разрешенным.

Таким образом, в теории удобрения известковым азотом сейчас можно считать твердо установленным лишь то положение, что как это соединение, так и продукты его распада, для того чтобы стать доступными и невредными растениям, должны аммонизироваться в почве и что при благоприятных условиях аммонизация азота этих соединений в почве происходит под влиянием бактерий довольно быстро (см., например, данные Каррен'a на стр. 74).

Благоприятными условиями для хорошего действия известкового азота, кроме соответствующих метеорологических факторов, является сильная бактериальная деятельность почвы¹, а также поглощательная способность почвы. Мы уже указывали на опыты Seelhorst'a и Muther'a, показывающие, что при прибавлении окиси железа к песку вредного действия известкового азота не проявлялось ни на всхожести семян, ни на взрослых растениях. Дальнейшая разработка этого вопроса принадлежит Н. Каррен'у². Его исследования над поглощением мелко разрубленным стеклом, песчаной почвой, песчаным суглинком и суглинком растворов известкового азота (или вернее—одноосновной известковой

¹ По исследованиям Löhnis'a деятельность почвенных бактерий, разлагающих известковый азот, достигает максимума в мае месяце, затем она понижается, а к осени опять несколько повышается.

² Н. Каррен. Ueber die Absorption des Kalkstickstoffes im Ackerboden, Landw. Vers., т. 68, стр. 301—331, 1908.

соли цианамид) показывают, что при соприкосновении этих растворов с поглощающими веществами цианамид кальция расщепляется на поглощающуюся известь и мало поглощающийся цианамид. Так, например, в одном из его опытов 25 куб. см раствора известкового азота, содержащего 39,83 мг кальция и 46,57 мг азота, после соприкосновения с нижеуказанными материалами содержали:

	Кальций (в мг)	Азот (в мг)
после соприкосновения с песчаной почвой . . .	32,30	45,62
» » » песчаным суглинком .	22,57	44,52
» » » суглинком	15,54	45,07

Таким образом, раствор обеднялся кальцием и почти не изменял своего содержания азота; кроме того, цифры показывают, что чем глинистее почва, тем сильнее поглощался кальций. Поглощение совершается быстро (через 15 минут в одном опыте было поглощено $\frac{2}{3}$ максимального количества); из более слабых растворов одно и то же количество почвы поглощает меньше, нежели из более сильных.

Далее Карпен остановился на вопросе, каков характер имеющего здесь место поглощения; определение количества оснований, переходящих в раствор из почвы при соприкосновении с раствором известкового азота, показало, что этих оснований переходит в раствор значительно меньше, нежели поглощается извести (в эквивалентах); таким образом, в данном явлении мы имеем дело не с одним только химическим процессом двойного разложения; опыты с поглощением извести из растворов известкового азота углем, окисью железа и кремнекислотой показывают, что в этом процессе большая роль принадлежит физическому поглощению.

Таким образом, исследования Карпен'а показывают, что благодаря поглотительной способности почв известковый азот дает свободный цианамид; этому же процессу освобождения цианамид способствует в разжиженных растворах уголекислота: чем сильнее поглотительная способность почвы, тем больше освобождается цианамид из известкового азота; но, с другой стороны, непосредственными опытами твердо установлено, что чем больше поглотительная способность почвы, тем благоприятнее действие на растения известкового азота и что свободный цианамид сильно ядовит для растений; получающееся здесь противоречие, по Карпен'у только кажущееся и объясняется им следующим образом. Свободный цианамид легче разлагается бактериями, нежели его сильнощелочные известковые соединения, также ядовитые для растений; поэтому естественно, что продолжительность вредного действия известкового азота будет находиться в зависимости от поглотительной способности почвы; чем скорее и полнее известковый азот перейдет в свободный цианамид, тем скорее, при наличии соответствующей бактериальной деятельности, азот этого удобрения перейдет в аммиачный; в тех случаях же, когда имеются благоприятные условия превращения известкового азота в свободный цианамид, но вместе с тем отсутствуют благоприятные условия для бактериальной деятельности, последний может, полимеризуясь, переходить в устойчивый и вредный растениям дициандиамид. Таковыми являются, например, почвы, богатые кислыми органическими соединениями; они из известкового азота поглощают большие количества кальция (в одном опыте у Карпен'а 100 г кислой торфянистой почвы из 25 куб. см. раствора известкового азота, содержащего 43,3 мг Са и 55,3 мг N, поглотели через час 83,6% Са) и соответственно освобождают много-

цианамид, между тем аммонизирующая способность этих почв низка, поэтому известковый азот действует на таких почвах очень вредно. Влияние поглотительной способности почвы на ядовитость известкового азота, таким образом, по Карпен'у, не прямое, а косвенное.

В заключение обзора литературы по превращениям, претерпеваемым известковым азотом в почве, мы остановимся еще на обширной работе Wagner'a и его сотрудников¹; на основании своих исследований и чужих данных авторы так характеризуют химические свойства известкового азота.

1. Известковый азот медленно растворяется в воде (из 100 частей азота при получасовом взбалтывании с водой растворилось 83 части, а при промывании водой на фильтре—62 части).

2. Известковый азот поглощает из воздуха водяные пары и углекислоту и постепенно теряет благодаря улетучиванию аммиака свой азот (так, в одном опыте через 96 дней стояния на воздухе из 100 частей азота исчезло 69 частей).

3. В соприкосновении с влажной почвой известковый азот претерпевает различные перегруппировки, причем часть его азота может перейти в ядовитый для растений дициандиамид; углекислота², гуминовая кислота и теплота благоприятствуют этому переходу; почвенные же бактерии, наоборот, препятствуют такому переходу, переводя известковый азот в аммиак.

4. Чем меньше концентрация раствора известкового азота, тем быстрее происходит аммонизация и нитрификация его азота; так, в одном опыте с песчаным суглинком из 0,0125 г азота, внесенного в цианамиде на 250 г почвы, в азотную кислоту перешло через 12 дней 66%, через 20 дней—99%; между тем при тех же условиях из 0,05 г азота нитрифицировалось лишь 1 и 26%. Концентрирование растворов противодействует аммонизирующей и нитрифицирующей деятельности бактерий, причем для образования азотной кислоты раствор должен быть более разжиженным, нежели для образования аммиака.

5. Азот мочевины при всех условиях скорее переходит в аммиак и азотную кислоту, нежели азот известкового азота.

6. Нитрификация азота цианамид кальция даже при малых количествах последнего происходит гораздо медленнее, нежели азота сернокислого аммония; кроме того, известковый азот задерживает нитрификацию азота сернокислого аммония; так, из 0,1 г азота сернокислого аммония в почве через 13 дней перешло в азотную кислоту 84%, а в присутствии 0,1 г азота цианамид кальция через 36 дней азотной кислоты нельзя было обнаружить.

7. Скорость аммонизации азота цианамид кальция находится в зависимости от свойств почвы; так, на суглинистой почве, богатой углекислым кальцием, она оказалась больше, чем на песчаной, бедной этим соединением.

8. Опасность потери азота через улетучивание аммиака из почвы при применении известкового азота больше, нежели при применении сернокислого аммония.

¹ P. Wagner, K. Dorsch, S. Hals и M. Popp. Die Verwendbarkeit der Kalkstickstoffs zur Düngung der Kulturpflanzen. Landw. Vers.—St., т. 66, 1907, стр. 285—372.

² Löhnis считает, наоборот, что углекислота, подобно нагреванию, способствует аммонизации, а не образованию дициандиамида.

Таково сейчас состояние вопроса о судьбе внесенного в почву известкового азота. Перейдем теперь к вопросу о действии его в почве на растения как азотистого удобрения.

Как мы уже упоминали, непосредственных, полевых и вегетационных опытов с известковым азотом произведено до сих пор чрезвычайно много; из этой литературы мы сделаем лишь общий вывод и, в частности, остановимся на результатах, опубликованных Wagner'ом в вышеуказанной его работе.

Из имеющихся данных, очевидно, следует, что известковый азот совсем неприменим на кислых торфянистых почвах (Таске и Feilitzen); кроме того, применение его опасно вообще на кислых, на болотистых почвах и малодетельных песчаных почвах; наиболее подходящие для этого удобрения—почвы глинистые, богатые бактериями и вообще деятельные. Известковый азот должен быть вносим в почву дней за 14—8 до посева и тщательно перемешан с почвой; как поверхностное удобрение он неприменим¹.

Результаты вегетационных опытов с известковым азотом, опубликованные P. Wagner'ом, дают большой материал для сравнения действия этого удобрения с селитрой и сернокислым аммонием под разными растениями и на различных почвах; ввиду того интереса, какой представляют эти данные, мы здесь приведем сводную таблицу (2) полученных результатов (см. стр. 81—82).

В заключение своей статьи Wagner дает следующие общие положения об известковом азоте как азотистом удобрении.

1. В среднем из всех полученных результатов вытекает, что если удобрительную ценность азота селитры принять за 100, то она для известкового азота составит 90.

2. Действие известкового азота понижается, если он превращается в почве в дициандиамид; поэтому известковый азот неприменим на почвах кислых или склонных к образованию кислот (богатые гумусом и при этом очень бедные почвы), а также в жаркое время года.

3. Действие известкового азота прекращается, если при относительно больших его дозах почва имеет малую влажность (сравни 4 положение из лабораторных опытов).

4. Действию известкового азота вредит неравномерное распределение его в поле, так как в местах его скопления образуются концентрированные растворы.

5. Действие известкового азота уменьшается от запоздалой или недостаточной его заделки, так как при этом происходит потеря азота благодаря улетучиванию аммиака.

6. Действию известкового азота благоприятствует возможно равномерное распределение, возможно тщательное смешение с почвой, раннее внесение (по возможности за 14 дней до посева), высокая влажность, деятельная, богатая бактериями суглинистая почва, раннее внесение под озими (не позже середины февраля) и, наконец, не слишком высокие дозы.

¹ Сводку литературы желающие могут найти в статье Stutzer'a: Versuche in Vegetationsgefäßen über die Wirkung von Kalkstickstoff Landw. Vers. St., Bd. 65, 1906, стр. 275—282), отчасти в вышеупомянутой статье Wagner'a и в книжке Imendorff'a и Kempfski. Calciumcyanamid (Stickstoffkalk oder Kalkstickstoff), als Düngemittel. Stuttgart, 1907.

Таблица

№ опыта	Год опыта	Размер сосуда	Почва	Растение	Азот, внесенный в сосуд	Повышение урожая зерна, моркови или свеклы под влиянием азота, данного в форме				Из 100 частей данного азота в урожай перешло из		
						чистый-свой	селитры	серно-кислого аммония	известково-го азота	чистый-селитры	серно-кислого аммония	известково-го азота
					грамм	грамм				частей		
223	1901	30,33	Песчаная почва	Морковь	1,50	116,3	91,1	79,9	93	81	75	
224	—	—	»	»	3,00	162,6	149,4	—21,6	88	78	—	
225	—	25,33	Песчаный суглинок	Овес	1,00	50,9	50,4	46,5	85	86	78	
—	—	—	То же	»	2,00	92,6	89,2	84,3	80	84	77	
—	—	—	Песчаная почва	»	1,00	46,5	48,7	44,3	88	84	88	
—	—	—	»	»	2,00	92,5	86,4	81,6	88	80	73	
—	—	—	Песчаный суглинок+мергель	»	1,00	51,7	50,2	46,3	84	88	70	
—	—	—	То же	»	2,00	91,9	91,9	77,1	88	82	81	
—	—	—	Песчаная почва+мергель	»	1,00	47,1	46,7	42,0	82	86	72	
—	—	—	То же	»	2,00	90,4	89,2	77,7	80	85	72	
226	1901	20,20	Песчаная почва	»	0,25	10,0	10,5	7,8	67	72	65	
—	—	—	»	»	0,50	26,1	25,4	21,1	85	81	74	
—	—	—	»	»	0,75	36,8	38,1	31,4	80	85	72	
—	—	—	»	»	1,00	47,9	45,5	43,3	86	81	77	
—	—	—	»	»	1,25	55,7	52,2	46,6	80	74	68	
—	—	—	»	»	1,50	60,1	59,2	38,6	76	77	62	
—	—	—	»	»	1,75	69,2	64,3	24,4	83	77	49	
—	—	—	»	»	2,00	73,8	62,9	19,8	81	72	45	
—	—	—	Песчаная почва+мергель	»	0,25	9,5	9,4	9,3	73	70	66	
—	—	—	То же	»	0,50	23,8	24,0	20,3	76	78	66	
—	—	—	»	»	0,75	36,0	34,0	32,0	83	74	71	
—	—	—	»	»	1,00	47,9	45,6	39,6	82	81	79	
—	—	—	»	»	1,25	55,4	53,2	41,8	80	74	68	
—	—	—	»	»	1,50	55,9	59,3	42,6	76	72	57	
—	—	—	»	»	1,75	61,6	60,9	15,2	75	71	50	
—	—	—	»	»	2,00	63,3	60,8	5,8	75	70	37	
227	1902	25,33	Песчаный суглинок	»	0,50	24,1	—	22,0	64	—	61	
—	—	—	То же	»	1,00	50,6	—	38,8	69	—	58	
—	—	—	»	»	1,50	71,2	—	61,1	78	—	64	
—	—	—	»	»	2,00	88,6	—	76,0	75	—	63	
—	—	—	»	»	3,00	109,1	—	77,8	70	—	52	
228	1903	25,33	»	»	1,00	41,6	—	42,5	73	—	68	
—	—	—	»	»	2,00	81,2	—	77,1	75	—	68	
—	—	—	»	»	3,00	99,9	—	94,1	69	—	64	
229	1904	25,33	Суглинок	»	1,00	50,2	47,9	41,1	73	65	58	
—	—	—	»	»	2,00	88,0	84,9	79,7	85	66	63	
—	—	—	»	»	1,00	45,2	41,9	40,8	76	71	73	
—	—	—	»	»	2,00	79,6	71,7	72,7	82	75	74	
230	1906	20,20	Песчаная почва	»	0,75	—	33,1	28,7	—	82	75	
—	—	—	»	»	1,50	—	49,9	32,8	—	73	53	
—	—	—	»	»	2,25	—	64,0	0,9	—	73	21	
—	—	—	»	»	3,00	—	63,8	—	—	66	—	
—	—	—	Суглинок	»	0,75	—	34,3	30,4	—	82	76	
—	—	—	»	»	1,50	—	59,4	46,4	—	75	70	
—	—	—	»	»	2,25	—	68,7	51,5	—	73	64	

Таблица 2 (продолжение)

№ опыта	Год опыта	Размер сосуда	Почва	Растение	Азот, внесенный в сосуд	Повышение урожайности зерна, моркови или свеклы под влиянием азота, данного в форме				Из 100 частей данного азота в урожае перешло из			
						чайной-соль	селитры	серво-кислого аммония	известково-го азота	чайной-соль	селитры	серво-кислого аммония	известково-го азота
					грамм-мов	грамм-мов				частей			
238	1902	25,33	Суглинок	Овес	3,00	—	73,4	28,2	—	71	—	—	48
			Песчаный сугли- нок	Ячмень	0,50	17,6	—	15,0	53	—	—	—	51
			То же	»	1,00	33,0	—	33,9	58	—	—	—	56
			» »	»	1,50	49,1	—	51,2	63	—	—	—	57
			» »	»	2,00	63,9	—	64,7	66	—	—	—	61
			» »	»	3,00	50,5	—	58,3	60	—	—	—	49
288	1905	25,33	Суглинок	Сахарная свекла	1,00	—	60,9	75,0	—	63	—	—	61
			То же	То же	2,00	—	102,4	92,0	—	66	—	—	72
288	1905	25,33	» »	Кормовая свекла	1,00	—	57,9	40,3	—	57	—	—	64
288	—	—	» »	То же	2,00	—	75,6	57,4	—	67	—	—	62
—	—	—	» »	» »	1,00	56,2	—	61,1	62	—	—	—	59
—	—	—	» »	» »	2,00	142,1	—	109,1	76	—	—	—	64
—	—	—	» »	» »	3,00	165,8	—	99,5	72	—	—	—	57

Относительно этих положений можно заметить следующее: они вполне понятны и легко объясняются, как это и сделано Wagner'ом при допущении возможности образования в почве дициандиамида и при признании ядовитости этого соединения для растений; но мы видели выше, что оба эти положения нельзя считать еще вполне обоснованными; поэтому и положения Wagner'a имеют лишь эмпирический характер и могут еще видоизмениться с накоплением опытного материала.

Перехожу теперь к описанию опытов, поставленных в Сельскохозяйственной химической лаборатории в СПб. с известковым азотом, полученным от фирмы Н. König и К^о и содержащим 19,2% азота.

1. ДЕЙСТВИЕ ИЗВЕСТКОВОГО АЗОТА НА ОВЕС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ И СПОСОБА ВНЕСЕНИЯ ЕГО И ОТ ХАРАКТЕРА ПОЧВЫ

Опыты были поставлены в 1906 г. в цинковых сосудах (диаметр 20, высота 20 см) с тремя почвами¹: с суглинистым черноземом (Воронежской губернии, Бобровского уезда, имение Анна²), с лесчаной черноземовидной почвой (Воронежской губернии, Бобровского уезда, имение г. Резцова³) и сильно оподзоленным суглинком (Смоленской губернии.

¹ В сосуде помещалось по 5 кг каждой почвы по перечислению на сухую.

² Химический и механический анализ этой почвы помещен под литерой Е в «Трудах Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. IV, стр. 15 и 16.

³ Химический и механический анализ этой почвы. Там же, стр. 34 и 36.

Краснинского уезда, именуе Сестрино¹); опытным растением служил овес. Действие известкового азота сравнивалось с действием химически чистой азотно-кальцевой соли. На каждой почве сосуды получили одно и то же основное удобрение: 0,5 г P_2O_5 в фосфорнооднатривевой соли и 0,3 г K_2O в сернокислом калии. Азотистое удобрение вносилось в часть сосудов при их наполнении и тщательно перемешивалось со всей почвой, которая затем для удобства наполнения сосуда, как это у нас всегда практикуется, увлажнялась таким образом, чтобы количество воды в ней равнялось приблизительно половине того, какое поддерживается в сосудах во время роста растений; в другую часть сосудов азот при наполнении не вносился, а давался поверхностно по всходам. В первой части сосудов азотнокислый кальций вносился в количестве, соответствующем 0,3 г азота, а известковый азот 0,3 и 0,6 г азота; при поверхностном удобрении известковый азот давался в тех же количествах, а азотнокислый кальций в количестве, соответствующем 0,6 г азота; меньшее из вносимых количеств азота (0,3 г) было значительно ниже того, какое необходимо для максимального урожая овса в наших сосудах (около 0,75 г); таким образом, во всех сосудах, не получивших азота и получивших его в количестве 0,3 г, азот был в минимуме.

Сосуды без азота для поверхностного удобрения и часть с азотистым удобрением были наполнены за 14 дней до посева, другая часть с азотистым удобрением за 7 дней, а остальные за 2 дня. Посев был произведен 26 мая, во время вегетации влажность в сосудах поддерживалась ежедневной поливкой на суглинистом черноземе на высоте 41% от веса сухой почвы (влагоемкость почвы 60,5, наибольшая гигроскопичность 11,0), на песчаном черноземе на высоте 27% (влагоемкость 41,9, наибольшая гигроскопичность 6,4); на подзоле на высоте 26,87% (влагоемкость 48,5, наибольшая гигроскопичность 2,6); убранный был овес в зрелом состоянии в середине сентября. Азотнокислые удобрения поверхностно были даны 5 июня (на 6-й день после всхода); они разбавлялись с небольшим количеством воды и равномерно распределялись по поверхности почвы. Результаты определения веса урожая зерна и соломы в воздушносухом состоянии приведены в таблицах 3 и 4 (общий средний урожай из двух параллельных сосудов, в граммах на сосуд); процентное содержание азота—в таблице 5, а абсолютное содержание его в урожае сосуда—в таблице 6.

Овес взошел 30 июня; страданий всходов от известкового азота нигде не наблюдалось, а между тем, если верна точка зрения Immendorff'a и Карпен'a, что причина этого первого страдания растений заключается в образующемся из известкового азота цианамиде и других продуктах его распада, то как раз у нас были все условия для такого страдания: одна из наших почв была сильно кислая, удобрение вносилось почти совместно с посевом, и, кроме того, погода в это время была жаркая; скорее отсутствие у нас страдания всходов может быть объяснено, если признать с Seelhorst'ом, что причиной такого страдания является фосфористый водород; дело в том, что при нашем способе внесения известкового азота в почву (довольно высокая влажность и тщательное перемешивание) большая часть этого газа должна была быстро образоваться и выделиться, быть может, даже уже при самом наполнении. Второе страдание, более позднее, приписываемое образованию дициандиамиды, проявилось у нас

¹ Химический анализ этой почвы помещен в «Трудах Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. IV, стр. 119.

17 июня пожелтением кончиков листьев, но только в тех сосудах, куда вносилось 0,6 г азота цианамидом кальция; проявилось оно на всех трех почвах почти в одинаковой степени, но всюду лишь в тех сосудах, куда известковый азот был внесен всего лишь за 2 дня до посева. Вредное влияние поверхностного удобрения проявилось уже на 2-й день после внесения и выразилось в обесцвечивании большей части листьев и последующем их засыхании; сильнее всего это страдание овса, как и следовало ожидать, было на подзолистой почве, слабее на песчаном черноземе и наиболее слабое на суглинистом, причем страдание по 0,6 г азота было всюду сильнее, чем по 0,3 г.

Перехожу теперь к рассмотрению полученных данных.

1. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВНЕСЕНИЯ ИЗВЕСТКОВОГО АЗОТА

Результаты наших опытов, согласно с данными других исследователей, определенно показывают, что известковый азот, как поверхностное удобрение, неприменим; правда, и в этом случае он повысил урожай овса, но это повышение очень невелико сравнительно с действием этого удобрения при смешении его с почвой.

Увеличение урожая под влиянием известкового азота (в г)

	Суглинистый чернозем				Песчаный чернозем				Подзол			
	неповерхностное удобрение		поверхностное удобрение		неповерхностное удобрение		поверхностное удобрение		неповерхностное удобрение		поверхностное удобрение	
	0,3 г	0,6 г	0,3 г	0,6 г	0,3 г	0,6 г	0,3 г	0,6 г	0,3 г	0,6 г	0,3 г	0,6 г
	азота на сосуд		азота на сосуд		азота на сосуд		азота на сосуд		азота на сосуд		азота на сосуд	
Зерна	6,4	13,1	0,4	1,8	13,7	21,1	8,2	11,4	9,6	12,5	4,1	6,6
Соломы	11,2	22,9	2,4	7,7	17,4	19,7	4,9	8,9	9,7	15,2	6,4	7,7
Общего	17,3	36,0	2,0	9,5	31,1	40,8	13,1	20,3	19,3	27,7	10,5	14,3

Таблица показывает, что известковый азот, внесенный поверхностно, подействовал хуже всего на суглинистом черноземе, сильнее на подзоле и лучше всего на песчаном черноземе, хотя внешнее страдание, как мы видели выше, шло почти в обратном порядке. Чем объяснить это явление, мы не знаем.

2. ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ВНЕСЕНИЯ ИЗВЕСТКОВОГО АЗОТА

Известковый азот, как мы указывали, вносился нами в три срока: за 14, за 7 и за 2 дня до посева растений. Как видно из таблицы 3, во всех случаях на каждой из почв урожай получался довольно близкий между собою; особенно резкого влияния времени внесения цианамидом кальция, таким образом, у нас не обнаруживается, хотя в общем ясно видно понижение урожая при внесении перед самым посевом, наиболее резко выраженное на песчаном черноземе и на обоих черноземах при внесении задолго (14 дней) до посева. Быть может, последнее обстоятельство должно быть отнесено на потерю азота вследствие улетучивания образующегося из известкового азота аммиака, на что отчасти указывает более низкое процентное содержание азота в урожаях овса на черноземах по известковому азоту, внесенному за 14 дней до посева, нежели по внесенному за 7 дней.

Т а б л и ц а 1

Урожай овса (в граммах на сосуд)

Основное удобрение																								
Азотистое удобрение внесено при наполнении сосудов и смешано со всей почвой																								
Сосуды наполнены 12 мая. Посев 26 мая																								
Сосуды наполнены 19 мая. Посев 26 мая																								
Известковый азот																								
0 г азота				0,3 г азота				0,6 г азота				0,3 г азота			0,6 г азота									
№ сосу-	зерно	солома	всего	№ сосу-	зерно	солома	всего	№ сосу-	зерно	солома	всего	№ сосу-	зерно	солома	всего	№ сосу-	зерно	солома	всего					
Суглинистый чернозем																								
1-й сосуд	702	13,5	16,6	30,2	706	23,0	31,8	54,8	709	17,5	29,3	46,8	712	26,2	34,9	61,1	714	20,6	28,9	49,5	716	25,4	40,5	65,9
2-й »	705	13,7	17,4	31,1	707	19,4	30,0	49,4	711	19,1	25,8	44,9	713	26,5	38,5	65,0	715	18,8	27,6	46,4	717	28,1	39,4	67,5
Среднее	—	13,6	17,1	30,7	—	21,2	30,9	52,1	—	18,3	27,6	45,9	—	26,4	36,7	63,1	—	19,7	28,3	48,0	—	26,7	40,0	66,7
Песчаный чернозем																								
1-й сосуд	726	4,2	5,8	10,0	737	18,4	25,3	43,7	739	18,1	19,2	37,3	741	23,7	29,0	52,7	718	18,7	22,7	41,4	720	24,1	24,5	48,6
2-й »	736	2,1	6,3	8,4	738	20,3	22,2	42,5	740	14,5	18,9	33,4	742	24,5	25,7	50,2	628	15,0	24,2	39,2	721	24,5	26,8	51,3
Среднее	—	3,2	6,0	9,2	—	19,4	23,7	43,1	—	16,3	19,1	35,4	—	24,1	27,4	51,5	—	16,9	23,4	40,3	—	24,3	25,7	50,0
Подзол																								
1-й сосуд	757	11,4	13,2	24,6	760	24,4	26,2	50,6	762	21,0	24,0	45,0	764	26,8	29,5	56,3	766	21,7	23,7	45,4	768	24,2	29,3	53,5
2-й »	759	12,5	15,1	27,6	761	23,7	28,5	52,2	763	21,0	25,1	46,1	765	25,6	28,2	53,8	767	21,4	24,0	45,4	769	24,8	29,2	54,0
Среднее	—	12,0	14,0	26,1	—	24,1	27,3	51,4	—	21,0	24,6	45,6	—	26,2	28,9	55,1	—	21,6	23,8	45,4	—	24,5	29,3	53,8

Таблица 3 (продолжение)

Основное удобрение		Известковый азот											
Азотистое удобрение внесено при наполнении сосудов и смешано со всей почвой		0,3 г азота				0,6 г азота				0,3 г азота			
Сосуды наполнены 24 мая. Посев 26 мая		0,6 г азота				0,6 г азота				0,6 г азота			
Азотистое удобрение внесено поверхностно, по всходам, 5 июня		0,3 г азота				0,6 г азота				0,6 г азота			
		для сосу-	зерно	солома	всего	для сосу-	зерно	солома	всего	для сосу-	зерно	солома	всего
		для сосу-	зерно	солома	всего	для сосу-	зерно	солома	всего	для сосу-	зерно	солома	всего
Суглинистый чернозем													
1-й сосуд	743	15,2	28,1	43,3	745	24,2	35,9	60,1	722	11,1	18,6	29,7	724
2-й »	744	19,7	28,2	47,9	746	24,8	37,9	62,7	723	15,2	20,5	35,7	725
Среднее	—	17,5	28,1	45,6	—	24,5	36,9	61,4	—	13,2	19,5	32,7	—
Песчаный чернозем													
1-й сосуд	747	16,2	18,2	34,4	749	20,8	22,3	43,1	751	10,1	10,8	20,9	755
2-й »	792	14,6	15,1	29,7	750	21,9	23,2	45,1	754	12,5	11,0	23,5	756
Среднее	—	15,4	16,7	32,1	—	21,4	22,8	44,2	—	11,3	10,9	22,2	—
Подзол													
1-й сосуд	770	23,2	23,8	47,0	772	23,3	25,8	49,1	774	15,5	21,7	36,2	776
2-й »	771	20,5	23,8	44,3	773	25,9	27,4	53,3	775	17,6	19,3	36,9	777
Среднее	—	21,9	23,8	45,7	—	24,6	26,6	51,2	—	16,1	20,5	36,6	—

3. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ АЗОТА АЗОТНОКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ И ЦИАНАМИДА КАЛЬЦИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА ПОЧВЫ

Таблица 3 показывает, что 0,3 азота азотнокислого кальция повысило урожай овса следующим образом (в граммах).

	На суглинистом черноземе	На песчаном черноземе	На подзоле
Зерно	7,6	16,2	12,1
Солома	13,8	17,7	13,2
Всего	21,4	33,9	25,3

Таблица 4

(Средний общий урожай овса (в граммах на сосуд))

	P+K									
	азотистое удобрение внесено при наполнении сосудов и смешано со всей почвой								азотистое удобрение внесено поверхностно, по всходам, 5 июня	
	сосуды наполнены 12 мая. Посев 26 мая		сосуды наполнены 19 мая. Посев 26 мая		сосуды наполнены 24 мая. Посев 26 мая					
	Ca(NO ₃) ₂		CN ₂ Ca						Ca(NO ₃) ₂	
	0 г N	0,3 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N
Суглинистый чернозем	30,7	52,1	45,9	63,1	48,0	66,7	45,6	61,4	32,7	40,2
Песчаный чернозем . .	9,2	43,1	35,4	51,5	40,3	50,0	32,1	44,2	22,2	28,5
Подзол	26,1	51,4	45,6	55,1	45,4	53,8	45,7	52,2	36,6	40,4
										59

Тут прежде всего обращает на себя внимание неодинаковый результат действия азотнокислого кальция на различных почвах. Если мы сопоставим с этими данными процентное содержание азота в урожаях

	На суглинистом черноземе		На песчаном черноземе		На подзоле	
	I	II	I	II	I	II
Зерно	1,66%	0,183 г	0,96%	0,144 г	1,25%	0,155 г
Солома	0,43%	0,088 »	0,25%	0,023 »	0,53%	0,100 »
Общий урожай	0,92%	0,271 »	0,57%	0,167 »	0,87%	0,255 »

Проектное содержание азота в урожаях овса¹

Таблица 5

	Р+К										
	азотистое удобрение внесено при наполнении сосудов и смешано со всей почвой								азотистое удобрение внесено поверхностно, по всходам, 5 июня		
	сосуды наполнены 12 мая. Посев 26 мая				сосуды наполнены 19 мая. Посев 26 мая		сосуды наполнены 24 мая. Посев 26 мая				
	Ca(NO ₃) ₂		CN ₂ Ca				Ca(NO ₃) ₂				
0 г N	0,3 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,6 г N	
Суглинистый чернозем											
Зерно	1,25	1,66	1,70	1,69	1,82	1,80	1,62	1,73	1,65	1,72	1,81
Солома	0,30	0,43	0,40	0,40	0,41	0,48	0,40	0,51	0,51	0,43	0,35
Общий урожай . .	0,72	0,92	0,92	0,94	0,99	1,01	0,87	1,00	0,97	0,93	0,92
Песчаный чернозем											
Зерно	1,32	0,96	1,23	1,36	1,45	1,45	1,21	1,52	1,02	1,12	1,36
Солома	0,43	0,25	0,25	0,48	0,35	0,40	0,28	0,47	0,23	0,38	0,41
Общий урожай . .	0,74	0,57	0,70	0,88	0,81	0,91	0,73	0,98	0,63	0,77	0,86
Подзол											
Зерно	1,22	1,25	1,38	1,27	1,45	1,45	1,39	1,56	1,32	1,35	1,75
Солома	0,32	0,53	0,51	0,59	0,44	0,76	0,53	0,70	0,41	0,50	0,64
Общий урожай . .	0,73	0,87	0,91	0,93	0,78	1,07	0,94	1,11	0,81	0,89	1,16

по азотнокислому кальцию (I) и увеличение в содержании азота в урожаях под влиянием этого удобрения (II), то увидим, что из азотнокислого кальция азот был меньше всего усвоен овсом на песчаном черноземе (всего 48%), затем на подзоле (85%) и сильнее всего на суглинистом черноземе (около 90%), но взятый из почвы азот азотнокислого кальция был, как раз наоборот, на песчаном черноземе полнее всего использован растениями и наименее экономно на суглинистом черноземе. То же явление повторяется и с использованием азота цианамидом кальция; для выяснения причины этого необходимы дальнейшие исследования.

Далее отметим неодинаковое отношение зерна к соломе: на суглинистом черноземе оно меньше, нежели на остальных двух почвах (то же имеет место и по известковому азоту), и меньше, нежели на той же почве, не удобренной азотом.

Сравним теперь повышение урожая, вызванное 0,3 г азота цианамидом кальция, и для этого возьмем те сосуды, в которых это удобрение действовало наиболее благоприятно (для обоих черноземов сосуды, в которые известковый азот вносился за 7 дней, а для подзола за 14 дней до посева).

¹ Анализ произведен К. Гедройцем.

Повышение урожая под влиянием 0,3 г азота цианамид кальция (в граммах).

	На суглинистом черноземе	На песчаном черноземе	На подзоле
Зерно	6,1	13,7	9,0
Солома	11,2	17,4	10,5
Всего	17,3	31,1	19,5

Таблица 6

Содержание азота в урожаях овса (в граммах на сосуд)

	P+K											
	Азотистое удобрение внесено при наполнении сосудов и смешано со всей почвой								Азотистое удобрение внесено поверхностно, по всходам 5 июня			
	Сосуды наполнены 12 мая. Посев 26 мая				Сосуды наполнены 19 мая. Посев 26 мая		Сосуды наполнены 24 мая. Посев 26 мая					
	Ca(NO ₃) ₂				CN ₂ Ca				Ca(NO ₃) ₂			
0 г N	0,3 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,3 г N	0,6 г N	0,6 г N
Суглинистый чернозем												
Зерно	0,169	0,352	0,311	0,446	0,359	0,481	0,284	0,424	0,218	0,265	0,510	
Солома	0,059	0,129	0,110	0,147	0,116	0,190	0,112	0,188	0,099	0,107	0,152	
Общий урожай	0,220	0,481	0,421	0,593	0,475	0,671	0,396	0,612	0,317	0,372	0,662	
Песчаный чернозем												
Зерно	0,042	0,186	0,200	0,328	0,245	0,352	0,186	0,325	0,115	0,163	0,408	
Солома	0,026	0,059	0,048	0,130	0,082	0,103	0,047	0,107	0,025	0,057	0,133	
Общий урожай	0,068	0,245	0,248	0,458	0,327	0,455	0,233	0,432	0,140	0,220	0,541	
Подзол												
Зерно	0,146	0,301	0,290	0,333	0,248	0,355	0,304	0,384	0,213	0,251	0,488	
Солома	0,045	0,145	0,125	0,180	0,105	0,223	0,126	0,186	0,084	0,109	0,200	
Общий урожай	0,191	0,446	0,415	0,513	0,353	0,578	0,430	0,570	0,297	0,360	0,688	

Таким образом, абсолютно цианамид кальция сильнее всего повысил урожай и зерна и соломы на песчаном черноземе и слабее всего на суглинистом черноземе. Если принять теперь повышение урожая под влиянием азотнокислого кальция за 100, то действие цианамид кальция выразится такими числами:

	На суглинистом черноземе	На песчаном черноземе	На подзоле
Зерно	86	85	74
Солома	81	98	80
Общий урожай	83	92	77

Данные эти показывают, что удобрительное действие азота цианамидка кальция на зерно овса по отношению к действию азота химически чистого азотнокислого кальция на суглинистом черноземе почти то же, что и на песчаном, и приближается к даваемому Wagner'ом в вышеупомянутой работе числу, среднему из его многочисленных опытов (90); действие на солому на песчаном черноземе значительно выше, чем на суглинистом; что касается подзола, то действие на нем азота цианамидка кальция, особенно в отношении зерна, уступает действию азота азотнокислого кальция; таким образом, наш опыт еще раз подтверждает, что цианамидка кальция на кислых почвах действует хуже по сравнению с селитрой, нежели на почвах нейтральных.

Обратимся теперь к процентному содержанию азота (I) в тех же урожаях по известковому азоту и к увеличению в содержании азота в этих урожаях (II) сравнительно с содержанием его в урожаях без азотистого удобрения.

	На суглинистом черноземе		На песчаном черноземе		На подзоле	
	I	II	I	II	I	II
Зерно	0,82%	0,490 г	1,45%	0,203 г	1,38%	0,144 г
Солома	0,41%	0,055 »	0,35%	0,056 »	0,51%	0,080 »
Общий урожай	0,99%	0,245 »	0,81%	0,259 »	0,91%	0,222 »

Данные эти показывают, что процентное содержание азота в растениях по цианамиду кальция выше, чем по азотнокислому кальцию и выше настолько, что, несмотря на меньший урожай по известковому азоту, абсолютное содержание азота в урожаях в этом случае почти всюду также выше, нежели в урожаях по азотнокислому кальцию; таким образом, меньший урожай овса в наших опытах по известковому азоту, нежели по азотнокислому кальцию, должен быть приписан не малой доступности азота цианамидка кальция, не недостатку в этом питательном веществе (очевидно, в условиях нашего опыта аммонизация и нитрификация цианамидка кальция шла довольно энергично), а тем вредным веществам (по всей вероятности, дигидриданмиду), которые являлись продуктами разложения известкового азота.

Еще резче видно это вредное действие продуктов разложения цианамидка кальция, если сравнить действие прибавки следующих 0,3 г азота в известковом азоте с действием первых 0,3 г азота (см. табл. на стр. 91).

Таблица показывает, что на суглинистом черноземе двойное количество азота цианамидка кальция повысило вдвое урожай, а на песчаном черноземе и подзоле значительно меньше, хотя максимальный урожай, даваемый этими почвами при обеспеченности во всех питательных веществах, далеко еще не был достигнут; очевидно, это двойное количество

Превышение урожая по 0,6 г азота цианамид кальция над урожаем по 0,3 г азота

	На суглинистом черноземе	На песчаном черноземе	На подзоле
Черно	7,0 г (6,1) ¹	7,4 г (13,7)	5,2 г (9,0)
Силома	11,7 » (11,2)	2,3 » (17,4)	4,3 » (10,5)
Всего	17,7 г (17,3)	9,7 г (31,1)	9,5 г (19,5)

известкового азота оказалось уже значительно вреднее на песчаном черноземе и подзоле, чем ординарное и чем то же двойное на суглинистом черноземе. На это обстоятельство необходимо обратить внимание; оно может служить примером тому, насколько противоречивость результатов в опытах различных исследователей с цианамидом кальция может быть только кажущейся, зависящей от мелких деталей в постановке опыта: основываясь только на результатах действия 0,3 г азота цианамид кальция, мы могли бы заключить, что у нас цианамид кальция на глинистой и песчаной почвах действует почти одинаково, т. е. получить вывод, противоречащий, например, опытам Seelhorst'a, а между тем результаты опыта с 0,6 г азота цианамид кальция вполне ясно показывают, что песчаные почвы менее подходящи для удобрения известковым азотом, нежели более глинистые, но что при сравнительно слабом удобрении различие в этом отношении может быть несущественным.

II. ДЕЙСТВИЕ ИЗВЕСТКОВОГО АЗОТА НА ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

Опыты были поставлены в 1907 г. в цинковых сосудах (20×20) на оподзоленном суглинке с 5-го поля восьмиполья Клинского опытного поля² с восемью растениями: овсом, ячменем, гречихой, горчицей, коноплей, льном, тимефеевкой и клевером; с последним растением опыт был поставлен по следующим соображениям: вредное влияние, какое может известковый азот оказывать на растение в опытах с небобовыми, затемняется полезным его действием, как источника азотистой пищи; поэтому, если в условиях нашего опыта известковый азот оказывал бы токсическое действие на растения, то это должно было бы сказаться на клевере понижением урожая сравнительно с урожаем в сосудах, не получивших азотистого удобрения.

С каждым растением было поставлено 8 сосудов: 2 с основным удобрением (0,2 г K₂O в K₂SO₄, 0,5 г P₂O₅ в NaH₂PO₄ в два приема, при наполнении половина и 9 июня другая половина и 3 г CaCO₃); 2 с основным удобрением +0,34 г азота в NaNO₃³; 2 с основным удобрением +0,25 г азота в (NH₄)₂SO₄ (последний во избежание потери аммиака при перемешивании с почвой и углекислым кальцием был внесен в почву не при

¹ В скобках приведено превышение урожая по 0,3 г азота над урожаем без азотистого удобрения.

² Химический состав почвы восьмиполья приведен в «Трудах Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. V, стр. 10.

³ В сосуды с селитрой по ошибке было дано 0,34 г N вместо 0,25 г, дававшихся в других азотистых удобрениях.

наполнении сосудов, а чрез 9 дней—26 мая); 2 с основным удобрением +0,25 г азота в CN_2Ca . В каждый сосуд помещалось 4,925 кг почвы (по перечислению на сухую почву). Сосуды были наполнены 17 мая, а посев всех растений был произведен через неделю—24 мая. Во время вегетации влажность в сосудах поддерживалась ежедневной поливкой на высоте 28% от веса сухой почвы (влагоемкость почвы при высоте столба 20 см 47,8%; наибольшая гигроскопичность 4,1%).

Овес, ячмень, горчица, конопля и лен были срезаны по достижении зрелости, тимофеевка—во время колошения, а клевер—во время полного цветения. Полученные данные собраны в таблице 7. Результатов опыта с коноплей не приводим, так как распределение мужских и женских растений в сосудах оказалось очень неравномерным. В таблице 8 приводится содержание азота в полученных урожаях.

Во время вегетации все растения развивались вполне нормально; ни на одном из них за все время их роста не наблюдалось каких-либо видимых страданий на известковом азоте; наоборот, некоторые растения в первую половину вегетации на этом удобрении развивались даже роскошнее, чем на селитре. Еще более убедительно говорит за безвредность известкового азота в условиях нашего опыта опыт с клевером. Таблица 7 показывает, что по известковому азоту это растение развивалось даже несколько лучше (40,9 г), чем по селитре (39,3 г) и особенно без азотистого удобрения (37,5 г); азота же во всех случаях (табл. 8) клевер извлек почти одно и то же количество.

Если на основании данных таблицы 7 вычислим повышение урожая у различных растений под влиянием 0,25 г азота селитры, сернокислого аммония и известкового азота, в граммах и в процентах от величины повышения урожая по селитре, то получим:

Повышение урожая зерна под влиянием 0,25 г азота

Растение	Селитра (в г)	Сернокислый аммоний (в г)	Известковый азот (в г)
Овес	6,8	5,0	6,0
Ячмень	10,9	9,7	8,0
Гречиха	9,0	5,2	5,4
Горчица	1,3	1,9	2,2
Лен	2,5	2,2	2,7

Таблица показывает, что известковый азот повысил урожай зерна испытанных растений почти одинаково с сернокислым аммонием; те колебания, какие показывают соответствующие цифры, находятся в пределах точности вегетационного метода, и только разве колебания в повышении урожая зерна у ячменя лежат вне этих пределов; по сравнению же с селитрой известковый азот (и сернокислый аммоний) значительно слабее повысил урожай зерна гречихи (5,4 г вместо 9,0, или всего на 60% от повышения по селитре), немного слабее—урожай зерна ячменя и несколько сильнее—урожай зерна горчицы; под остальными же растениями оба эти удобрения оказались одинаково действующими. В общем можно сказать, что на исследованном нами подзоле известковый азот, при внесении его в сосуды за неделю до посева, повысил урожай зерна овса, ячменя, горчицы и льна почти совершенно одинаково с сернокислым аммонием и чилийской селитрой; и только под гречихой действие его и сернокислого аммония оказалось существенно ниже действия селитры.

Таблица 9

Осепное удобрение																	
0,35 г N в NaNO ₃				0,25 г N в (NH ₄) ₂ SO ₄				0,25 N в CN ₂ Ca									
		зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда				
Урожай (в граммах на сосуд)																	
Овес	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	487	16,9	20,8	37,7	489	28,2	35,1	63,3	491	23,3	31,5	54,8	493	23,3	27,3	50,6
		488	17,0	20,6	37,6	490	24,8	34,8	59,6	492	20,6	32,6	53,2	494	22,7	25,5	48,2
Ячмень	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	—	17,0	20,7	37,7	—	26,5	35,0	61,5	—	22,0	32,0	54,0	—	23,0	26,4	49,4
		495	15,7	14,8	30,5	497	32,4	28,8	61,2	499	24,6	23,7	48,3	501	23,5	22,2	45,7
Гречиха	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	496	14,9	15,5	30,4	498	28,5	26,8	55,3	500	25,3	22,0	47,3	502	23,0	22,2	45,2
		—	15,3	15,2	30,5	—	30,5	27,8	58,3	—	25,0	22,8	47,8	—	23,3	22,2	45,5
Горчица	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	533	11,6	16,1	27,7	535	24,5	26,5	51,0	537	16,5	22,0	38,5	546	18,9	23,3	42,2
		534	12,4	16,0	28,4	536	24,5	26,5	51,0	545	17,8	22,5	40,3	604	15,8	23,1	38,9
Горчица	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	—	12,0	16,0	28,0	—	24,5	26,5	51,0	—	17,2	22,2	39,4	—	17,4	23,2	40,6
		514	3,9	18,6	22,5	519	6,0	35,9	41,9	529	6,4	30,5	36,9	531	5,9	30,6	36,5
Лен	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	424	3,6	18,2	21,8	524	5,4	36,1	41,5	530	5,0	30,8	35,8	532	6,1	29,6	35,7
		—	3,8	18,4	22,2	—	5,7	36,0	41,7	—	5,7	30,7	36,4	—	6,0	30,1	36,1
Лен	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	561	6,7	19,8	26,5	563	10,5	28,6	39,1	565	8,7	27,0	35,7	567	9,1	29,8	38,9
		562	6,7	21,0	27,7	564	10,1	28,2	38,3	566	9,1	27,8	36,9	568	9,8	30,4	40,2
Тимофеевка	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	—	6,7	20,4	27,1	—	10,3	28,4	38,7	—	8,9	27,4	36,3	—	9,4	30,1	39,5
		503	—	—	21,8	505	—	—	33,3	507	—	—	29,6	509	—	—	26,8
Клевер	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	504	—	—	22,8	506	—	—	32,0	508	—	—	31,5	425	—	—	27,5
		—	—	—	22,3	—	—	—	32,7	—	—	—	30,5	—	—	—	27,2
Клевер	{ 1-й сосуд 2-й » Среднее	569	—	—	38,5	571	—	—	38,9	573	—	—	39,3	575	—	—	42,1
		570	—	—	36,4	572	—	—	39,5	574	—	—	38,1	576	—	—	39,8
		—	—	—	37,5	—	—	—	39,3	—	—	—	38,7	—	—	—	40,9

Что касается сравнительного действия этих удобрений на урожай соломы, то нижеследующая таблица:

Повышение урожая соломы под влиянием 0,25 г азота

Растение	Селитра (в г)	Сернистый аммоний (в г)	Известковый азот (в г)
Овес	10,2	11,3	5,7
Ячмень	9,0	7,6	7,0
Гречиха	7,5	6,2	7,2
Горчица	12,7	12,3	11,7
Лен	5,8	7,0	9,7
Тимофеевка	7,5	8,3	4,9

показывает, что на урожай тресты льна известковый азот повлиял значительно лучше селитры и немного лучше сернистого аммония, на урожай соломы, горчицы и гречихи все три удобрения действовали почти одинаково, урожай же соломы ячменя и особенно соломы овса и тимофеевки по известковому азоту оказались ниже, нежели по селитре и сернистому аммонiu.

Содержание азота в урожаях ¹

Таблица 8

			Основное удобрение								
			0,35 г N в NaNO ₃			0,25 г N в (NH ₄) ₂ SO ₄			0,25 г N в CN ₂ Ca		
зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай

Процентное содержание азота

Овес	1,303	0,236	0,713	1,515	0,250	1,798	1,506	0,264	0,768	1,386	0,259	0,781
Ячмень	1,264	0,325	0,793	1,359	0,370	1,888	1,258	0,341	0,817	1,248	0,316	0,791
Гречиха	1,404	0,678	0,985	1,533	0,630	1,066	1,487	0,650	1,012	1,478	0,648	1,002
Горчица	3,795	0,424	1,000	3,939	0,520	3,988	3,791	0,460	0,980	3,773	0,441	0,991
Лен	3,506	0,534	1,261	4,069	0,485	1,436	3,516	0,452	1,198	3,718	0,330	1,134
Тимофеевка	—	—	0,841	—	—	1,346	—	—	1,088	—	—	1,118
Клевер	—	—	2,990	—	—	2,820	—	—	2,732	—	—	2,666

Абсолютное содержание азота в граммах в урожае сосуда

Овес	0,221	0,048	0,269	0,401	0,090	0,491	0,331	0,084	0,415	0,318	0,068	0,386
Ячмень	0,193	0,049	0,242	0,414	0,104	0,513	0,314	0,077	0,391	0,290	0,070	0,360
Гречиха	0,168	0,108	0,276	0,375	0,169	0,544	0,255	0,144	0,399	0,257	0,150	0,407
Горчица	0,144	0,078	0,222	0,224	0,188	0,412	0,216	0,141	0,357	0,226	0,132	0,358
Лен	0,234	0,108	0,342	0,419	0,137	0,556	0,312	0,123	0,435	0,349	0,099	0,448
Тимофеевка	—	—	0,187	—	—	0,440	—	—	0,331	—	—	0,304
Клевер	—	—	1,121	—	—	1,108	—	—	1,057	—	—	1,090

Влияние тех же трех азотистых удобрений на отношение зерна к соломе видно из следующей таблицы.

¹ Анализ принадлежит Н. Г. Лессву

Отношение зерна к соломе
(принимая урожай соломы за 100)

	Без азота	Селитра	Сернокислый аммоний	Известковый азот
Овес	82	76	70	87
Ячмень	100	110	100	105
Гречиха	75	92	78	75
Горчица	20	13	19	20
Лен	33	36	32	31

Таким образом, на отношение зерна к соломе известковый азот повлиял существенно хуже селитры только под гречихой, под овсом и горчицей он, наоборот, сузил это отношение, на остальных растениях оба эти удобрения в этом отношении действовали почти одинаково. Отметим далее, что на известковом азоте отношение зерна к соломе у всех пяти растений очень мало отличается от такового в сосудах без азота; на сернокислом аммонии это отношение уже более отличается от отношения у растений, не получивших азота, а на селитре еще сильнее; это явление нужно поставить в связь со степенью, так сказать, подготовленности азота этих удобрений к восприятию его растением: наименее подготовленное к этому удобрение, каким является известковый азот, должно было в наименьшей степени изменить то соотношение между зерном и соломой, какое имеет место на почве, не получившей азота; наиболее же подготовленное к этому удобрению (селитра) должно было изменить его наиболее. Укажем, наконец, что на селитре отношение зерна к соломе по сравнению с этим отношением на почве, не получившей азотистого удобрения, у различных растений менялось неодинаково; у одних (овес, горчица) оно уменьшалось, у других (ячмень, горчица и отчасти лен) увеличивалось.

Обратимся теперь к содержанию азота в урожаях. Относительно влияния испытанных удобрений на процентное содержание N мы можем сделать из нашего опыта заключения только по отношению сернокислого аммония и известкового азота, так как по селитре растения получили больше азота, нежели по другим азотистым удобрениям, и естественно, что процентно они должны быть им в этом случае богаче. По сернокислому аммонии и по известковому азоту процентное содержание N в зерне было следующее.

	Сернокислый аммоний	Известковый азот
Овес	1,506	1,386
Ячмень	1,258	1,248
Гречиха	1,487	1,478
Горчица	3,791	3,773
Лен	3,516	3,718

Таким образом, только у двух растений, овса и льна, процентное содержание азота в зерне по сернокислому аммонии заметно отличается от процентного содержания по известковому азоту; у овса оно больше

по сернокислому аммонiu, у льна, наоборот, по известковому азоту; у первого растения по сернокислому аммонiu, как мы отмечали, соломы больше, нежели по известковому азоту, у второго—наоборот.

Процентное содержание азота в соломе растений по этим двум удобрениям, как видно из нижеследующих данных, неодинаково только у льна.

	Сернокислый аммоний	Известковый азот
Овес	0,264	0,259
Ячмень	0,341	0,316
Гречиха	0,650	0,648
Горчица	0,460	0,441
Лен	0,452	0,330
Тимофеевка	1,088	1,118

Из 0,25 г N, внесенных в сосуды в виде селитры (по перечислению), сернокислого аммония и известкового азота, растения извлекли следующие количества азота.

	Селитра		Сернокислый аммоний		Известковый азот	
	в г	в %	в г	в %	в г	в %
Овес	0,160	64	0,146	58	0,117	47
Ячмень	0,195	78	0,149	60	0,118	47
Гречиха	0,190	77	0,123	49	0,131	52
Горчица	0,135	54	0,135	54	0,136	54
Лен	0,155	62	0,093	37	0,106	42
Тимофеевка	0,180	72	0,144	58	0,117	47
В среднем	0,169	66	0,132	53	0,121	48

В общем, как показывает таблица, использование растениями азота известкового азота было несколько слабее, нежели азота сернокислого аммония и обоих этих удобрений слабее селитры; одна только горчица совершенно одинаково использовала все три удобрения.

Мы указывали раньше, что при увлажнении и смешении с влажной почвой известкового азота происходит выделение фосфористого водорода; при смешении применявшегося нами образца известкового азота происходило, судя по сильному запаху, довольно заметное выделение этого газа; поэтому мы сделали предположение, не является ли выделяющийся фосфористый водород отчасти продуктом воздействия соединений, заключающихся в известковом азоте, на почвенные фосфаты, т. е. не происходит ли при внесении в почву этого удобрения потери в фосфоре; поставленный с этой целью опыт с овсом хотя и давал в начале вегетации указание в положительном смысле, но по величине полученного урожая и по содержанию в урожае фосфорной кислоты определенно показал на отсутствие потери доступной растениям фосфорной кислоты.

Вышеприведенные опыты на слабоподзоленном суглинке Клинского опытного поля и сильноподзоленном суглинке имения Сестрино показывают, что известковый азот, внесенный в почву заблаговременно и тщательно смешанный с почвой даже в очень больших количествах (6 пудов азота на десятину), не вредит растениям и является почти одинаковым по своему действию источником азота, как и селитра; таким образом, по крайней мере, в вегетационных сосудах та степень кислотности, какой могут обладать наши обрабатываемые подзолы (подзол имения Сестрино можно рассматривать как почву, обладающую почти такой же кислотностью, при которой без соответствующих культурных приемов земледелие невозможно), не препятствует применению этого азотистого тука; само собой разумеется, непосредственное перенесение в практику результатов вегетационного опыта невозможно; полученный вывод должен быть сначала проверен полевыми опытами, и это тем более, что уже в ргіогі можно сказать, что условия для действия известкового азота на подзолистых почвах в поле менее благоприятны, нежели в сосудах; достаточно указать на невозможность там такого равномерного перемешивания, какое имеет место в сосудах, и всегда возможное избыточное увлажнение, препятствующее проветриванию и бактериальной деятельности и способствующее усилению кислотности, но влияние этих отрицательных условий, быть может, будет ослабляться в поле уменьшением количества даваемого азота.

К МЕТОДИКЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА

1. К ВОПРОСУ О МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОЧВ В СОСУДАХ

В статье «Максимальная производительность почв в сосудах» (4-й вып. «Трудов Сельскохозяйственной химической лаборатории», стр. 102) мы привели опыты, показывающие, что в сосудах различные почвы при полной их обеспеченности в питательных веществах дают в зависимости от их природы очень неодинаковые урожаи. Там же мы указали, почему вопрос о неодинаковой максимальной производительности почв имеет существенное значение в теории вегетационного метода.

В настоящей статье мы сообщим дальнейшие исследования, имеющие непосредственное отношение к вышеуказанному вопросу.

Как известно, можно в общем сказать, что чем крупнозернистее почва, тем менее она оказывается производительной в сосудах. Явление это может быть следствием двоякого рода причин. Во-первых, различные почвы по самой своей природе могут обладать такими неодинаковыми свойствами, влияющими на эту производительность, уравнивать которые, не изменяя самого субстрата, нет возможности; к таким свойствам относятся прежде всего водные свойства почвы, от которых зависит величина оптимальной для развития растений влажности. Далее сюда надо отнести и те физико-химические свойства почвы, которые обуславливаются присутствием в почве коллоидальных веществ и механических суспензий; такие вещества, образуя с содержащимися в почвенном растворе первоначальной почвы и с внесенными в нее питательными веществами так называемые абсорбционные соединения, играют двоякую роль: с одной стороны, быстро поглощая из почвенного раствора при повышении его концентрации растворенные в нем соли и, наоборот, быстро отдавая их обратно в раствор при понижении его концентрации, они являются деятельным фактором регулирования количественного и качественного состава почвенного раствора; с другой стороны, обладая также способностью разлагать соли, поглощая, смотря по своему характеру, то их положительный, то их отрицательный ионы, вещества эти должны играть большую роль в создании той или иной реакции почвенного раствора.

Все эти три фактора—величина оптимальной влажности, степень регулирования концентрации почвенного раствора и его реакции—должны оказывать большое влияние на развитие растений. Легко видеть, что как раз в отношении этих факторов почвы крупнозернистые должны находиться в худших условиях, нежели почвы мелкозернистые. Наконец, почвы могут содержать те или иные и в различных количествах вредные

растениям вещества, а также вещества, являющиеся в известных концентрациях возбудителями роста (марганец, закисные соли железа, ник и т. п.). Таковы факторы, которые могут являться причиной того, что различные почвы, будучи поставлены в оптимальные условия в отношении воды и питательных веществ, будут обладать все-таки неодинаковой максимальной производительностью.

Вторая причина того, что мы получаем на крупнозернистых почвах урожаи значительно ниже, нежели на мелкозернистых, обусловливается обстоятельствами уже совсем другого порядка. Если первая причина неодинаковой максимальной производительности различных почв зависит от самой природы почвы и потому при сравнительном изучении почв мы и не должны стремиться к ее устранению, то вторая причина, наоборот, является результатом несовершенства самого метода исследования и должна быть так или иначе устранена.

Сюда прежде всего надо отнести создание оптимальных условий увлажнения растений; из вышепомещенной статьи «Влияние различных условий увлажнения почвы на результаты вегетационного метода» (см. стр. 55*) следует, что вычисление оптимальной влажности по способу Богданова или как известный процент от влагоемкости почвы не дает в действительности оптимальной влажности для всех вообще почв и что влажность, вычисленная по Богданову, являясь оптимальной для почв более глинистых, для почв крупнозернистых ниже оптимальной; то же самое имеет место и в том случае, когда за оптимальную влажность принимают известный процент от влагоемкости. Таким образом, мы, во-первых, не имеем такого способа определения оптимальной влажности, который давал бы возможность поставить почвы разного характера в действительно одинаковые условия увлажнения; единственный возможный путь в настоящее время определить ее для каждой почвы опытным путем; а так как количество создаваемой растением при обеспеченности его в питательных веществах органической массы в сильной степени зависит от количества воды, предоставляемой растению, то, очевидно, употребляя любой из существующих приемов вычисления оптимальной влажности, мы не можем получить для всех почв настоящей их максимальной производительности. Во-вторых, при существующих способах вычисления оптимальной влажности почвы крупнозернистые получают меньше воды, чем это нужно для оптимального увлажнения; поэтому естественно, что в сосудах именно такие почвы вследствие чисто случайного фактора будут поставлены в худшие условия относительной влаги, нежели почвы более мелкозернистые, и что, таким образом, малая максимальная производительность первых сравнительно с производительностью вторых в известной степени должна быть отнесена не на свойства самой почвы, а на несовершенство способов полива.

Вторым фактором, могущим искусственно влиять на максимальную производительность почвы, является неодинаковая концентрация почвенного раствора, создаваемая нами внесением в почву питательных веществ; давая всем почвам одно и то же количество этих веществ и обеспечивая, таким образом, растение избытком питательных веществ, мы тем самым искусственно создаем для растения на разных почвах неодинаковую концентрацию почвенного раствора; начиная с некоторой, в общем небольшой величины концентрация почвенного раствора становится уже вредней растениям, задерживая их рост; вопрос заключается поэтому в том, пере-

* «Труды Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. 4, 1909 г.—Ред.

ходим ли мы на почвах, наиболее чувствительных в этом отношении, т. е. на почвах с малой поглотительной способностью, при наших обычных дозах питательных веществ, эту величину концентрации или нет.

Для разрешения этого вопроса нашей лабораторией были предприняты опыты в двух направлениях, к описанию которых мы и перейдем.

1. ОПЫТ С КРУПНОЗЕРНИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВОЙ ИЗ ПАРКА ЛЕСНОГО ИНСТИТУТА

Почва эта, как видно, например, из опытов по наибольшей производительности, опубликованных в IV выпуске «Трудов Сельскохозяйственной химической лаборатории» (стр. 109), показывает сравнительно с другими исследовавшимися у нас почвами очень низкую производительность, в то время как суглинистый чернозем, например, давал 100 г общего урожая овса, на ней мы получали около 70 г. По этой причине мы и остановились на этой почве и поставили на ней в 1904 г. опыт с различными количествами питательных веществ, с одновременным их внесением и с поддержанием различной влажности во время вегетации. Сосуды применялись малые цинковые 20 см в диаметре и столько же в высоту; в каждый сосуд помещалось по 6 500 г почвы (по перечислению на сухую); опытным растением служил ячмень, высеянный 3 мая. В части сосудов влажность поддерживалась поливкой один раз в день на величине, полученной по формуле проф. Богданова, — 12,1% от веса сухой почвы (влагоемкость почвы 21,5%, наибольшая гигроскопичность 1,3%); в дальнейшем мы ее будем обозначать — влажность обыкновенная; в другой части, при поливке также раз в день, влажность поддерживалась на 15 и на 30% выше обыкновенной (т. е. при 14 и 15,7% от веса сухой почвы; при этом количество воды на сосуд приходилось: при обыкновенной влажности 750 куб. см, при влажности на 15% больше 860 куб. см и при влажности на 30% выше 970 куб. см); кроме того, в некоторых сосудах, поддерживавшихся при обыкновенной и обыкновенной + 15% влажности, поливка производилась два раза в день, утром и вечером. В качестве питательных веществ вносились соли, обычно применяющиеся у нас: азотнокислый кальций, двуфосфорнонатриевая соль и сернокислый калий; количество и способ внесения их, а также другие детали опыта видны из таблицы 1, в которой дается полученный в этом опыте урожай ячменя, убранного в зрелом состоянии 5 сентября; заметим здесь только, что количество 0,6 г азота, 0,5 г фосфорной кислоты (P_2O_5) и 0,5 г K_2O — количества, обычно вводимые у нас при самом наполнении сосудов в качестве полного удобрения (ввиду же сильного развития растения в оказываемом опыте во время вегетации во все сосуды без исключения было прибавлено, кроме обозначенных 0,6 г N, еще 7 июля по 0,2 г N); исключения делались в тех случаях, когда почва заведомо выделялась богатством или бедностью в каком-либо питательном элементе.

Если принять за 100 средний общий урожай зерна и соломы ячменя, полученный при обычно практикующейся постановке вегетационного опыта (сосуды № 189 и 190), то величина урожаев для других случаев выразится следующими числами (табл. 2).

Приводимые данные показывают, что та концентрация почвенного раствора, которая создавалась нами при одновременном внесении 0,6 г N, 0,5 г P_2O_5 и 0,5 г K_2O на 6,5 кг почвы, вредно отражалась на росте ячменя на исследуемой почве; когда те же вещества давались не сразу, а в три приема, общий урожай зерна и соломы ячменя повышался на 20%;

Условный план опыта (в граммах на сосуд)

0,6 г N; 0,5 г P ₂ O ₅ ; 0,5 г K ₂ O				0,6 г N; 0,2 г P ₂ O ₅ и 0,2 г K ₂ O			
Все дано сразу при наполнении сосудов				Все дано сразу при наполнении сосудов			
№ сосуда	зерно	сонома	общий урожай	№ сосуда	зерно	сонома	общий урожай
1-й сосуд	189	33,0	34,7	191	43,2	40,8	84,0
2-й »	190	33,5	35,1	192	40,8	37,6	78,4
Среднее	—	33,3	34,9	188,2	—	42,0	39,2
Влажность обыкновенная, поливка раз в день				Влажность обыкновенная, поливка раз в день			
1-й сосуд	—	—	—	217	43,7	40,0	84,2
2-й »	—	—	—	218	45,4	41,4	86,8
Среднее	—	—	—	—	44,0	41,0	85,0
Влажность на 15% выше обыкновенной, поливка раз в день				Влажность на 15% выше обыкновенной, поливка раз в день			
1-й сосуд	219	34,3	37,0	221	43,2	43,8	86,9
2-й »	220	36,2	38,2	222	43,9	44,4	88,3
Среднее	—	35,3	37,6	72,9	—	43,6	44,1
Влажность на 30% выше обыкновенной, поливка раз в день				Влажность на 30% выше обыкновенной, поливка раз в день			
1-й сосуд	223	35,2	36,5	71,7	225	42,8	44,1
2-й »	224	37,1	38,2	75,3	226	41,4	40,8
Среднее	—	36,2	37,3	73,5	—	42,1	42,5
Влажность обыкновенная, поливка два раза в день				Влажность обыкновенная, поливка два раза в день			
1-й сосуд	227	34,0	36,8	70,3	229	42,2	40,9
2-й »	228	31,6	36,3	67,9	230	38,7	41,6
Среднее	—	32,8	36,6	69,4	—	40,5	41,4
Влажность на 15% выше обыкновенной, поливка два раза в день				Влажность на 15% выше обыкновенной, поливка два раза в день			
1-й сосуд	231	35,3	38,0	73,3	233	39,0	40,7
2-й »	232	35,9	38,3	74,2	234	41,5	41,7
Среднее	—	35,6	38,2	73,8	—	40,3	41,2

¹ При наполнении сосудов 0,2 г N, 0,2 г P₂O₅ и 0,2 г K₂O; 29 мая 0,2 N, 0,15 P₂O₅ и 0,15 K₂O; 23 июня остальных.

² При наполнении сосудов по 0,2 г, 29 мая и 23 июня по 0,15 г.

³ При наполнении сосудов 0,2 г, 29 мая и 23 июня по 0,2 г.

урожай повысились также и в том случае, когда азот весь давался сразу, а фосфорная кислота и калий в три приема, но полученное повышение было меньше—12%; таким образом, вредно отзывалось на росте ячменя избыточное внесение и поглощаемых и не поглощаемых почвой питательных элементов. В сосудах с 0,6 г азота, 0,2 г P_2O_5 и 0,2 г K_2O как при внесении этих количеств сразу, так и при внесении азота в три приема урожай ячменя получился одинаковой величины (49,7 и 51,6 г на сосуд), но ниже, нежели в сосудах обычной постановки; в данном случае количество внесенного фосфора было недостаточно для максимального развития ячменя и величина урожаев обуславливалась его количествами.

Далее опыт показывает, что с увеличением количества даваемой ячменю воды на 15 и 30% выше обычного (по формуле проф. Богданова), при одновременном внесении всех питательных веществ, урожай несколько повышался—на 7%; тот факт, что при обеих этих влажностях урожай повышался почти одинаково, легко объясняется тем, что более высокая из этих влажностей (обычная +30%) сама по себе, очевидно, уже вредила растениям, о чем приходится заключить по величине урожаев, полученных при этих влажностях с внесением питательных веществ в три приема.

Наконец, таблица 2 показывает, что поливка два раза в сутки дала те же или почти те же результаты, что и поливка один раз; вредного влияния высокой концентрации почвенного раствора она не уменьшала.

Таблица 2

	0,6 г N; 0,5 г P_2O_5 ; 0,5 г K_2O			0,6 г N; 0,2 г P_2O_5 и 0,2 г K_2O	
	Все дано при наполнении сосудов	Все дано в три приема	N дан сразу при наполнении сосудов, P и K—в три приема	Все дано сразу при наполнении сосудов	N дан в три приема, K и P—сразу
Влажность обыкновенная; поливка раз в день	100	119	112	70	73
То же, но прибавлено по 3 г $CaCO_3$ на сосуд	—	125	—	—	—
Влажность на 15 % больше обыкновенной; поливка раз в день	107	128	—	—	—
Влажность на 30 % больше обыкновенной; поливка раз в день	107	122	—	—	—
Влажность обыкновенная, поливка два раза в день	102	120	—	—	—
Влажность на 15 % больше обыкновенной, поливка два раза в день	108	119	—	—	—

Общий вывод из результатов вышеописанного опыта тот, что, по крайней мере, у почв песчаных, с малой поглотительной способностью, внесением сразу всего количества питательных веществ, нужного для максимального урожая, мы создаем слишком высокую, вредную уже для растений концентрацию почвенного раствора. Создается ли при этих условиях и у почв с высокой поглотительной способностью такая концентрация, опыт этот не говорит, но во всяком случае ясно, что в ряду почв с убывающей поглотительной способностью вред, причиняемый внесением сразу всех питательных веществ в одинаковых для всех почв

количествах, будет возрастать, а определяемая при таких условиях максимальная производительность почв будет искусственно понижаться, и тем более, чем слабее поглотительная способность почвы.

Может явиться, конечно, вопрос: не вносим ли мы вообще слишком много питательных веществ сравнительно с тем, что необходимо для максимального развития растений? Так как вопрос об этих количествах является основным в практике вегетационного метода, то мы позволим себе остановиться на нем.

В нашей лаборатории установился теперь такой прием внесения питательных солей для сосудов размерами 20 см в диаметре и 20 см в высоту, вмещающих в среднем 5 кг почвы. Если мы имеем дело с почвой, нам еще неизвестной, то в качестве полного удобрения мы вносим в почву (на сосуд): при наполнении 0,5 г азота в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,5 г P_2O_5 в виде $\text{NaH}_2\text{PO}_4^1$ и 0,2 г K_2O в виде K_2SO_4 ; затем по мере развития растений мы прибавляем еще 0,25 г азота, внося это количество в 2—3 приема при поливке (у злаков; например, первую прибавку производим во время кущения, вторую в начале колошения; у горчицы и гречихи первую — в начале цветения, вторую в период полного расцветания); в некоторых случаях при очень сильном развитии растений количество азота еще увеличивается, но также постепенным внесением небольшими дозами и по мере надобности. Нормы эти у нас существуют для яровых злаков, с которыми мы и ставим по преимуществу опыты по изучению потребности почв в удобрениях; при опытах с другими растениями в определении количества азота, фосфорнокислого удобрения и калия мы принимаем во внимание особенности растений, о чем см. ниже. Основаниями для такой дозировки служат нам, между прочим, следующие выкладки.

А з о т. Берем конкретный пример. Урожай ячменя по полному удобрению на песчаном черноземе 80,2 г (на сосуд), процентное содержание азота по анализу в нем 0,812% (что это число не высокое и что оно не есть следствие избыточного содержания азота в почве, видно из того, что в этом же опыте ячмень по полному удобрению без азота при урожае 12,2 г содержал этого элемента лишь несколько меньше—0,802%); таким образом, ячмень извлек из почвы сосуда при полном удобрении 0,651 г азота, из сосуда без азотистого удобрения—0,098 г, а значит, из данных в этом опыте 0,75 г N ячмень использовал 0,553 г, т. е. 74%; процент использования селитры очень высокий, и говорить об избыточном внесении азота тут, очевидно, не приходится. Овес в этом же опыте использовал около 80% из тех же 0,75 г N, а лен 83%, при урожаях соответственно 101,9 и 57,9 г на сосуд. Но на некоторых почвах в некоторые годы мы получаем еще большие урожаи при полном удобрении; так, например, суглинистый чернозем из имени Анна, Воронежской губернии давал нам до 125 г надземной массы овса на сосуд; очевидно, что при таком развитии растений ограничиться 0,75 г N нельзя; а так как всегда при некотором навыке с известной вероятностью возможно судить с самого начала опыта о силе дальнейшего развития растений, мы в этих случаях вводим азот сверх нормальных 0,75 г (постепенно).

Так мы поступаем в отношении удобрения азотом всех растений (яровых), кроме мотыльковых: последним мы или не даем вовсе азота, или же даем очень мало (0,1—0,2 г), что делаем в тех случаях, когда

¹ Применяем NaH_2PO_4 (который готовим прибавлением к раствору Na_2HPO_4 раствора H_3PO_4 с таким же содержанием P_2O_5), а не имеющийся в продаже Na_2HPO_4 , так как последний, обладая щелочной реакцией, в некоторых случаях вредит растениям.

имеем дело с очень бедными азотом почвами (как, например, с подпочвами) или с такими мотыльковыми, которые никогда на исследуемой почве не росли (например, люцерна вообще бывает очень благодарна в начале своего развития за слабое азотистое удобрение).

Фосфорная кислота. Так как фосфорная кислота поглощается почвой и большая или меньшая часть ее в зависимости от свойств почвы переходит при внесении в почву растворимой фосфорнокислой соли в не вполне доступную растениям форму, то, очевидно, соображения, подобные вышеизложенным, не могут послужить нам к решению поставленного вопроса. Но мы приведем здесь следующие цифры, полученные нами в одном опыте с песчаным черноземом Воронежской губернии самой бедной фосфорной кислотой почвой из всех имевшихся у нас в опытах.

Таблица 3

Количество P_2O_5 (в граммах на сосуд)	Урожай (в граммах на сосуд)				
	0,75 г N на сосуд		0,2 г K_2O на сосуд		
	Ячмень		Горчица		Клевер
	зерно	зерно + солома	зерно	зерно + солома	
0,20	24,1	46,6	9,3	55,9	19,9
0,25	24,6	48,3	9,6	57,4	22,7
0,30	26,9	53,2	10,2	58,3	24,6
0,35	29,1	57,1	9,8	58,1	26,9
0,40	30,3	59,3	9,9	58,5	29,7
0,45	—	—	—	—	31,2
0,50	32,7	63,5	9,9	59,6	32,8
0,60	33,1	64,7	9,6	57,1	36,7
0,70	—	—	—	—	37,3
0,80	33,8	65,9	9,8	58,7	38,7
0,90	—	—	—	—	34,9
1,00	—	—	—	—	31,9

Как показывает таблица 3, общий урожай ячменя и, в частности, урожай его зерна ясно возрастает при увеличении количества даваемой фосфорной кислоты до 0,5 г ее на сосуд, при дальнейшем увеличении фосфорной кислоты до 0,8 г урожай почти не поднялся; если принять во внимание исключительную бедность усвояемой фосфорной кислотой почвы этого опыта, то на основании этих данных можно сказать, с одной стороны, что 0,5 г P_2O_5 на наш сосуд вообще достаточно для максимального возможного урожая яровых злаков, а с другой стороны, что дальнейший избыток фосфорной кислоты (до 0,8 г) не отражается вредно на растениях. Горчица, как видно из этих же данных, дала максимальный урожай при меньшем количестве фосфорной кислоты, именно уже при 0,3 г; дальнейшее повышение дозы P_2O_5 не отразилось ни положительно, ни отрицательно на этом растении; горчице, таким образом, можно благодаря ее сильной усваивающей способности давать меньше 0,5 кг P_2O_5 на 5 кг почвы, но вместе с тем дача по 0,8 г не отражается неблагоприятно на росте. Наконец, клевер дал максимальный урожай по 0,8 фосфорной кислоты; отметим, что таким образом и этот наш опыт указывает на исключительную потребность клевера в громадном избытке легкоусвояемой фосфорной кислоты¹; для его максимальных урожаев ограничиться, осо-

¹ На этом вопросе нам приходилось уже подробно останавливаться в статье «Потребность красного клевера в фосфорной кислоте в связи...». «Журнал оп. агр.», 1907 г., стр. 39.

бенно на почвах, очень бедных фосфорной кислотой, 0,5 г P_2O_5 на сосуд, очевидно, нельзя; мы обычно даем при опытах с этим растением 0,75 г P_2O_5 на 5 кг почвы. Отметим, что ячмень и горчица в вышеприведенных опытах по самому большому количеству фосфорной кислоты, когда в урожаях их, судя по очень высокому процентному содержанию P_2O_5 , заключалось много избыточно поглощенной фосфорной кислоты, извлекли из данных 0,8 г P_2O_5 всего: ячмень 0,298 г, а горчица 0,324 г P_2O_5 , а при оптимальном количестве P_2O_5 ячмень 0,279 г (из 0,5 г P_2O_5), а горчица 0,194 г P_2O_5 (из 0,3 г P_2O_5); если принять во внимание количества фосфорной кислоты, извлекаемой ячменем и горчицей из почвенных ее запасов (0,068 г для ячменя и 0,042 г для горчицы) то легко видеть, что растения эти использовали меньше половины того количества фосфорной кислоты, которое нужно было внести для получения максимального урожая.

Ка л и й. С калием у нас соответствующих опытов не было, но так как все наши исследования показывают, что в этом элементе все имевшиеся у нас до сих пор почвы или не нуждались вовсе, или же нуждались по удовлетворению потребности в азоте и в фосфорной кислоте, но и в этом случае сравнительно очень слабо, то мы уменьшили количество этого вещества до 0,2 г K_2O на сосуд; количество это таково, что и а priori можно сказать, что отозваться вредно на росте растений оно не может.

Таким образом, вносимые нами количества питательных веществ в почву сосуда нужно считать, по крайней мере для почв бедных, необходимыми для полного развития растений; но вместе с тем вред от внесения их в один прием, и по вышеизложенному опыту и по многочисленным наблюдениям над развитием растений, вне всякого сомнения; получаемый в сосудах при полном удобрении урожай мы должны рассматривать как результат двух противоположных влияний: благоприятного действия внесенных удобрений как питательных веществ и неблагоприятного действия повышенной концентрации почвенного раствора; с увеличением количества даваемых солей первое действие постепенно ослабевает, второе же, наоборот, возрастает; поэтому, при обычном способе внесения всего нужного количества питательных веществ сразу, мы получаем измерением урожая не полный эффект данных удобрений, а уменьшенный на некоторую величину, находящуюся в тесной зависимости от химических и физических свойств почвы, а потому не одинаковую для почв разного характера. Если бы устранить вред от повышения концентрации почвенного раствора, то получаемые урожаи были бы выше и не только по вышеизложенной причине, но и потому, что тогда и оптимальное количество отдельных питательных веществ, вносимых в почву, должно было бы повыситься.

Ввиду сказанного выше самым правильным было бы постепенное введение питательных веществ в почву сосудов в тех случаях, когда по условиям опыта желательно получить наибольший возможный на данной почве урожай; но уже а priori можно сказать, что такой способ удобрения требует большой осторожности и предварительного и всестороннего изучения в отношении потребности в удобрениях той почвы и того растения, с которыми желательно оперировать вышеуказанным методом. Наша лаборатория, поставив в число своих задач изучение и дальнейшего развитие вегетационного метода, занялась, между прочим, и этим вопросом. Здесь мы изложим результаты небольшого предварительного опыта, имевшего целью главным образом показать, что при постепенном внесении питательных веществ придется значительно больше считаться

со свойствами почвы и растения, нежели при одновременном¹ внесении в почву всего количества удобрений, а затем долженствовавшего направить направление дальнейших исследований.

2. ОПЫТ С ПОСТЕПЕННЫМ ВНЕСЕНИЕМ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Опыт был поставлен в 1907 г. на двух почвах: суглинистом черноземе из имения Анна, Воронежской губернии, Бобровского уезда, и песчаном черноземе из имения г. Резцова, той же губернии и того же уезда, и с двумя растениями: овсом и горчицей.

В малые цинковые сосуды (диаметр и высота 20 см) было помещено по 4 кг суглинистого чернозема и по 4,4 кг песчаного чернозема с соответствующими удобрениями, количества которых в каждом отдельном случае видны из таблицы 4; по два сосуда для каждой почвы и каждого растения получили при наполнении 0,5 г N в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,5 г P_2O_5 в виде NaH_2PO_4 и 0,2 г K_2O в виде K_2SO_4 , а во время вегетации еще 0,25 г N. В остальные сосуды при наполнении внесена была только часть этих количеств; все же недостающее до 0,75 г N, 0,5 г P_2O_5 и 0,2 г K_2O было разведено водой для каждого сосуда в особой бутылки до 10 л; этот раствор и служил в дальнейшем для доведения соответствующего сосуда ежедневной поливкой до постоянного веса. Оптимальная влажность вычислялась по формуле проф. Богданова (для суглинистого чернозема она 41,0, для песчаного чернозема 27,3).

Посев растений был произведен 10 мая, уборка—в зрелом состоянии, 3 августа (горчица) и 10 сентября (овес). Полученные результаты собраны в таблице 4. В таблице 5 приводим только общие урожаи зерна и соломы в относительных числах, приняв урожай, полученный при одновременном внесении всех питательных веществ, за 100.

Результаты показывают прежде всего, что на обеих почвах можно получить урожай по полному удобрению при постепенном внесении питательных веществ большей величины, нежели при внесении того же количества солей одновременно; таким образом, и этот опыт подтверждает, что самым способом постановки опыта мы понижаем искусственно максимальную производительность почвы.

Опыт и на суглинистом и на песчаном черноземе показывает, что при одном и том же приеме постепенного внесения питательных веществ для овса и горчицы получаются неодинаковые результаты: в то время, как постепенное внесение питательных солей сравнительно с одновременным во всех случаях дало для овса лучшие результаты, для горчицы, наоборот, только в одном из шести случаев урожай при постепенном удобрении получился такой же, что и при одновременном, в остальных же случаях он оказался заметно ниже; таким образом, опыт ясно показывает, что для различных растений при постепенном внесении питательных веществ в почву сосудов сам способ внесения не может быть одинаков и что при выработке таких способов нужно считаться с особенностями питания отдельных растений; в данном случае, очевидно, горчице, как растению более быстро развивающемуся, нежели овес, а может быть,

¹ Или почти одновременном, как это обычно практикуется у нас в отношении наиболее опасного для слишком высокого повышения концентрации—азотистого удобрения: оно вносится нами таким образом, что часть его, находящаяся в зависимости от свойств почвы (обыкновенно больше половины того количества, которое нужно для максимального удобрения), дается при наполнении сосудов, а остальное количество несколькими дозами по мере развития растений.

Таблица 4

Полное удобрение																
При наполнении сосудов в почву сразу внесены все питательные вещества: 0,5 г P_2O_5 , 0,5 г N и 0,2 г K_2O				При наполнении сосудов в почву внесено 0,1 г P_2O_5 и 0,1 г N. Остальное: 0,4 г P_2O_5 , 0,65 г N и 0,2 г K_2O , внесено в 10 л воды, которой сосуды поливались				При наполнении сосудов в почву внесено 0,5 г P_2O_5 и 0,1 г N. Остальное: 0,65 г N и 0,2 г K_2O , внесено в 10 л воды, которой сосуды поливались				При наполнении сосудов в почву внесено 0,1 г P_2O_5 и 0,5 г N. Остальное: 0,4 г P_2O_5 , 0,25 г N и 0,2 г K_2O , внесено в 10 л воды, которой сосуды поливались				
Урожай в граммах на сосуд																
№ сосуда				№ сосуда				№ сосуда				№ сосуда				
зерно				зерно				зерно				зерно				
солома				солома				солома				солома				
всего				всего				всего				всего				
Суглинистый чернозем																
Овес . . .	17 18	36,0	33,7	69,7	238	43,9	41,5	85,9	240	38,8	36,3	75,1	242	40,1	34,7	74,8
Горчица . .	63 64	12,1	47,3	59,4	239	11,6	36,9	48,5	241	12,7	37,5	50,2	250	10,3	35,0	45,0
Песчаный чернозем																
Овес . . .	273 274	25,3	21,8	47,1	347	29,8	28,3	58,1	349	29,8	26,2	56,0	351	31,3	28,0	59,3
Горчица . .	302 308	9,1	41,1	50,2	348	9,6	32,7	42,7	350	9,7	42,4	52,1	352	10,0	36,1	45,1

Таблица 5

	При наполнении сосудов в почву внесено			
0,5 г N; 0,5 г P_2O_5 и 0,2 г K_2O	0,1 г P_2O_5 и 0,1 г N	0,5 г P_2O_5 и 0,1 г N	0,1 г P_2O_5 и 0,5 г N	
Недостающее до 0,75 г N; 0,5 г P_2O_5 и 0,2 г K_2O внесено				
в два приема в течение вегетации	постоянно при поливе в 10 л воды			

Суглинистый чернозем				
Овес	100	123	108	107
Горчица	100	82	84	76
Песчаный чернозем				
Овес	100	123	119	126
Горчица	100	85	104	92

и более требовательному к избыточному количеству питательных веществ и отличающемуся от овса ходом восприятия, нужно было предоставлять больше и азота и фосфора в первые периоды развития.

Опыт, наконец, показывает, что в рассматриваемом вопросе приходится считаться и с почвой. Так, на суглинистом черноземе наибольший урожай овса получился при внесении в почву при наполнении сосудов 0,1 г N и 0,1 г P_2O_5 ; повышение этих количеств как для одного азота, так и для одной фосфорной кислоты до 0,5 г значительно понижало урожай овса; при таком внесении питательных веществ концентрация почвенного раствора вредила сильнее овсу на этой почве, нежели концентрация в сосуде, где первоначально почве дано было только по 0,1 г азота и фосфорной кислоты; на том же суглинистом черноземе горчица при постепенном внесении питательных веществ дала всюду более низкий урожай, нежели при одновременном внесении всех удобрений. Несколько иное мы видим на песчаном черноземе: здесь овес во всех случаях постепенного внесения питательных веществ дал почти одинаковый между собой урожай и более высокий, нежели при одновременном удобрении (на 20% приблизительно); а горчица в одном случае, именно при первоначальном внесении 0,5 г P_2O_5 и 0,1 г N, дала не ниже, а выше урожай, нежели при одновременном внесении всех удобрений. Такое различие в этом отношении между двумя исследовавшимися нами почвами обусловливается, очевидно, тем, что эффект от того или иного способа постепенного внесения в почву питательных веществ есть результат двух причин: с одной стороны, концентрации почвенного раствора, которая чем выше, тем менее благоприятна растениям, и, с другой стороны, количество предоставляемых растению питательных веществ, которое чем выше, тем благоприятнее для растений; в почвах с различной поглотительной способностью и различным плодородием при одном и том же способе постепенного внесения питательных веществ могут создаваться различные комбинации вышеуказанных двух факторов, а потому и результат может быть различным; на нашем, например, песчаном черноземе, несмотря на низкую его поглотительную способность, более высокая первоначальная доза азота и фосфорной кислоты давала лучший (относительно) результат, нежели на обладающем более высокой поглотительной способностью суглинистом черноземе, и это именно вследствие меньшего плодородия первой почвы.

II. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ В СОСУДАХ НА УРОЖАЙ РАСТЕНИЙ

При наполнении сосудов почвой очень трудно совершенно одинаково уплотнить ее во всех сосудах и равномерно по всей высоте сосуда. Поэтому представлялось интересным установить, какое может оказывать влияние неравномерность в уплотнении почвы сосудов на получаемые результаты.

С этой целью мы поставили в 1904 г. опыт на песчаном черноземе Воронежской губернии с двумя растениями—овсом и льном. Два сосуда для каждого растения были наполнены почвой с очень слабым уплотнением ее, два других, наоборот, с очень сильным; все сосуды получили одно и то же удобрение (при наполнении 0,5 N в виде азотнокислого кальция, 0,5 P_2O_5 в фосфорнооднатриевой соли и 0,5 K_2O в сернокислом калии, а затем во время вегетации 8 июля по 0,2 г N, а овсу, кроме того, еще 22 июля 0,1 г N); в каждый сосуд помещалось по 4,6 г почвы (по переисчислению на сухую). Растения были высеяны 5 мая и убраны в зрелом состоянии. Во время вегетации влажность в сосудах поддерживалась ежедневной поливкой при 27% от веса сухой почвы.

Результаты опыта видны из прилагаемой таблицы.

Таблица 6

		Слабое уплотнение почвы				Сильное уплотнение почвы			
		Урожай (в граммах на сосуд)							
		№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего
Овес	{ 1-й сосуд	284	30,6	33,6	64,2	286	30,7	34,7	65,4
	{ 2-й »	285	30,9	31,3	62,2	287	32,8	33,9	66,7
	{ Среднее	—	30,7	32,5	63,2	—	31,8	34,3	66,1
Лен	{ 1-й сосуд	288	9,3	33,9	43,2	290	11,6	40,7	52,3
	{ 2-й »	289	8,5	31,7	40,2	291	12,7	39,8	52,5
	{ Среднее	—	8,9	32,8	41,6	—	12,2	40,3	52,5

Таблица показывает, что овес и лен неодинаково относятся к различному уплотнению почвы; в то время как овес дал почти одинаковые урожаи и при слабом и при сильном уплотнении почвы, лен при сильном уплотнении довольно значительно повысил свой урожай: если принять весь надземный урожай льна в сосудах со слабым уплотнением почвы за 100, то для сильного уплотнения получим 126,—это такое повышение, с которым, принимая во внимание точность вегетационного метода, конечно, приходится считаться; но так как при наполнении сосудов различие в степени уплотнения никогда не может быть столь резким, как в этом опыте (в сосудах с плотной набивкой высота почвы была почти на 5 см ниже, чем в сосудах с рыхлой набивкой), то разница в урожаях, разумеется, не будет достигать такой величины. Во всяком случае опыт показывает, что для одних растений большая или меньшая неравномерность в уплотнении почвы при наполнении сосудов не играет никакой роли в величине получаемого урожая, для других же растений она может влиять на эту величину.

III. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГАЛЬКИ, ПОМЕЩАЕМОЙ НА ДНО СОСУДА, НА ВЕЛИЧИНУ УРОЖАЯ

Чтобы создать в почве сосудов условия хорошего проветривания и иметь возможность быстро вводить довольно значительные количества воды при поливке до постоянного веса, на дно сосудов помещается некоторое количество труднорастворимого в воде крупнозернистого материала; мы для этой цели употребляем гальку (от 3 до 15 мм в диаметре). Вначале у нас помещалось в сосуд размерами 20 см в высоту и столько же в диаметре около 1 кг; затем мы его повысили до 2 кг, так как при почвах с большой влагоемкостью очень затруднительно было вводить в сосуд все то количество воды, которое приходилось прибавлять ежедневно для доведения почвы до оптимальной влажности. После этого увеличения количества гальки было замечено, что величина урожаев, получаемых нами в малых цинковых сосудах, вообще возросла. Было интересно проследить, как повлияет на рост растений дальнейшее увеличение количества гальки; для этого был поставлен опыт (в 1904 г.) на песчаной почве из парка Лесного института с ячменем при полном удобрении: в два сосуда было помещено обычно применяющееся у нас теперь количество

гальки—2 кг, в два других—по 3,5 кг. Результаты получились следующие.

	Урожай ячменя (в граммах на сосуд)							
	2 кг гальки				3,5 кг гальки			
	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего
1-й сосуд	235	35,7	33,6	69,3	237	36,6	38,2	74,8
2-й »	236	35,1	33,6	68,7	238	36,5	37,8	74,3
Среднее	—	35,4	33,5	69,0	—	36,6	38,0	74,6

Таким образом, повышение урожая с дальнейшим увеличением количества гальки ясно видно; правда, повышение это очень небольшое, но если принять во внимание, во-первых, что уже меньшее из испытанных количеств гальки сравнительно очень большое, а во-вторых, что исследованная почва благодаря своей крупнозернистости меньше других почв нуждается в усиленном дренаже, то описанный опыт позволяет сделать заключение, что количество гальки, употребляемой в сосудах для дренажа, не остается без влияния на рост растений.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ПЛОДОРОДИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ

Занимаясь изучением вопроса о клевероутомлении почв, наша лаборатория ставила опыты на некоторых почвах не только на верхнем пахотном слое, но и на двух нижележащих. Результаты этих опытов дают возможность сравнить плодородие различных горизонтов. В статье «Потребность почв в удобрении по вегетационному методу», помещенной в этом же выпуске «Трудов»*, при описании соответствующих почв мы уже привели общий цифровой материал, относящийся к этим опытам; здесь же мы остановимся только на тех общих заключениях, какие нам представляется возможным сделать из всего имеющегося у нас по этому вопросу материала. Всех почв, потребность которых в удобрении изучалась не для одного только пахотного слоя, но и для нижележащих, у нас было девять: 5 суглинистых черноземов (два из имения Кроткое, Тульской губернии, Ефремовского уезда, и три из имения Алексеевское, Тульской губернии, Чернского уезда) и 4 оподзоленных суглинка села Климово, Смоленской губернии, Духовщинского уезда. Различные слои каждой из почв брались толщиной 5 вершков, причем для черноземов 1-й слой с глубины от 0 до 5 вершков, 2-й слой с 7 до 12 вершков, а третий с глубины 2 аршин—материнская порода, вовсе не окрашенная органическими веществами; для подзолов же: 1-й слой от 0 до 5 вершков глубины, 2-й от 6 до 11 и третий от 12 до 17 вершков. Опытными растениями служили овес и клевер. Детали постановки опытов описаны в вышеуказанной статье «Потребность почв в удобрении...», поэтому на них мы здесь останавливаться не будем; укажем лишь, что все эти опыты были поставлены одновременно (в 1906 г.); посев был произведен в один и тот же день. В таблице 1 мы приводим весь материал, полученный нами для овса (только общий урожай зерна и соломы и средний из параллельных сосудов), а в таблице 2 для клевера; фотографии 1—8 наглядно показывают развитие растений на двух образцах чернозема и двух образцах подзола. И овес и клевер показывают, что с углублением вниз плодородие почв сильно понижается; из всех девяти почв имеется лишь одно исключение, а именно почва с поля Кроткое, 2-й слой которой оказался одинаково богатым усвояемым азотом и значительно богаче усвояемой фосфорной кислотой, нежели 1-й слой (урожай овса без азота: на 1-м слое 22,6 г, на 2-м 24,8 г; без фосфорной кислоты: на 1-м слое 35,5 г, на 2-м 50,6 г). Подобно тому как для 1-го слоя

* Труды сельскохозяйственной химической лаборатории, вып. VI. 1909 г.—Ред.

в первом минимуме у всех исследовавшихся почв был азот, то же мы видим и для обоих нижележащих слоев; исключения представляют лишь 3-й слой подзолистой почвы А и 2-й слой подзолистой почвы Б, для которых

Таблица 1

Потребность в удобрениях различных горизонтов почвы под овсом

	Без удо- брения	Полное удобрение		
		без азота	без фос- форной кислоты	без калия
Общий урожай овса (в граммах на сосуд)				

Суглинистые черноземы из имения Кроткое,
Тульской губернии

Поле Рублевное	1-й слой . . .	25,0	82,7	27,7	60,0	74,6
	2-й » . . .	12,6	59,4	13,9	21,7	60,8
	3-й » . . .	8,0	56,7	8,8	10,1	57,6
Поле Кроткое	1-й слой . . .	19,2	83,5	22,6	35,5	78,8
	2-й » . . .	20,4	74,2	24,8	50,6	72,7
	3-й » . . .	5,2	65,7	5,2	26,6	48,3

Суглинистые черноземы из имения Алексеевское,
Тульской губернии

Старый хутор	1-й слой . . .	11,6	73,2	—	24,0	—
	2-й » . . .	3,8	62,6	—	11,8	—
	3-й » . . .	7,3	46,5	—	8,5	—
Церковная земля	1-й слой . . .	29,7	62,2	—	57,4	—
	2-й » . . .	8,2	68,2	—	31,3	—
	3-й » . . .	2,8	49,0	—	6,5	—
Большая дорога	1-й слой . . .	11,3	70,2	—	15,1	—
	2-й » . . .	7,1	75,9	—	12,9	—
	3-й » . . .	3,2	61,2	—	9,5	—

Суглинистые подзолы села Климово, Смоленской губернии

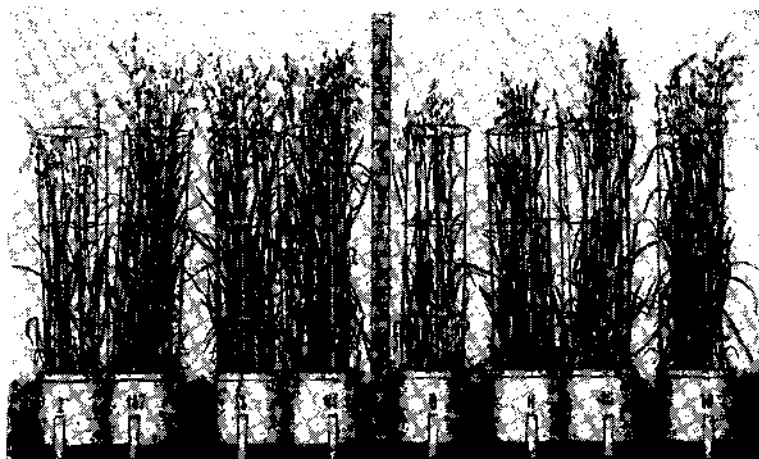
Почва А	1-й слой . . .	17,6	52,9	20,4	33,9	—
	2-й » . . .	6,4	27,9	8,0	15,8	—
	3-й » . . .	4,1	23,2	5,8	5,8	—
Почва Б	1-й слой . . .	19,0	49,9	23,2	26,7	—
	2-й » . . .	4,7	20,8	8,8	6,4	—
	3-й » . . .	3,6	24,1	4,3	7,5	—
Почва В	1-й слой . . .	30,6	77,4	30,2	52,0	—
	2-й » . . .	10,3	33,2	12,3	23,4	—
	3-й » . . .	6,8	40,9	6,9	11,9	—
Почва Г	1-й слой . . .	18,8	62,6	20,4	28,6	—
	2-й » . . .	8,3	51,7	8,8	13,7	—
	3-й » . . .	7,0	48,8	9,0	16,8	—

в первом минимуме под овсом были и азот и фосфорная кислота. Урожай овса без азотистого удобрения, в зависимости от почвы, колеблется: на верхних слоях от 11,3 (суглинистый чернозем с большой дороги

Без удобрения

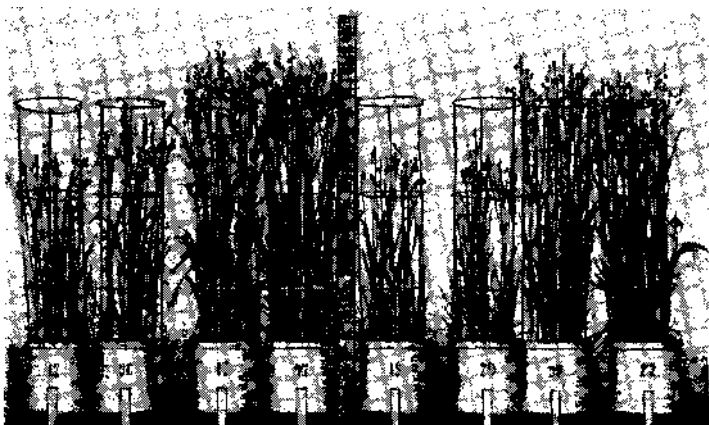
П о л н о е у д о б р е н и е
без N без P_2O_5 без K

1-й слой 0—5 вершков



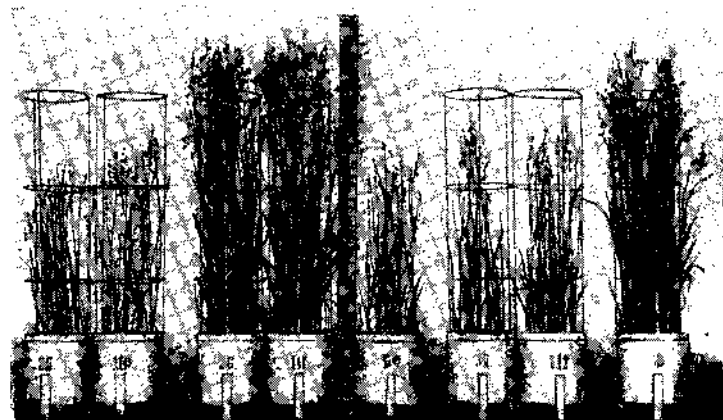
Общий урожай в г	25,0	стер. 54,6	82,7	стер. 90,6	27,7	60,0	стер. 55,6	74,6

2-й слой 7—12 вершков



Общий урожай в г	12,6	стер. 21,0	59,4	стер. 62,9	13,9	21,7	стер. 41,8	60,8

Материнская порода



Общий урожай в г	8,0	стер. 10,7	56,7	стер. 50,0	8,8	10,1	стер. 12,4	57,6

Рис. 1. Чернозем имени Кроткое, Тульской губ., поле Рубленное.

Алексеевского имения) до 30,6 г (подзол В села Климово), на 2-м слое с 3,8 (суглинистый чернозем старого хутора Алексеевского имения) до 24,8 г (суглинистый чернозем поля Кроткое), на 3-м слое с 2,8 (суглинистый чернозем с церковной земли Алексеевского имения) до 9,0 г (подзол Г

Таблица 2

Потребность в удобрениях различных горизонтов почвы под клевером

	Без удобрения	P+K	K
Урожай клевера (в граммах на сосуд)			

Суглинистые черноземы из имения Кроткое
Тульской губернии

Поле Рубленное	1-й слой . . .	32,0	59,8	36,8
	2-й » . . .	15,8	46,2	16,8
	3-й » . . .	2,7	28,8	2,9
Поле Кроткое	1-й слой . . .	22,0	44,1	25,3
	2-й » . . .	32,4	42,4	25,5
	3-й » . . .	5,0	27,3	9,1

Суглинистые черноземы из имения Алексеевское,
Тульской губернии

Старый хутор	1-й слой . . .	26,0	54,0	23,7
	2-й » . . .	6,2	33,1	6,0
	3-й » . . .	2,0	22,8	1,8
Церковная земля	1-й слой . . .	10,7	—	37,3
	2-й » . . .	16,0	39,7	19,3
	3-й » . . .	4,7	39,5	5,5
Большая дорога	1-й слой . . .	9,2	47,1	6,4
	2-й » . . .	5,7	44,4	5,7
	3-й » . . .	3,2	34,7	2,8

Суглинистые подзолы села Климово, Смоленской губернии

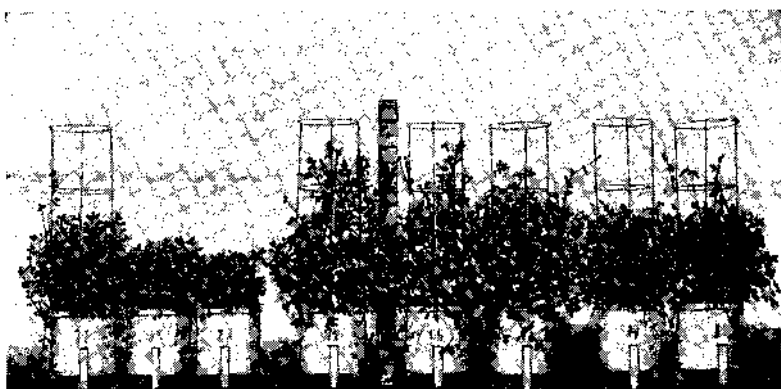
Почва А	1-й слой . . .	21,7	32,2	23,2
	2-й » . . .	9,0	17,1	9,8
	3-й » . . .	5,6	13,1	8,0
Почва Б	1-й слой . . .	20,4	34,0	20,8
	2-й » . . .	3,3	11,5	5,4
	3-й » . . .	3,6	8,0	4,0
Почва В	1-й слой . . .	34,8	50,6	39,4
	2-й » . . .	11,1	20,3	12,3
	3-й » . . .	6,5	15,5	7,3
Почва Г	1-й слой . . .	28,9	53,0	26,9
	2-й » . . .	10,1	34,0	11,6
	3-й » . . .	13,2	31,3	13,4

села Климово). Сильное понижение количества усвояемого азота в 3-м слое черноземов, почти лишенном перегноя, сравнительно со 2-м и 1-м слоями, явление, конечно, не требующее объяснения: как видно из ниже-

Без удобрения

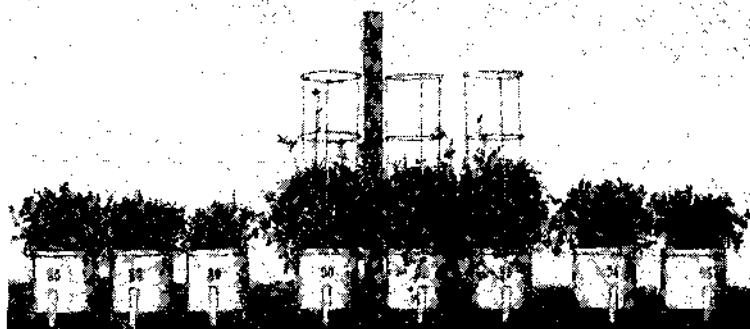
Полное удобрение без P_2O_5

1-й слой 0—5 вершков



Урожай в г	32,0	$CaCO_3$ 21,4	Стер. 12,9	59,9	$CaCO_3$ 55,1	Стер. 55,4	36,9	$CaCO_3$ 34,8

2-й слой 7—12 вершков



Урожай в г	15,8	$CaCO_3$ 11,8	Стер. 6,2	46,2	$CaCO_3$ 37,1	Стер. 38,3	16,8	$CaCO_3$ 13,2

Материнская порода



Урожай в г	2,7	$CaCO_3$ 2,7	Стер. 2,4	28,8	$CaCO_3$ 20,7	Стер. 5,5	2,9

Рис. 2. Чернозем имени Кроткое, Тульской губ., поле Рубленое.

приводимых данных, запасы общего азота в этом слое ничтожны по сравнению с запасами его в вышележащих слоях; естественно, что при одинаковых условиях для нитрификации, в каковых все эти слои находились у нас в вегетационных сосудах, продуктов нитрификации в сосудах с 3-м слоем должно было получаться значительно меньше, нежели в сосудах со 2-м и с 1-м слоями. Вполне понятно также сильное повышение потребности в азоте 2-го и 3-го слоя подзолов сравнительно с 1-м их слоем, так как содержание гумуса и общего азота в них значительно меньше, нежели в верхних слоях; так, для подзола А имеем:

Процентное содержание в воздушно-сухой почве

	Гумуса	Азота
1-й слой . . .	3,226	0,124
2-й » . . .	0,587	0,049
3-й » . . .	0,376	0,031

*Общий урожай овса без удобрения
(в 1-м минимуме азот)*

1-й слой	17,6 г
2-й »	6,4 »
3-й »	4,1 »

Таким образом, ничтожному и почти равному между собою содержанию азота во 2-м и 3-м слое отвечает малый и почти одинаковый урожай овса на этих слоях.

Но сильное падение урожаев в отсутствие азотистого удобрения мы видим не только в вышеназванных случаях, оно имеет место и при переходе от первого ко второму слою черноземов; исключение представляет одна лишь почва с поля Кроткое, где 2-й слой оказался даже несколько более обеспеченным азотом, нежели 1-й; на всех остальных черноземах урожай без азотистого удобрения на 2-м слое значительно ниже, нежели на 1-м слое, а на почве Старого хутора даже ниже, чем на 3-м слое, между тем содержание гумуса и общего азота во вторых слоях очень высокое.

Процентное содержание в воздушносухой почве ¹

		Гумуса	Азота
Поле Кроткое	1-й слой .	7,395	0,315
»	2-й » .	7,171	0,305
»	3-й » .	1,110	0,055
Старый хутор	1-й » .	9,878	0,392
»	2-й » .	6,970	0,220
»	3-й » .	0,944	0,046
Поле Рубленое	2-й » .	4,708	0,220

Если принять во внимание, с одной стороны, что образцы черноземов для этих опытов были взяты поздней осенью, когда содержание нитратов в почве очень низко, а вымывание их из пахотного слоя благодаря обилию атмосферных осадков должно быть сильное, а с другой стороны, что в наших опытах все слои были поставлены в одинаково благоприятные условия для нитрификационных процессов, то отмеченное явление едва ли возможно будет всецело отнести за счет неодинакового перерона-

¹ Анализ принадлежит П. Г. Лосеву.

чального содержания нитратов в 1-м и во 2-м слоях черноземов; по всей вероятности, в этих слоях мы имеем дело с гумусом не одинакового характера; на это, между прочим, указывают результаты произведенных нами водных вытяжек (200 г почвы взбалтывалось 3 минуты с 800 куб. см воды).

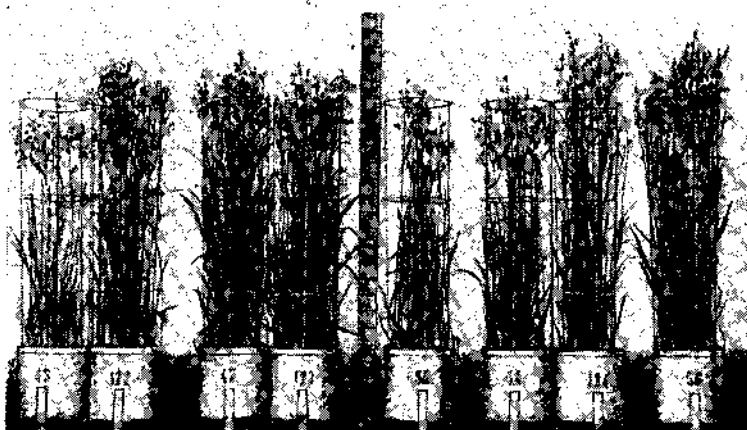
Таблица 3
Процентное содержание растворимых в воде¹

		Органических веществ	Минеральных веществ
Суглинистые черноземы из имения Кроткое			
Поле Рубленное	1-й слой	0,0323	0,0352
	2-й »	0,0240	0,0344
	3-й »	0,0176	0,0392
Поле Кроткое	1-й слой	0,0288	0,0320
	2-й »	0,0256	0,0360
	3-й »	0,0160	0,0408
Суглинистые черноземы из имения Алексеевское			
Старый хутор	1-й слой	0,0368	0,0240
	2-й »	0,0128	0,0338
	3-й »	0,0208	0,0592
Церковная земля	1-й слой	0,0440	0,0350
	2-й »	0,0256	0,0528
	3-й »	0,0088	0,0184
Большая дорога	1-й слой	0,0392	0,1224
	2-й »	0,0232	0,0216
	3-й »	0,0152	0,0648
Суглинистые подзолы села Климово			
Почва А	1-й слой	0,0328	0,0120
	2-й »	0,0092	0,0152
	3-й »	0,0104	0,0176
Почва В	1-й слой	0,0408	0,0328
	2-й »	0,0128	0,0192
	3-й »	0,0080	0,0160

Таблица 3 показывает, что содержание растворимых органических веществ во всех семи исследованных почвах сильно понижается с углублением вниз, исключение представляют лишь 2-й слой чернозема с поля Кроткое и 3-й слой чернозема Старого хутора; водная вытяжка из первого содержала почти столько же органического вещества, сколько его извлекалось из 1-го слоя, а 3-й слой чернозема Старого хутора содержал заметно больше растворимого органического вещества, нежели 2-й слой. Если бы характер гуминовых веществ в различных слоях исследованных почв был одинаковый, то, так как мы тут имеем дело с трудно-растворимыми соединениями, количество этих веществ, переходящих в раствор, должно было быть приблизительно одинаковым, независимо от их валового количества; поэтому, по нашему мнению, результаты вод-

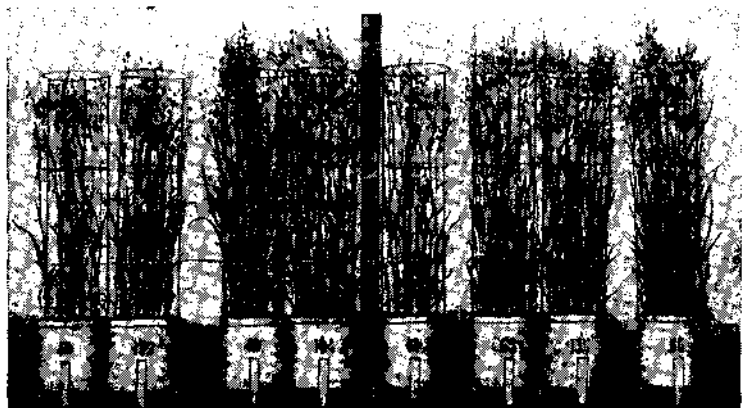
¹ Анализ принадлежит автору.

1-й слой 0-5 вершков



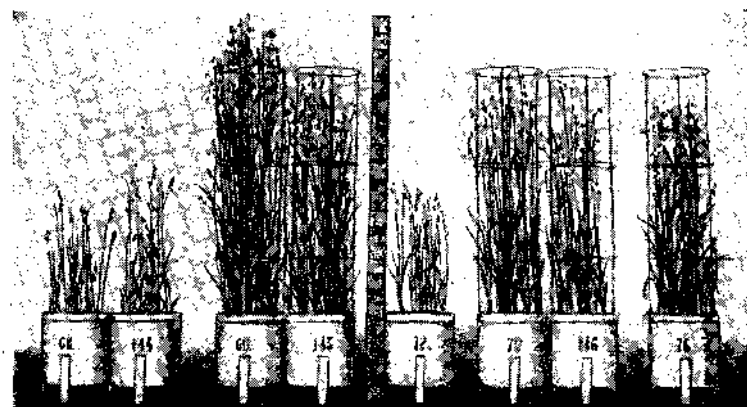
Общий урожай в г	19,2	Стер. 41,0	83,5	Стер. 70,9	22,6	35,5	Стер. 42,6	78,8

2-й слой 7-12 вершков



Общий урожай в г	21,4	Стер.	43,7	74,2	Стер.	71,1	24,8	50,6	Стер.	52,1	72,7

Материнская порода



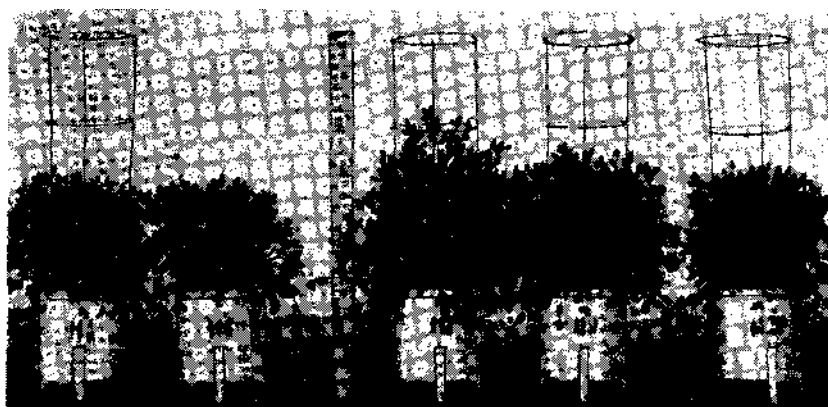
Общий	Стер.	Стер.	Стер.
уроной в г	5,2	6,0	65,7
			48,2
			5,2
			26,6
			14,3
			48,3

Рис. 3. Чернозем имения Кроткое, Тульской губ., поле Кроткое.

Без удобрения

Полное удобрение
без P_2O_5

1-й слой 0—5 вершков



Урожай в г	22,0	стер. 19,8	44,1	стер. 46,2	25,3

2-й слой 7—12 вершков



Урожай в г	32,4	стер. 26,7	42,4	стер. 50,8	25,5

Материнская порода



Урожай в г	3,4	стер. 3,9	27,3	стер. 22,3	9,1

Рис. 4. Чернозем имени Кроткое, Тульской губ., поле Кроткое.

ных вытяжек показывают, что в почвах, по мере углубления вниз, растворимость гумуса, исключая двух выше указанных слоев, уменьшается; вместе с растворимостью должно падать, очевидно, содержание в слоях доступного азота. Если мы примем за 100 содержание растворимых органических веществ в 1-м слое каждой из семи проанализированных почв и сопоставим с полученной таким образом растворимостью гумуса величину урожая овса без азотистого удобрения, приняв также за 100 урожай на первых слоях, то получим два следующих ряда относительных чисел.

Таблица 4

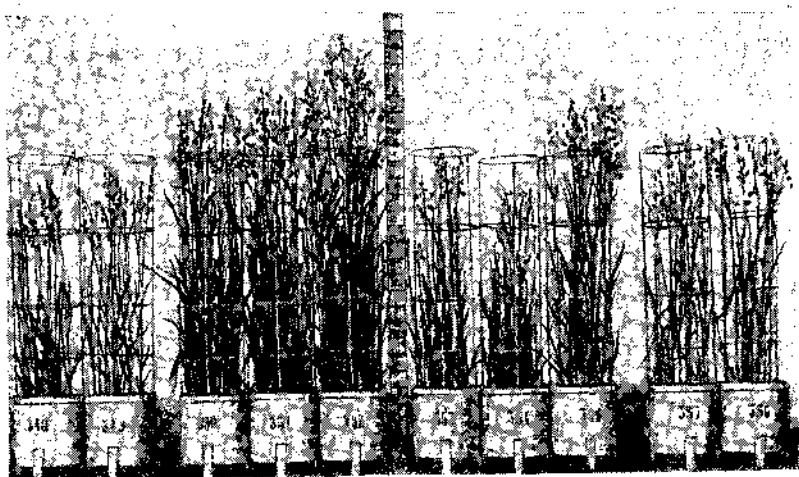
		Растворимость гумуса	Урожай овса без азотистого удобрения
Суглинистые черноземы из имения Кроткое			
Поле Рублевное	1-й слой	100	100
	2-й »	74	51
	3-й »	55	32
Поле Кроткое	1-й слой	100	100
	2-й »	90	110
	3-й »	56	23
Суглинистые черноземы из имения Алексеевское			
Старый хутор	1-й слой	100	100
	2-й »	35	33
	3-й »	57	63
Церковная земля	1-й слой	100	100
	2-й »	58	27
	3-й »	20	10
Большая дорога	1-й слой	100	100
	2-й »	60	63
	3-й »	39	28
Суглинистые подзолы села Климово			
Почва А	1-й слой	100	100
	2-й »	28	39
	3-й »	32	29
Почва В	1-й слой	100	100
	2-й »	31	41
	3-й »	20	23

Параллелизм между этими двумя рядами чисел определенно говорит о существовании причинной зависимости между рассматриваемыми величинами; пропорциональности нет, да ее и не может быть, так как растворимость гумуса почвы в какой-либо момент только одна из многих причин того или иного плодородия почвы азотом.

Если сопоставить изменяемость плодородия по отношению к азоту различных слоев исследованных черноземных почв с этой изменяемостью у подзолов, то, как показывает, таблица 1, можно сказать, что в общем у черноземов разница между 1-м и 2-м слоем меньше, нежели у подзолов;

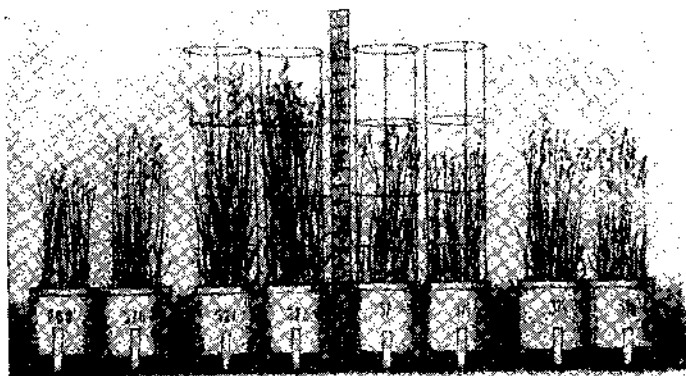
Без удобрения Подкормочное удобрение
без P_2O_5 без N

1-й слой 0—5 вершков



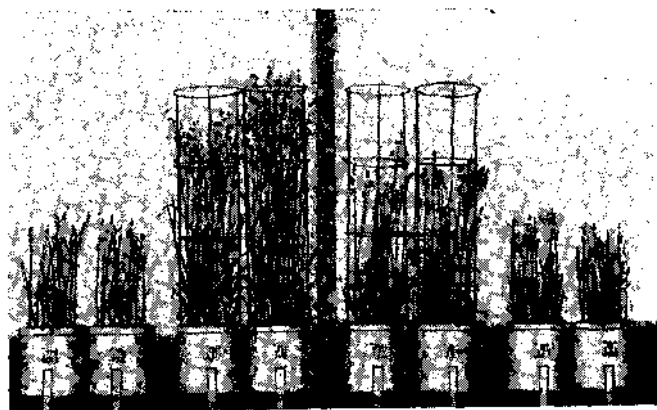
Общий урожай в г	19,0	+CaCO ₃ 15,8	49,9	+CaCO ₃ 63,0	Стер. 74,6	26,6	+CaCO ₃ 25,2	Стер. 30,0	CaCO ₃ 23,2	22,3

2-й слой 6—11 вершков



Общий урожай в г	4,7	+CaCO ₃ 6,4	20,8	+CaCO ₃ 32,9	6,4	+CaCO ₃ 6,7	8,8	+CaCO ₃ 7,5

3-й слой 12—17 вершков



Общий урожай в г	3,6	+CaCO ₃ 3,2	24,1	+CaCO ₃ 41,3	7,5	+CaCO ₃ 7,8	4,3	+CaCO ₃ 3,0

Рис. 5. Подзол села Климово, Смоленской губ., образец В.

Таблица 5

Растворимость фосфорной кислоты¹ различных горизонтов чернозема и подзола

		2% лимон- нокислая вытяжка	2% уксус- нокислая вытяжка	Отношение ли- моннораствори- мой к уксусно- растворимой фосфорной кислоте
Суглинистые черноземы из имения Кроткое				
Поле Рубленное	1-й слой	0,0095	0,0007	14
	2-й »	0,0064	0,0004	16
	3-й »	0,0043	0,0003	14
Поле Кроткое	1-й слой	0,0070	0,0006	12
	2-й »	0,0078	0,0006	13
	3-й »	0,0066	0,0005	15
Суглинистые черноземы из имения Алексеевское				
Старый хутор	1-й слой	0,0072	0,0006	12
	2-й »	0,0065	0,0004	16
	3-й »	0,0053	0,0003	18
Церковная земля	1-й слой	0,0177	0,0024	7
	2-й »	0,0078	0,0004	19
	3-й »	0,0116	0,0005	23
Большая дорога	1-й слой	0,0063	0,0006	10
	2-й »	0,0043	0,0005	9
	3-й »	0,0050	0,0005	10
Суглинистые подзолы села Климово				
Почва А	1-й слой	0,0215	0,0006	33
	2-й »	0,0286	0,0007	41
	3-й »	0,0184	0,0008	23
Почва Б	1-й слой	0,0141	0,0004	35
	2-й »	0,0148	0,0006	25
	3-й »	0,0130	0,0005	26
Почва В	1-й слой	0,0283	0,0013	22
	2-й »	0,0320	0,0011	29
	3-й »	0,0210	0,0008	26
Почва Г	1-й слой	0,0163	0,0011	15
	2-й »	0,0134	0,0007	19
	3-й »	0,0137	0,0005	27

¹ Анализ принадлежит автору. Все эти почвы были взяты с полей осенью 1905 г.; анализ лимоннокислых и уксуснокислых вытяжек был произведен весной 1906 г. одновременно с наполнением сосудов. При приготовлении вытяжек принималось во внимание содержание углесолей в почве; в тех образцах, в которых они имелись, концентрации лимонной и уксусной кислот соответственно увеличивались.

у последних падение урожаев без азотистого удобрения при переходе от 1-го слоя ко 2-му резче выражено, нежели у черноземов (исключая чернозема со Старого хутора). При переходе же к нижележащему слою имеет место обратное, но здесь необходимо иметь в виду различную глубину залегания исследованных нами трех слоев чернозема и подзола.

Во 2-м минимуме всех трех горизонтов исследованных почв оказалась фосфорная кислота; содержание этого вещества в усвояемой овсом и клевером форме, так же как и усвояемого азота, сильно понижается при переходе от выше лежащих к нижележащим слоям почвы; в этом отношении из всех девяти почв одна лишь почва поля Кроткое представляет исключение: 2-й слой ее оказался значительно богаче доступной растениям фосфорной кислотой, нежели выше лежащий слой; а 3-й ее слой хотя и беднее этим веществом, нежели 1-й и 2-й слои, но по сравнению с третьими слоями остальных почв он выделяется своим богатством доступной P_2O_5 .

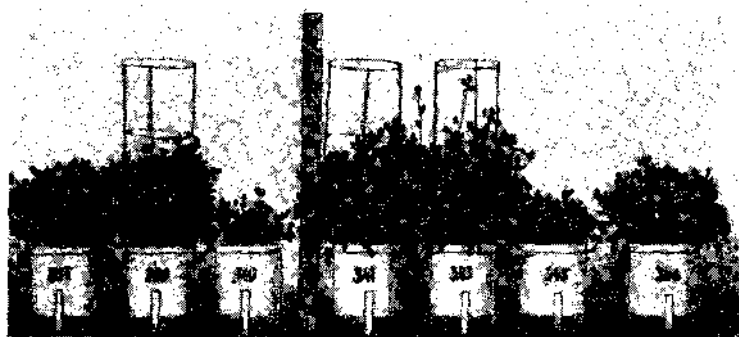
Растворимость фосфорной кислоты различных слоев исследованных почв в 2% лимонной и 2% уксусной кислотах видна из таблицы 5 (в процентах от веса сухой почвы).

На основании этой таблицы в общем можно сказать, что растворимость почвенной фосфорной кислоты в лимонной и уксусной кислотах понижается вместе с увеличением глубины залегания исследуемого слоя; но закономерность эта далеко не всеобщая: и черноземы и особенно подзолы часто показывают обратное. Особенно ясно это видно из данных лимоннокислых вытяжек: из пяти исследованных черноземов в сущности только два в полне проявляют вышеуказанную закономерность (почвы поля Рубленного и Старого хутора); в остальных же трех мы видим отклонения: в почве поля Кроткое 2-й слой оказался богаче 1-го легкорастворимой фосфорной кислотой, в почве церковной земли и с большой дороги 3-й слой богаче 2-го. Из четырех исследованных подзолов три оказались более богатыми лимоннорастворимой фосфорной кислотой во 2-м слое, нежели в 1-м. Обращает далее на себя внимание в таблице отношение лимоннорастворимой фосфорной кислоты к уксуснорастворимой; величина его в зависимости от почвы и глубины слоя колеблется между очень широкими пределами, а именно от 7 до 41; прежде всего бросается здесь в глаза различие между черноземами и подзолами, особенно первыми тремя, где отношение это во всех слоях выше, чем у черноземов; далее неодинаковое отношение между количествами лимоннорастворимой фосфорной кислоты и уксуснорастворимой замечается не только у различных почв, но также и у различных слоев одной и той же почвы; особенно резко в этом направлении выделяется чернозем с церковной земли села Алексеевское.

Являясь следствием неодинакового химического состава почв, эти колебания в величине отношения между лимоннорастворимой и уксуснорастворимой почвенной фосфорной кислотой, в частности, указывают и на неодинаковый качественный и количественный состав почвенных фосфатов; в этом направлении большую роль может сыграть, например, неодинаковое содержание в почвах или слоях почвы окиси железа; вследствие почти полной нерастворимости фосфорнокислых соединений железа в уксусной кислоте легко должен происходить в уксуснокислых вытяжках процесс осаждения фосфорной кислоты из растворившихся почвенных кальциевых фосфатов; в лимоннокислых вытяжках процесс этот или не будет происходить вовсе, или же будет очень ослаблен вследствие значительно более сильной растворимости фосфорнокислых соединений железа в лимонной кислоте. Далее на это отношение должно влиять большее или

Без удобрения Полное удобрение
без P_2O_5

1-й слой 0-5 вершков



Урожай в г	20,4	$CaCO_3$ 27,3	Стер. 3,3	34,0	$CaCO_3$ 42,1	Стер. 7,1	20,8

2-й слой 6-11 вершков



Урожай в г	3,3	$CaCO_3$ 7,3	Стер. 1,7	11,5	$CaCO_3$ 15,0	Стер. 8,1	5,4

3-й слой 12-17 вершков



Урожай в г	3,6	$CaCO_3$ 5,2	Стер. 3,0	8,0	$CaCO_3$ 19,0	Стер. 4,8	4,0

Рис. 6. Подзол села Климово, Смоленской губ., образец Б.

Без удобрения

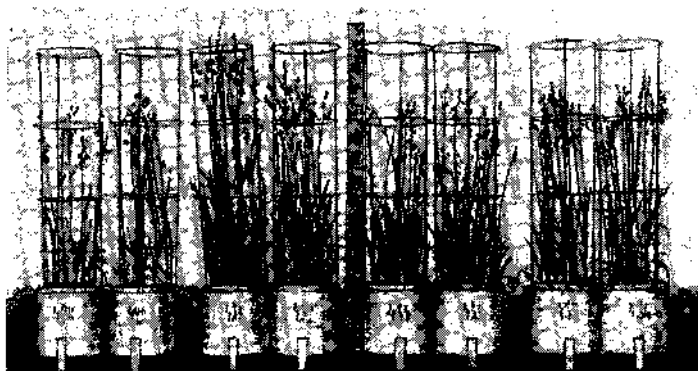
П о л н о е у д о б р е н и е
без P_2O_5 без N

1-й слой 0-5 вершков



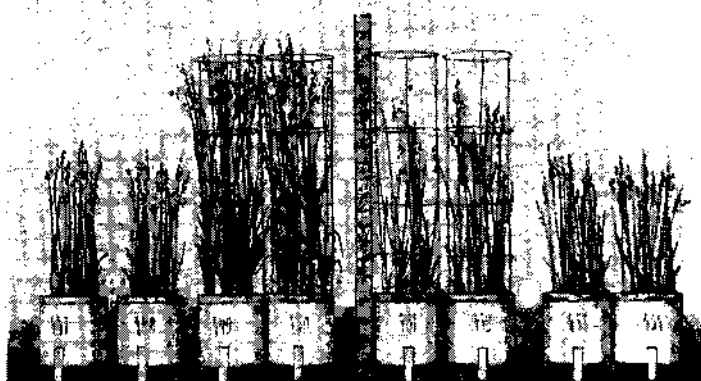
Общий урожай в г	30,6	+CaCO ₃ 35,8	77,4	+CaCO ₃ 74,3	Сред. 82,6	52,0	+CaCO ₃ 51,4	Сред. 84,0	30,2	+CaCO ₃ 33,0

2-й слой 6-11 вершков



Общий урожай в г	10,3	+CaCO ₃ 12,0	33,2	+CaCO ₃ 32,4	+CaCO ₃ 23,6	23,4	12,3	+CaCO ₃ 14,6

3-й слой 12-17 вершков



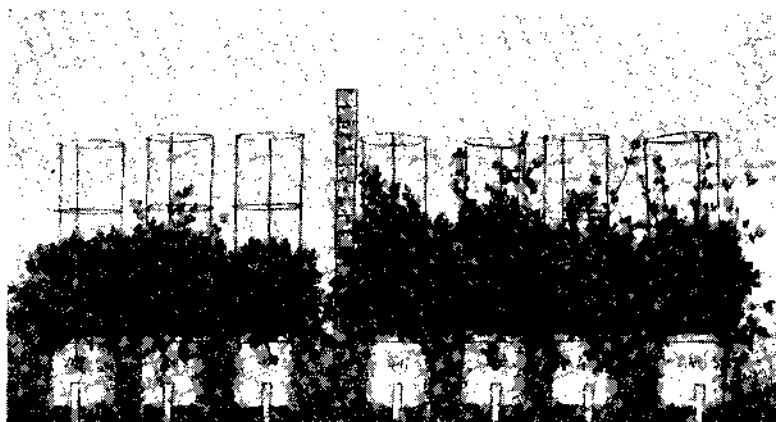
Общий урожай в г	6,8	+CaCO ₃ 6,3	40,9	+CaCO ₃ 39,4	11,9	+CaCO ₃ 10,6	6,9	+CaCO ₃ 6,4

Рис. 7. Подзол села Климово, Смоленской губ., образец В.

Без удобрений

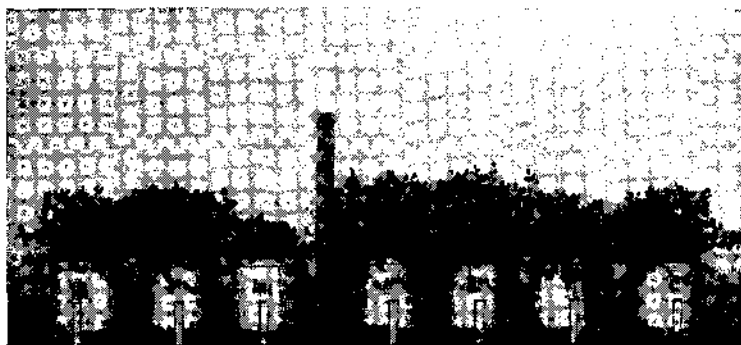
Полное удобрение
без P_2O_5

1-й слой 0—5 вершков



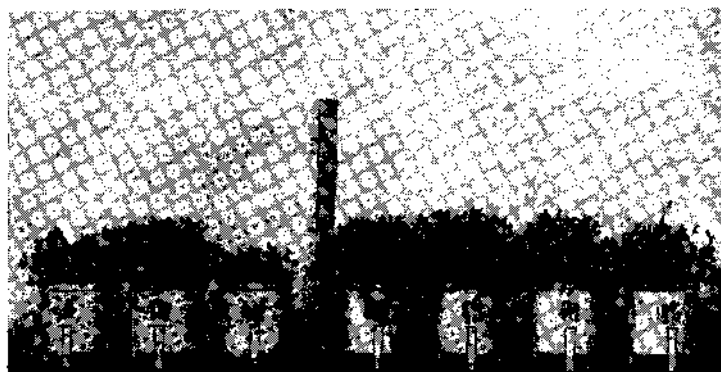
Урожай в г	34,9	$CaCO_3$ 38,3	Стер. 24,4	50,6	$CaCO_3$ 53,6	Стер. 39,2	38,0

2-й слой 6—11 вершков



Урожай в г	11,1	$CaCO_3$ 15,2	Стер. 4,2	20,3	$CaCO_3$ 25,4	Стер. 12,5	12,3

3-й слой 12—17 вершков



Урожай в г	6,5	$CaCO_3$ 12,6	Стер. 2,9	15,5	$CaCO_3$ 20,7	Стер. 12,3	7,3

Рис. 8. Подзол села Климово, Смоленской губ., образец В.

меньшее содержание в почве фосфорноорганических соединений; на этом явлении нам приходилось уже не раз останавливаться, поэтому мы здесь только укажем, что большое содержание фосфорноорганических соединений в некоторых подзолистых почвах, по нашему мнению, и является главной причиной большего отношения у них между лимоннорастворимой и уксуснорастворимой фосфорной кислотами.

Чтобы покончить с плодородием различных горизонтов почв в отношении фосфорной кислоты, нам остается еще сопоставить потребность овса и клевера в этом веществе с растворимостью последнего в лимонной и уксусной кислотах, что мы и сделаем в нижеследующей таблице (табл. 6), расположив почвы по величине урожая овса без фосфорнокислого удобрения в нисходящем порядке.

Таблица 6

Потребность овса и клевера в фосфорнокислом удобрении и растворимость почвенной фосфорной кислоты в 2% лимоннокислой и 2% уксуснокислой вытяжках

Почва	Урожай без фосфорнокислого удобрения в процентах от урожая по полному удобрению и в граммах				Процентное содержание P_2O_5 , извлекаемой из почвы	
	овса		клевера		2% лимонной кислотой	2% уксусной кислотой
	в %	в г	в %	в г		
1-й слой перк. земли (черн.) . . .	92	57,4	—	37,3	0,0177	0,0024
1-й » поля Рубленное (черн.) . .	72	60,0	58	74,4	0,0095	0,0007
2-й » поч. В (подз.)	70	23,4	61	12,3	0,0320	0,0011
2-й » поля Кроткое (черн.) . . .	68	50,6	72	64,7	0,0078	0,0006
1-й » поч. В (подз.)	67	52,0	77	38,9	0,0283	0,0013
1-й » поч. А (подз.)	64	33,9	72	23,2	0,0215	0,0006
2-й » поч. А (подз.)	57	15,8	57	9,8	0,0286	0,0007
1-й » поч. А. (подз.)	53	26,7	61	20,8	0,0141	0,0004
2-й » перк. земли (черн.)	46	31,3	49	19,3	0,0078	0,0004
1-й » поч. Г (подз.)	46	28,6	51	28,9	0,0163	0,0011
1-й » поля Кроткое (черн.) . . .	42	35,5	52	45,0	0,0070	0,0006
3-й » поля Кроткое (черн.) . . .	40	26,6	40	26,0	0,0066	0,0005
2-й » поля Рубленное (черн.) . .	37	21,7	35	33,0	0,0064	0,0004
3-й » поч. Г (подз.)	34	16,8	43	13,4	0,0137	0,0005
1-й » Стар. хутора	33	24,0	48	26,0	0,0072	0,0006
3-й » поч. Б (подз.)	31	7,5	50	4,0	0,0130	0,0005
2-й » поч. Б (подз.)	31	6,4	47	5,4	0,0148	0,0006
3-й » поч. В (подз.)	29	11,9	48	7,4	0,0210	0,0008
2-й » поч. Г (подз.)	26	13,7	34	11,6	0,0124	0,0007
3-й » поч. А (подз.)	25	5,9	63	8,0	0,0184	0,0008
1-й » Большая дор. (черн.) . . .	21	15,1	19	9,2	0,0063	0,0006
2-й » Стар. хутора (черн.) . . .	19	11,8	18	6,2	0,0065	0,0004
3-й » поля Рубленное (черн.) . .	18	10,1	10	7,6	0,0043	0,0003
3-й » Стар. хутора (черн.) . . .	18	8,5	9	2,0	0,0053	0,0003
2-й » Большой дор. (черн.) . . .	17	12,9	13	5,7	0,0043	0,0005
3-й » Большой дор. (черн.) . . .	15	9,5	9	3,2	0,0050	0,0005
2-й » перк. земли (черн.) . . .	13	6,5	14	5,5	0,0116	0,0005

Одного взгляда на эту таблицу достаточно, чтобы сказать, что при рассмотрении всей совокупности исследованных почв нельзя усмотреть и подобия параллелизма между потребностью почв (в сосудах) в фосфорной кислоте и растворимостью почвенной фосфорной кислоты в 2% лимонной и уксусной кислотах; достаточно указать, например, что последняя по своему плодородию в отношении и овса и клевера почва (3-й слой пер-

ковной земли села Алексеевского)—урожай овса 6,5 г (13%), урожай клевера 5,5 г (14%)—содержит больше лимоннорастворимой фосфорной кислоты (0,0116%), чем 2-я по своему плодородию почва поля Рубленное (0,0095% лимоннорастворимой P_2O_5 , урожай овса 60,0 г, клевера 74,4 г), и почти столько же уксуснорастворимой P_2O_5 (0,0005%), сколько 4-я почва (2 слой поля Кроткое). Таблица ясно также показывает, что полное отсутствие параллелизма является существенным образом следствием присутствия в таблице данных, относящихся к двум типам почв—к черноземам и подзолам; особенно это проявляется в данных лимоннокислой вытяжки: в подзолах, в общем более бедных, нежели черноземы, усвояемой овсом и клевером фосфорной кислотой, содержание лимоннорастворимой фосфорной кислоты значительно выше содержания ее в черноземах; в данных же уксуснокислых вытяжек для этих двух типов почв хотя и нет параллелизма с плодородием, но нет и такого резкого противоречия; причина такого различия между показанием уксуснокислой вытяжки и плодородием, с одной стороны, и между показанием лимоннокислой вытяжки и плодородием, с другой стороны, та, что содержащиеся часто (но не всегда или, по крайней мере, не всегда в заметных количествах) в подзолах фосфорноорганические соединения, растворимые, как мы указывали выше, в лимонной кислоте и нерастворимые в уксусной кислоте, являются для растений труднодоступными, малоусвояемыми; таким образом, если уксуснокислая вытяжка при сравнении между собой подзолов и черноземов по их плодородию фосфорной кислотой не может дать более или менее правильных указаний, то лимоннокислая вытяжка может привести к совершенно абсурдным выводам.

Значительно яснее выступает параллелизм, если мы будем отдельно сравнивать между собою черноземы (курсив в таблице) и подзолы, хотя и в этом случае более или менее строгого параллелизма нет; черноземы из имения Кроткое и имения Алексеевское, каждая в отдельности, показывают гораздо лучшее согласие между усвояемостью почвенной фосфорной кислоты и ее растворимостью* таким образом, даже такие близкие по своему происхождению почвы, как эти черноземы, требуют для суждения о их плодородии по содержанию легкорастворимой фосфорной кислоты различных норм; очевидно, в этом отношении должны быть принимаемы во внимание более тонкие различия в генезисе почв, а также хозяйственные условия, в которых находились и находятся почвы. Далеко не полный параллелизм между усвояемостью и растворимостью фосфорной кислоты наблюдается и в подзолах села Климово, несмотря на то что почвы эти расположены близко одна от другой; но в данном случае параллелизм нарушается главным образом присутствием различных слоев; если мы сравним в этом отношении отдельно между собою слои одинаковой глубины, то, как показывает вышепомещенная таблица, получим для первых двух слоев, по крайней мере для лимонной кислоты, довольно полный параллелизм, в образцах же трех слоев его трудно усмотреть.

Сравним, наконец, между собою плодородие фосфорной кислотой различных слоев каждой почвы с растворимостью их фосфорной кислоты в слабых кислотах.

Таблица 7 показывает, что в черноземах доступность фосфорной кислоты овсу и клеверу при переходе от одного горизонта в другой изме-

* См. К. К. Г е д р о й ц. Потребность почв в удобрении по вегетационному методу. «Труды сельскохозяйственной химической лаборатории» 1909 г., вып. VI, таблицы на страницах 96 и 106.—Ред.

Подзолы села Климово

Почва	Урожай без фосфорнокислых удобрений в процентах от урожая по полному удобрению и в граммах				Процентное содержание в почвах P_2O_5 , извлекаемой	
	овса		клевера		2% лимонной кислотой	2% уксусной кислотой
	в %	в г	в %	в г		
Почва В	67	52,0	77	38,9	0,0283	0,0013
* А	64	33,9	72	23,2	0,0215	0,0006
* Б	53	26,7	61	20,8	0,0141	0,0004
* Г	46	28,6	51	28,9	0,0163	0,0011
Почва В	70	23,4	61	12,3	0,0320	0,0011
* А	57	15,4	57	9,8	0,0286	0,0007
* Б	31	6,4	47	5,4	0,0148	0,0006
* Г	26	13,7	34	11,6	0,0134	0,0007
Почва Г	34	16,8	43	13,4	0,0137	0,0005
* Б	31	7,5	50	4,0	0,0130	0,0005
* В	29	11,9	48	7,5	0,0210	0,0008
* А	25	5,8	63	8,0	0,0184	0,0008

няется в том же направлении, как и растворимость этого вещества: с уменьшением плодородия книзу соответственно уменьшается и растворимость фосфорнокислых соединений почвы; с увеличением же плодородия книзу, как это имеет место в почве поля Кроткое, увеличивается и растворимость; у всех пяти исследованных черноземов имеется лишь одно исключение из вышесказанного, а именно подпочва дерговой земли села Алексеевского: растворимость ее фосфорнокислых соединений и в лимонной и в уксусной кислотах оказалась выше, нежели во 2-м слое, между тем как урожай овса и клевера значительно ниже. Такой параллелизм между растворимостью и доступностью растениям фосфатов в различных слоях чернозема указывает на одинаковый характер их во всей исследованной толще, а так как в подпочве чернозема фосфорная кислота должна быть почти исключительно в форме кальциевых солей, то отсюда можно заключить, что и в гумусовых горизонтах чернозема преобладают фосфорнокислые соединения кальция.

Не то мы видим у подзолов; здесь в общем можно сказать, что между растворимостью фосфорнокислых соединений и их доступностью растениям в различных горизонтах одной и той же почвы не существует параллелизма; только в одном из четырех исследованных подзолов, а именно на почве Г, этот параллелизм ясно выступает; в остальных же случаях всюду у 2-го слоя растворимость фосфорной кислоты в лимонной кислоте, а отчасти и в уксусной, выше, чем можно было ожидать по плодородию этого горизонта; особенно резко это выразилось на почве В, недавно только поступившей из-под леса в сельскохозяйственное пользование; в третьих слоях хотя растворимость фосфатов и ниже, чем в первых, но не настолько, насколько можно было бы ожидать по их ничтожному плодородию. Таким образом, в подзолах соотношение между растворимостью и доступностью фосфорнокислых соединений в различных горизонтах указывает в противоположность тому, что мы видели в черноземах, на неодинаковый характер фосфорнокислых соединений в различных слоях этого типа почв.

Т а б л и ц а 7

Плодородие в отношении фосфорной кислоты различных горизонтов черноземов и подзолов и растворимость их фосфорной кислоты в слабых кислотах

Почва			Урожай без фосфорно-кислых удобрений (в процентах от урожая по полному удобрению и в граммах)				Процентное содержание в почвах P_2O_5 , извлекаемой	
			овес		клевер		2% лимонной кислотой	2% уксусной кислотой
			в %	в г	в %	в г		
Суглинистые черноземы из имения Кроткое	Поле Рубленное	1-й слой .	72	60,0	58	74,4	0,0095	0,0007
		2-й » .	37	21,7	35	33,0	0,0064	0,0004
		3-й » .	18	10,1	10	7,6	0,0043	0,0003
	Поле Кроткое	1-й слой .	42	35,5	52	45,0	0,0070	0,0006
		2-й » .	68	50,6	72	64,7	0,0078	0,0006
		3-й » .	40	26,6	40	26,0	0,0066	0,0005
Суглинистые черноземы из имения Алексеевское	Старый хутор	1-й слой .	33	24,0	48	26,0	0,0072	0,0006
		2-й » .	19	11,8	18	6,2	0,0065	0,0004
		3-й » .	18	8,5	9	2,0	0,0053	0,0003
	Церковная земля	1-й слой .	92	57,4	—	37,3	0,0177	0,0024
		2-й » .	46	31,3	49	19,3	0,0078	0,0004
		3-й » .	13	6,5	14	5,5	0,0116	0,0005
	Большая дорога	1-й слой .	21	15,1	19	9,2	0,0063	0,0006
		2-й » .	17	12,9	13	5,7	0,0043	0,0005
		3-й » .	15	9,5	9	3,2	0,0050	0,0005
	Почва А	1-й слой .	64	33,9	72	23,2	0,0215	0,0006
		2-й » .	57	15,4	57	9,8	0,0286	0,0007
		3-й » .	25	5,8	63	8,0	0,0184	0,0008
Суглинистые подзолы села Климово	Почва Б	1-й слой .	53	26,7	61	20,8	0,0141	0,0004
		2-й » .	31	6,4	47	5,4	0,0148	0,0006
		3-й » .	31	7,5	50	4,0	0,0130	0,0005
	Почва В	1-й слой .	67	52,0	77	38,9	0,0283	0,0013
		2-й » .	70	23,4	61	12,3	0,0320	0,0011
		3-й » .	29	11,9	48	7,5	0,0210	0,0008
	Почва Г	1-й слой .	46	28,6	51	28,9	0,0163	0,0004
		2-й » .	26	13,7	34	11,6	0,0134	0,0007
		3-й » .	34	16,8	43	13,4	0,0137	0,0005

Обратимся, наконец, к сравнению плодородия калием различных слоев почвы; в этом направлении у нас имеются данные только для двух образцов чернозема из имения Кроткое. Как показывает таблица 1, доступность калийных соединений понижается с углублением вниз на обеих почвах: и на почве поля Рубленное, на которой также понижалась доступность азота и фосфора, и на почве поля Кроткое, где 2-й слой оказался плодороднее 1-го азотом и фосфорной кислотой.

ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ФОСФОРНОКИСЛЫХ СОЛЕЙ

Различные фосфорсодержащие соединения почвы и фосфорнокислых удобрений, вследствие неодинаковой их химической и физической природы, являются в различной степени доступными растениям. Если вопрос о степени доступности фосфорной кислоты фосфорнокислых туков имеет первенствующее значение в теории и практике удобрения, то не меньшее значение имеет и вопрос о доступности фосфора почвенных соединений в учении о плодородии почвы. Самой собой понятно, что для того чтобы подойти к разрешению вопросов о причинах различного плодородия почв фосфорной кислотой, о мерах поднятия этого плодородия и быстрых и надежных способах его констатирования, прежде всего необходимо знать, какие в почве могут находиться фосфорсодержащие соединения и какова их доступность растениям. Придавая означенному вопросу такое значение и находя, кроме того, что изучение отношения различных растений к разнообразным фосфорнокислым соединениям может быть полезным для познания их физиологических особенностей, наша лаборатория ставила ряд опытов для изучения усвояемости фосфорной кислоты фосфорнокислого кальция, алюминия и железа на бесплодном песке и на почве.

1. ОПЫТЫ НА БЕСПЛОДНОМ КВАРЦЕВОМ ПЕСКЕ

Для изучения отношения растений к фосфорнокислым солям кальция, алюминия и железа в чистом, так сказать, виде, без побочного влияния растворяющей и поглощающей деятельности самой почвы, первоначально опыты были поставлены (1901 г.) на бесплодном кварцевом песке, тщательно промытом соляной кислотой. В сосуды, предназначавшиеся для опыта, помещалось по 6,5 кг этого песка, смешанного с основным удобрением, состоявшим из 0,18 г в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и 0,07 г N в KNO_3 , 0,23 г K_2O в KNO_3 и 0,07 г K_2O в KCl , 0,07 г MgO в MgSO_4 , и с той или другой фосфорнокислой солью; фосфорнокислые соли (кроме дифосфорнокислого натрия, вводившегося в раствор) сначала тщательно перемешивались с небольшим количеством песка в фарфоровой ступке, а затем эта смесь уже размешивалась с остальным песком; в тех случаях, когда в сосуды вносился мел или торф, с ними поступали совершенно так же; в большей части сосудов фосфорнокислые соли смешивались со всем количеством песка сосуда; для некоторых же солей, кроме того, были

Усвояемость фосфорной кислоты фосфорнокислого кальция

		Основной			
		+0,3 г фосфора			
		Na ₂ HPO ₄			
		№ сосуда	серно	солома	всего
Фосфорнокислые соли свежесажженные	1-й сосуд	558	2,6	29,4	32,0
	2-й »	559	2,0	27,8	29,8
	Среднее	—	2,3	26,6	30,9
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд	558	2,6	29,4	32,0
	2-й »	559	2,0	27,8	29,8
	Среднее	—	2,3	28,6	30,9
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд	558	2,6	29,4	32,0
	2-й »	559	2,0	27,8	29,8
	Среднее	—	2,3	28,9	30,9

К основному удобрению

Фосфорнокислые соли свежесажженные	1-й сосуд	608	2,0	32,5	34,5
	2-й »	661	1,4	33,4	34,8
	Среднее	—	1,7	33,0	34,7
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд	608	2,0	32,5	34,5
	2-й »	661	1,4	33,4	34,8
	Среднее	—	1,7	33,0	34,7
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд	608	2,0	32,5	34,5
	2-й »	661	1,4	33,4	34,8
	Среднее	—	1,7	33,0	34,7

Песок смешанный

Фосфорнокислые соли свежесажженные	1-й сосуд	698	3,7	27,9	31,6
	2-й »	699	3,9	28,8	32,7
	Среднее	—	3,8	28,4	32,2
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд	698	3,7	27,9	31,6
	2-й »	699	3,9	28,8	32,7
	Среднее	—	3,8	28,4	32,2
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд	698	3,7	27,9	31,6
	2-й »	699	3,9	28,8	32,7
	Среднее	—	3,8	28,4	32,2

Таблица 1

Алюминия и железа горчицей в песчаных культурах

Удобрение

Известоты в виде

Ca ₃ (PO ₄) ₂				AlPO ₄				FePO ₄			
урожай (в граммах) на сосуд											
№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего
560	2,6	32,5	35,1	564	2,9	29,5	32,4	566	4,0	28,3	32,8
561	1,7	31,5	33,2	565	1,3	29,5	30,7	567	3,1	28,0	31,1
—	2,2	32,0	34,2	—	2,1	29,5	31,6	—	3,6	28,1	31,7
570	1,8	23,3	25,1	572	3,3	25,1	28,4	574	2,1	12,7	14,8
571	2,3	21,3	23,6	573	3,8	25,0	29,3	575	2,9	12,6	15,5
—	2,1	22,3	24,4	—	3,6	25,3	28,9	—	2,5	12,7	15,2
582	1,0	13,9	14,9	586	2,7	22,7	25,4	588	0,4	3,2	3,6
583	1,9	19,1	21,0	587	3,0	23,4	26,7	589	0,4	3,1	3,5
—	1,9	19,1	21,0	—	2,9	23,0	25,6	—	0,4	3,2	3,6

прибавлено 3 г $CaCO_3$ на сосуд

662	3,5	32,3	35,8	664	2,5	33,7	36,2	666	2,7	33,7	36,4
663	3,6	30,2	33,8	665	2,7	32,3	35,0	667	3,5	33,6	37,1
—	3,6	31,2	34,8	—	2,6	33,0	35,6	—	3,1	33,7	36,8
668	2,6	15,0	17,6	670	2,5	30,4	32,9	672	3,0	18,4	21,4
669	3,0	16,1	19,1	671	3,7	30,1	33,8	673	3,6	17,0	20,6
—	2,8	15,6	18,4	—	3,1	30,3	33,4	—	3,3	17,7	21,0
680	2,7	11,8	14,5	682	4,0	30,0	34,0	884	0,4	4,0	4,4
681	2,2	10,6	12,8	683	3,8	29,1	32,9	685	0,4	4,3	4,7
—	2,5	10,7	13,2	—	3,9	29,6	33,5	—	0,4	4,2	4,6

горфом

700	5,2	34,5	39,7	704	3,8	26,6	30,4	706	4,7	25,3	30,0
701	5,0	32,1	37,1	705	4,7	24,2	28,9	707	3,6	25,0	28,6
—	5,1	33,3	38,4	—	4,3	25,4	29,6	—	4,2	25,1	29,3
710	5,6	31,5	37,1	712	3,5	26,0	29,5	740	5,4	24,6	30,0
711	5,4	30,0	35,4	739	5,0	24,4	29,4	741	5,8	22,9	28,7
—	5,5	30,8	36,3	—	4,3	25,2	29,5	—	5,6	23,8	29,4
748	4,7	27,4	32,1	752	5,2	24,7	29,6	754	1,5	10,1	11,6
749	4,6	28,6	33,2	753	5,8	23,3	29,1	755	1,6	8,4	10,0
—	4,7	28,0	32,7	—	5,5	24,0	29,5	—	1,6	9,2	10,8

		Основное							
		+0,6 г фосфорной							
		Са ₃ (PO ₄) ₂				AlPO ₄			
		№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего
Фосфорнокислые соли свежесажженные	1-й сосуд . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	2-й » . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд . . .	576	2,3	30,9	33,2	578	3,1	26,5	29,6
	2-й » . . .	577	3,1	30,9	34,0	579	3,7	27,6	31,3
	Среднее . . .	—	2,7	30,9	33,6	—	3,4	27,1	30,5
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд . . .	592	1,3	28,6	29,9	596	3,2	26,3	29,5
	2-й » . . .	593	3,1	29,0	32,1	597	3,1	26,2	29,3
	Среднее . . .	—	2,2	28,8	31,0	—	3,2	26,2	29,4
К основному удобрению									
Фосфорнокислые соли свежесажженные	1-й сосуд . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	2-й » . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд . . .	674	2,7	23,8	26,5	676	3,6	31,8	35,4
	2-й » . . .	675	3,6	26,2	29,8	677	3,1	36,2	39,3
	Среднее . . .	—	3,2	25,0	28,2	—	3,4	34,0	37,4
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд . . .	686	4,6	14,8	19,4	688	3,7	31,7	35,4
	2-й » . . .	687	3,4	20,1	23,5	689	3,8	33,7	37,5
	Среднее . . .	—	4,0	17,5	21,5	—	3,8	32,7	36,5
Песок смешан									
Фосфорнокислые соли свежесажженные	1-й сосуд . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	2-й » . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд . . .	742	4,5	33,6	38,1	744	5,4	28,4	31,8
	2-й » . . .	743	4,6	31,1	35,7	745	5,7	24,9	30,6
	Среднее . . .	—	4,6	32,3	36,9	—	5,6	25,6	31,2
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд . . .	758	3,6	32,5	36,1	762	4,8	24,2	29,0
	2-й » . . .	759	3,7	34,5	38,2	763	3,9	26,8	30,7
	Среднее . . .	—	3,7	33,5	37,2	—	4,4	25,5	29,9

Таблица 1 (продолжение)

Удобрение															
кислоты в виде				1,2 г фосфорной кислоты в виде											
$FePO_4$				$Ca_3(PO_4)_2$				$AlPO_4$				$FePO_4$			
№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
580	3,8	21,4	25,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
581	3,7	22,4	26,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	3,8	22,9	25,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
598	1,1	4,1	5,2	602	4,8	27,1	31,9	604	3,8	28,2	32,0	606	2,5	10,8	13,3
599	0,5	4,4	4,6	603	4,9	28,8	33,7	605	3,6	27,4	31,0	607	1,7	8,7	10,4
—	0,8	4,3	5,1	—	4,9	28,0	32,8	—	3,7	27,8	31,5	—	2,1	9,8	11,6

прибавлено 3 г $CaCO_3$ на сосуд

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
678	3,3	24,2	27,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
679	2,8	25,3	28,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	3,1	24,7	27,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
690	0,5	3,9	4,4	692	3,6	25,3	28,0	—	—	—	—	—	—	—	—
691	0,9	4,8	5,7	693	4,6	24,4	29,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,7	4,4	5,1	—	4,1	24,9	29,0	—	—	—	—	—	—	—	—

с торфом

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
746	5,7	23,7	29,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
747	4,9	26,0	30,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	5,3	24,9	30,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
754	3,1	14,8	17,9	776	2,9	31,1	34,0	778	2,8	22,4	25,2	780	3,3	19,6	22,9
772	2,4	16,4	18,8	777	3,2	30,7	33,9	779	2,3	23,6	25,9	781	3,2	17,9	21,1
—	2,8	15,6	18,4	—	3,1	30,9	34,0	—	2,6	23,0	25,6	—	3,3	18,7	22,0

Усвояемость фосфорной кислоты фосфорнокислого кальция.

		Основное							
		+0,3 г P_2O_5 в		+0,6 г фосфорной кислоты в					
				Na_2HPO_4		Na_2HPO_4		$Ca_3(PO_4)_2$	
		Урожай (в грам)							
		№ со-суда		№ со-суда		№ со-суда		№ со-суда	
Фосфорнокислые соли свежеосажденные	1-й сосуд .	582	15,1	784	26,8	786	13,2	790	13,6
	2-й » .	783	14,3	785	25,2	787	15,9	791	11,8
	Среднее .	—	14,7	—	26,0	—	14,6	—	12,2
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд .	582	15,1	784	26,8	796	10,7	798	27,8
	2-й » .	783	14,3	785	25,2	797	11,2	799	30,9
	Среднее .	—	14,7	—	26,0	—	11,0	—	29,4
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд .	582	15,1	784	26,8	808	6,8	812	16,8
	2-й » .	783	14,3	785	25,2	809	6,2	813	19,0
	Среднее .	—	14,7	—	26,0	—	6,5	—	17,9

К основному удобрению

Фосфорнокислые соли свежеосажденные	1-й сосуд .	834	11,9	836	15,5	838	9,8	840	30,0
	2-й » .	835	10,5	837	18,1	839	8,4	841	28,8
	Среднее .	—	11,4	—	16,8	—	9,1	—	29,4
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд .	834	11,9	836	15,5	844	1,2	846	21,0
	2-й » .	835	10,5	837	18,1	845	1,3	847	20,7
	Среднее .	—	11,4	—	16,8	—	1,2	—	20,8
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд .	834	11,9	836	15,5	856	2,4	858	21,3
	2-й » .	835	10,5	837	18,1	857	1,7	859	22,2
	Среднее .	—	11,4	—	16,8	—	2,0	—	21,7

Песок смешан

Фосфорнокислые соли свежеосажденные	1-й сосуд .	874	19,7	876	29,4	878	30,8	882	19,2
	2-й » .	875	22,0	877	28,4	879	30,7	883	18,8
	Среднее .	—	20,9	—	28,9	—	30,7	—	19,0
Фосфорнокислые соли просушенные	1-й сосуд .	874	19,7	876	29,4	888	29,8	890	26,7
	2-й » .	875	22,0	877	28,4	889	29,5	891	23,0
	Среднее .	—	20,9	—	28,9	—	29,6	—	24,9
Фосфорнокислые соли прокаленные	1-й сосуд .	874	19,7	876	29,4	900	26,1	904	24,6
	2-й » .	875	22,0	877	28,4	901	27,0	905	26,7
	Среднее .	—	20,9	—	28,9	—	26,5	—	25,7

Таблица 2

Алюминия и железа льном в песчаных культурах

Удобрение

+1,2 г фосфорной кислоты в								+2,4 г фосфорной кислоты в					
FePO ₄		Ca ₃ (PO ₄) ₂		AlPO ₄		FePO ₄		Ca ₃ (PO ₄) ₂		AlPO ₄		FePO ₄	
мл на сосуд)													
№ со- суда		№ со- суда		№ со- суда		№ со- суда		№ со- суда		№ со- суда		№ со- суда	
792	28,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
793	25,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	27,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	13,3	802	15,0	804	28,9	806	24,8	—	—	—	—	—	—
801	15,6	803	16,1	805	29,0	807	23,7	—	—	—	—	—	—
—	14,4	—	15,6	—	29,0	—	24,3	—	—	—	—	—	—
814	3,8	818	9,7	822	21,1	825	4,2	828	16,3	830	30,9	832	11,7
815	2,6	819	9,2	823	22,3	826	3,4	829	18,4	831	30,2	833	6,3
—	3,2	—	9,5	—	21,7	—	3,7	—	17,4	—	30,6	—	9,0

прибавлено 1,5 $CaCO_3$ на сосуд

842	24,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
843	27,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	25,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
848	8,4	850	1,2	852	29,2	854	11,1	—	—	—	—	—	—
849	7,5	851	1,6	853	27,0	855	12,4	—	—	—	—	—	—
—	8,0	—	1,4	—	28,1	—	11,7	—	—	—	—	—	—
860	5,6	862	2,7	864	22,0	866	5,7	868	3,4	—	—	—	—
861	2,6	863	3,3	865	24,2	867	3,1	869	3,0	—	—	—	—
—	4,1	—	3,0	—	23,1	—	4,4	—	3,2	—	—	—	—

в горфом

884	20,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
885	22,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	21,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
892	24,7	894	32,7	896	22,4	898	27,5	—	—	—	—	—	—
893	26,4	895	31,3	897	21,2	899	28,9	—	—	—	—	—	—
—	25,6	—	32,0	—	21,8	—	28,2	—	—	—	—	—	—
906	11,2	910	30,5	914	24,7	916	15,1	920	34,0	922	26,1	924	24,0
907	12,7	911	30,4	915	24,0	917	14,7	921	35,9	923	24,0	—	—
—	12,0	—	30,5	—	24,4	—	14,9	—	35,0	—	25,0	—	24,0

поставлены сосуды с распределением фосфорнокислого удобрения не во всей массе песка, а в слое толщиной в 3 см на глубине 5 см от поверхности песка в сосуде; такие сосуды наполнялись следующим образом: сначала весь песок, предназначенный в сосуд, смешивался с основным удобрением (и как всегда с определенным количеством воды для придания песку известной связности); затем из смеси отweighивалось количество, соответствующее по объему части сосуда до слоя с фосфорнокислой солью, и помещалось в сосуд; после этого отweighивали 1 кг песка—количество, соответствующее слою песка в сосуде толщиной 3 см, смешивали его с фосфорнокислой солью и помещали в сосуд; наконец, помещали в сосуд оставшийся песок.

Из фосфорнокислых солей в этих опытах испытывались фосфорнокислый кальций, фосфорнокислый алюминий и фосфорнокислое железо, все три в трех видах: свежесажженном, просушенном и прокаленном. Готовились эти соли следующим образом.

Свежесажженные. За три дня до наполнения сосудов в колбы наливалась свободная ортофосфорная кислота (раствор, содержащий 1 г P_2O_5 на 100 куб. см) в количестве нужном для каждого сосуда и сюда же прибавлялся или $CaCO_3$, или гидрат окиси алюминия, или же гидрат окиси железа (оба свежеприготовленные) в таких количествах, чтобы оснований было в три раза больше, чем нужно для образования $Ca_3(PO_4)_2$, $AlPO_4$ и $FePO_4$; приготовленные таким образом смеси в течение трех дней часто взбалтывались, а затем вносились в песок соответствующих сосудов.

Просушенные. Трехкальциевый фосфат готовился прибавлением к раствору $CaCl_2$ раствора Na_2HPO_4 в избытке; осадок промывался сначала декантацией, а после на фильтре. Состав соли почти вполне соответствовал составу $Ca_3(PO_4)_2$ (после прокаливания она содержала 44,6% P_2O_5 вместо теоретических 45,4). После промывания соль просушивалась 48 часов при 100° .

Фосфорнокислый алюминий готовился прибавлением к раствору $Al_2(SO_4)_3$ избытка Na_2HPO_4 и аммиака в количестве приблизительно 1 молекула на молекулу $Al_2(SO_4)_3$; в дальнейшем с ним поступали так же, как и с $Ca_3(PO_4)_2$. Полученная соль содержала после прокаливания 57,8% P_2O_5 вместо теоретических 58,2.

Фосфорнокислое железо. Из хлорного железа и уксусонатриевой соли готовилась уксусная соль окиси железа; затем прибавлением Na_2HPO_4 получали $FePO_4$, с которым поступали далее по предыдущему. Полученное таким образом фосфорнокислое железо содержало меньше фосфорной кислоты, чем то следовало по формуле $FePO_4$ (42,8% P_2O_5 вместо 47,0%).

Прокаленные. Те же просушенные соли прокаливались на голом огне в течение трех часов.

С приготовленными таким образом солями были поставлены с двумя растениями (горчицей и льном) три серии опытов; в одной к песку, кроме основного удобрения и соответствующей фосфорнокислой соли, ничего не прибавлялось; во второй серии всюду вносилось под горчицу 3 г, а под лен 1,5 г углекислого кальция на сосуд; в третьей серии песок смешивался со 100 г сухого торфа. Дальнейшие детали опытов видны из прилагаемых таблиц. Растения были высеяны 25 июня. При наполнении сосудов основное удобрение было дано не все, а в половинном количестве, другая часть (те же количества и те же соли, что указаны выше) была внесена в сосуды вместе с поливкой в середине июля. Относительно развития расте-

ний необходимо сказать следующее. До цветения и горчица и лен в общем развивались нормально; горчица в тех сосудах, в которых фосфорная кислота была ей достаточно доступна, развивалась роскошно; лен в этих случаях рос удовлетворительно, но в сосудах, получивших углекислый кальций, развитие его было менее удовлетворительно, нежели в соответствующих сосудах без мела. Горчица цвела очень обильно, но многие цветы не завязывались и сохли; поэтому горчица, как видно из приводимых ниже данных, дала сравнительно с листьями и стеблями мало зерна. Лен же к началу образования бутонов стал сильно страдать во всех сосудах: в одних больше, в других меньше; страдание это выражалось в засыхании верхушек растений; вследствие этого лен был срезан в незрелом состоянии. Причина отмеченных страданий горчицы и льна, как выясняется из незаконченных еще исследований лаборатории, заключается в том, что дававшееся основное удобрение, являясь вполне подходящим в песчаных культурах некоторым растениям (например, овсу), вредно для горчицы и льна, по всей вероятности, вследствие возникающей во время вегетации неподходящей этим растениям реакции почвенного раствора. Откладывая более детальное рассмотрение этого интересного вопроса до опубликования результатов специально поставленных опытов, укажем только, что в дальнейшем изложении при выводах из полученных в рассматриваемом здесь опыте данных нам придется считаться с указанным ненормальным развитием растений.

Весь цифровой полученный в этом опыте материал сведен в таблицах 1, 2, 3 и 4; на рисунках 1, 2 и 3 видно развитие горчицы на $0,3 \text{ г } P_2O_5$ различных фосфорнокислых солей на чистом песке, на песке, смешанном с мелом, и на песке, смешанном с торфом.

Обращаясь к исследованию полученных результатов, мы рассмотрим сначала сосуды, в которых фосфорнокислые соли смешивались равномерно со всем песком сосуда (таблица 1 и 2), и прежде всего остановимся на горчице.

а) ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ ФОСФАТОВ

ПРИ РАВНОМЕРНОМ СМЕШЕНИИ ИХ СО ВСЕМ ПЕСКОМ СОСУДА

1. **Г о р ч и ц а.** Из свежесажженных фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа горчица, судя по урожаю, использовала фосфорную кислоту почти одинаково и почти так же, как и из фосфорнокислого натрия:

Урожай надземных частей горчицы (в граммах на сосуд по).

Na_2HPO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
30,9	34,1	31,6	31,7

Те колебания в величине урожая, какие здесь наблюдаются, слишком невелики по сравнению с колебаниями в параллельных сосудах, чтобы на основании их делать какие-либо заключения; быть может, только величина урожая по фосфорнокислому натрию, наименьшая из остальных, может служить указанием на худшие условия роста в присутствии этой соли, нежели в присутствии остальных, что весьма вероятно, так как в этом случае концентрация почвенного раствора была выше, чем в остальных, а, кроме того, фосфорнодвунариевая соль в довольно сильной степени щелочна; оба эти условия в песчаных культурах могли подействовать понижающе на урожай горчицы. Таким образом, общие условия роста горчицы в сосудах по фосфорнокислому кальцию, алюминию и железу

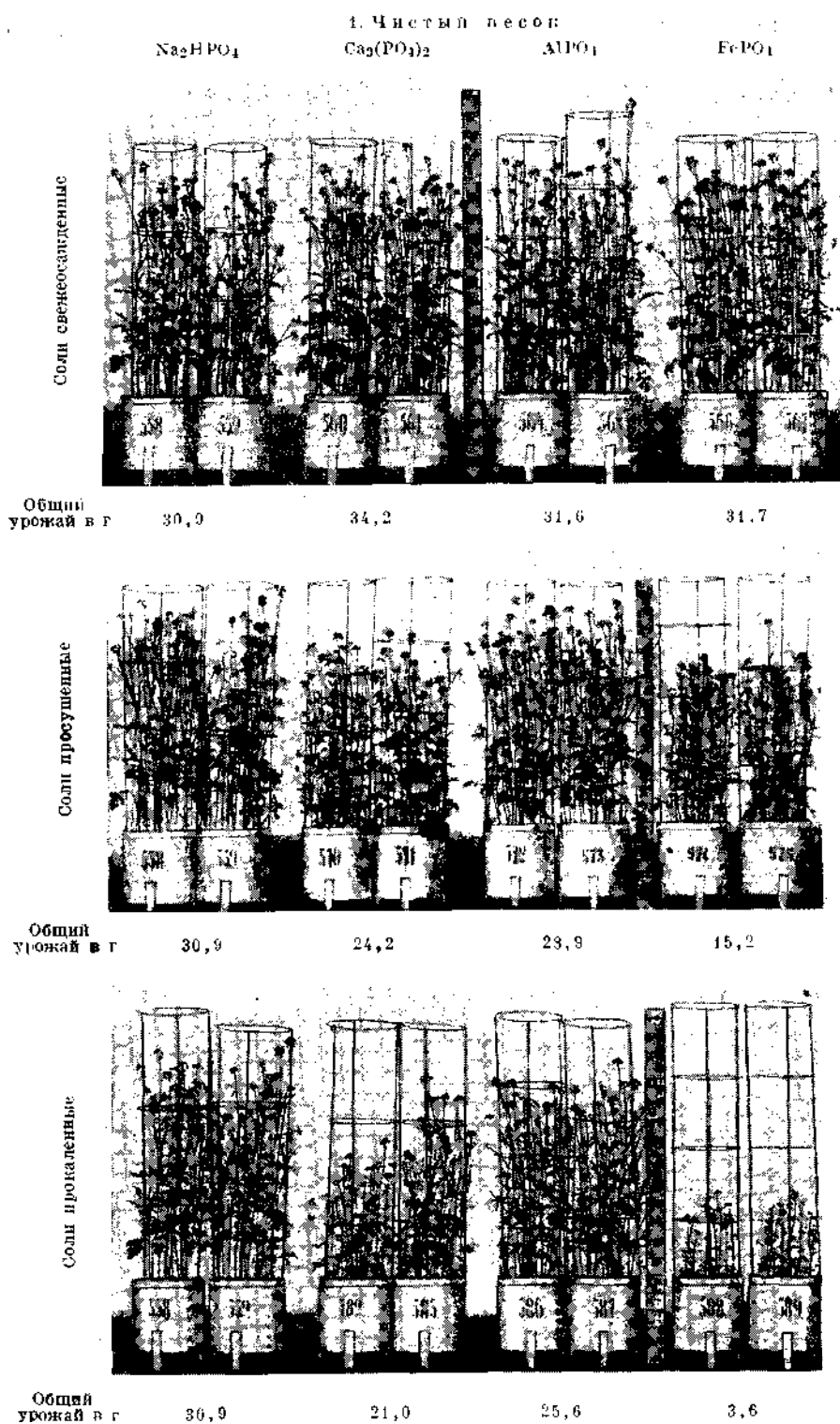


Рис. 1. Гордица по фосфорнокислому кальцию, алюминию и железу в песчаных культурах.

были никак не хуже, чем по фосфорнокислому натрию, а весьма вероятно, что и лучше, поэтому высокий урожай горчицы по этим солям, быть может, надо отнести не всецело на доступность фосфорной кислоты их, но во всяком случае результаты позволяют сказать, что фосфорная кислота всех трех исследованных фосфатов в свежесажженном их состоянии очень легко доступна горчице: очевидно, несмотря на присутствие довольно большого избытка оснований (см. приготовление этих солей), соли эти в свежесажженном состоянии в такой степени гидролизуются (сами по себе и вследствие выделяемой горчицей углекислоты), что вполне или почти вполне удовлетворяют потребность горчицы в растворенной фосфорной кислоте. Если мы обратим внимание на отношение зерна к соломе в рассматриваемых здесь сосудах, то заметим, что по фосфорнокислому железу оно наименьшее, у остальных же почти равное между собою; таким образом, отмеченное выше засыхание цветов слабее всего проявилось в присутствии фосфорнокислого железа.

Просушивание и особенно прокаливание фосфорнокислых солей понизило получаемый на них урожай горчицы; если принять за 100 надземный урожай горчицы по 0,3 г P_2O_5 в свежесажженных фосфорнокислых солях, то урожай на просушенных и прокаленных солях выразится следующим образом.

Состояние фосфатов	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
0,3 г P_2O_5 на сосуд			
Свежесажженные	34,2 г 100	31,6 г 100	31,7 г 100
Просушенные	24,4 » 72	28,9 » 91	15,2 » 50
Прокаленные	21,0 » 58	25,9 » 82	3,6 » 11
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Просушенные	33,6 г 98	30,5 г 97	25,2 г 81
Прокаленные	31,0 » 90	29,4 » 93	5,1 » 16
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Прокаленные	32,8 г 97	31,5 г 100	11,9 г 38

Таким образом, просушивание и особенно прокаливание фосфорнокислого кальция, алюминия и железа понижает доступность их фосфорной кислоты горчице; меньше всего высокая температура повлияла на фосфорнокислый алюминий, затем на фосфорнокислый кальций: двойное количество этих солей в просушенном состоянии и четверное в прокаленном дали уже такой же урожай горчицы, как и ординарное количество их в свежесажженном состоянии; сильнее всего понижалась под влиянием высокой температуры усвояемость фосфорнокислого железа: при том же количестве фосфорной кислоты просушенное фосфорнокислое железо дало всего половину, а прокаленное десятую часть того урожая, какой получался на свежесажженной соли; двойное количество просушенной соли дало урожай, составляющий всего 81% от урожая по ординарному количеству свежесажженной соли, а четверное количество прокаленной — всего 38%.

Для освещения вопроса о доступности фосфорнокислых солей растениям нам надо остановиться на вопросе о действии на них воды; вода

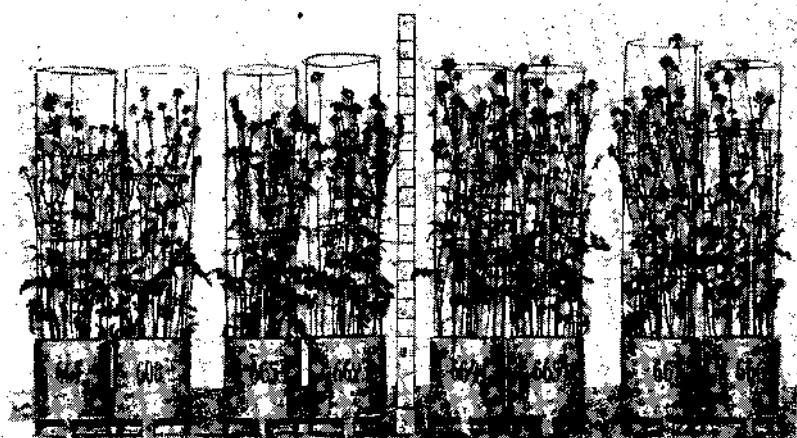
Na_2HPO_4

2. Песок + 3 г CaCO_3
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

AlPO_4

FePO_4

Соли свенесанденные



Общий
урожай в г

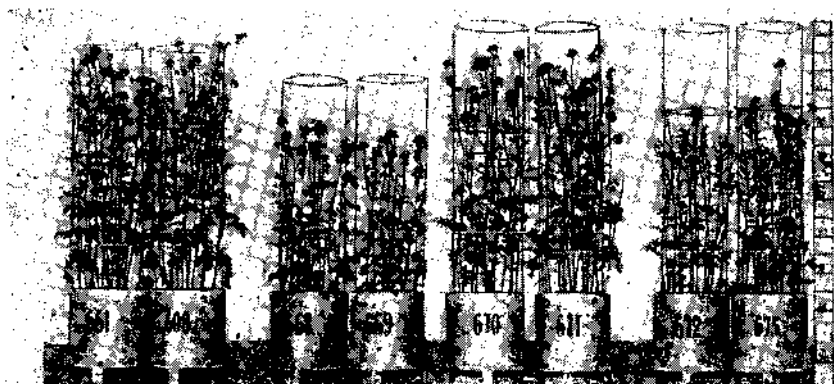
34,7

34,8

35,6

36,8

Соли просушенные



Общий
урожай в г

34,7

18,4

33,4

21,0

Соли промывные



Общий
урожай в г

34,7

13,2

33,5

4,6

Рис. 2. Горчица по фосфорнокислому кальцию, алюминию и железу
в песчаных культурах.

3. Песок + торф

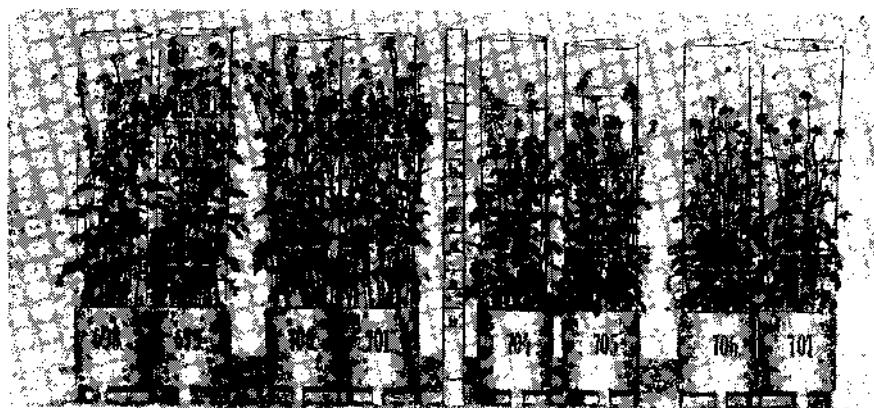
Na_2HPO_4

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

AlPO_4

FePO_4

Соли свежесаждаемые



Общий
урожай в г

32,2

38,4

29,6

29,3

Соли просушенные



Общий
урожай в г

32,2

36,3

29,3

29,4

Соли прокаливаемые



Общий
урожай в г

32,2

32,7

29,5

10,8

Рис. 3. Горчица по фосфорнокислому кальцию, алюминию и железу в песчаных культурах.

собственно не растворяет эти соли, а разлагает их, так как концентрация фосфорной кислоты в получаемом растворе зависит от отношения между количеством взятого фосфата и количеством воздействующей на него воды и вместе с этим отношением изменяется в растворе отношение между количеством основания и кислоты; раствор оказывается более богатым кислотой и менее богатым основанием, нежели остающийся нерастворенный фосфат; трехкальциевый фосфат, фосфорнокислый алюминий и фосфорнокислое железо, как соли слабой кислоты, а последние два, кроме того, и как соли слабых оснований, подвергаются гидролитическому действию воды, в результате чего мы и получаем то или другое количество фосфорной кислоты в растворе. Это количество будет находиться в зависимости от отношения между количествами фосфата и воды, от температуры, при которой происходит растворение, от продолжительности воздействия воды на фосфат и от способа, которым получен фосфат. Последнее обстоятельство имеет для нас существенное значение; если фосфаты при совершенно одном и том же отношении между фосфорной кислотой и основанием подвергались воздействию различной температуры, то уже вследствие возможности образования различных при этом гидратов растворимость их будет неодинакова; но в данном случае зависимость от способа приготовления, по всей вероятности, еще большая: есть основания предполагать, что фосфорнотрехкальциевая соль, фосфорнокислый алюминий и фосфорнокислое железо не суть определенные химические соединения, а твердые растворы; а в таком случае температура высушивания фосфата должна существенно влиять на количество переходящей в воду фосфорной кислоты.

Для того чтобы иметь представление о количествах фосфорной кислоты, переходящих в раствор из вышеназванных фосфатов при воздействии на них чистой воды, и сравнить в этом отношении эти три фосфата, мы приведем здесь наиболее подходящие по своей сравнимости данные, полученные в последнее время в почвенном бюро Соединенных Штатов Америки¹.

Действие воды на трехкальциевый фосфат²
(время воздействия воды 35 дней, температура 25°C)

Взято граммов $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ на литр воды	Перешло в раствор на литр		
	PO_4		Ca
	в г	в процентах от всей фосфорной кислоты	в г
5	0,109	4,04	0,014
10	0,189	3,50	0,019
20	0,324	3,00	0,030
40	0,558	2,58	0,050

¹ Относительно приводимых ниже данных С. А. почвенного бюро необходимо заметить, что в описании результатов не указано вовсе способа сушки полученных осадков фосфорнокислых кальция, алюминия и железа и времени поступления приготовленных солей в исследование.

² Cameron и Seidell. The action of water upon the phosphates of calcium. «Journ. Amer. Chem. Soc.», 1904, стр. 1457. Исследовавшийся препарат содержал 87,22% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 2,83% H_3PO_4 и 9,98% H_2O .

Действие воды на фосфорнокислый алюминий¹
(время воздействия 48 дней, температура 25°C)

Взято граммов $AlPO_4$ на литр воды	Перешло в раствор на литр		
	PO_4		Al
	в г	в процентах от всей фосфорной кислоты	в г
4	0,0968	3,15	0,0079
10	0,2110	2,75	0,0157
20	0,3886	2,51	0,0359

Действие воды на фосфорнокислое железо²
(время воздействия 43 дня, температура 25°C)

Взято граммов $FePO_4$ на литр воды	Перешло в раствор PO_4	
	в граммах на литр	в процентах от всей фосфорной кислоты
5,0	0,080	2,90
7,1	0,099	2,28
11,8	0,136	1,88
40,0	0,302	1,23

Цифры показывают, что чистая вода больше всего извлекает фосфорной кислоты из фосфорнотрехкальциевой соли, меньше из фосфорнокислого алюминия и еще меньше из фосфорнокислого железа. Если сравнить теперь растворимость фосфорной кислоты этих солей с полученной нами ее усвояемостью для горчицы, то мы увидим, что и фосфорнокислое железо в обоих случаях занимает последнее место и таким образом относительноная усвояемость фосфорной кислоты этой соли соответствует в общем ее растворимости (при этом сравнении мы исключаем наши свежеосажденные фосфаты, так как присутствие в них большого количества оснований (см. способ приготовления их) не позволяет сравнивать их с фосфатами американского почвенного бюро); мы говорим «в общем», так как приводимая растворимость все-таки значительно превышает ту, которую можно было ожидать на основании полученной нами усвояемости; но здесь надо иметь в виду неполную сравнимость тех и других результатов вследствие, между прочим, различного способа приготовления (главным образом сушки) и неодинакового состава: наше фосфорнокислое железо содержало избыток основания, а почвенного бюро — избыток кислоты. Наименьшее согласие между растворимостью и усвояемостью оказывается у фосфорнокислого алюминия: растворимость его фосфорной кислоты, если сравнивать с ее растворимостью в фосфорнокислом кальции и фосфорнокислом железе, оказывается значительно меньшая, чем

¹ Cameron и Hurst. The action of water and saline solutions upon certain slightly soluble phosphates. «Journ. Amer. Chem. Soc.», 1904, стр. 899. Исследованный препарат содержал 77,42% PO_4 и 21,49% Al вместо 77,80% PO_4 и 22,20% Al по формуле $AlPO_4$.

² Там же, стр. 892. Исследованный препарат содержал 73,31% $FePO_4$ и, кроме того, 5,15% PO_4 .

того можно было ожидать по сравнительной усвояемости фосфорной кислоты этих трех фосфатов; особенно резко это видно при сравнении фосфорнокислого алюминия с трехкальциевым фосфатом: усвояемость фосфорной кислоты первого лишь немного ниже усвояемости последнего, между тем растворимость ее у фосфорнотрехкальциевой соли заметно выше, нежели у AlPO_4 ; разница эта будет еще больше, когда мы примем во внимание воздействие на эти фосфаты углекислоты, выделявшейся корнями горчицы. К этому вопросу мы сейчас и перейдем.

В отношении роли растений в растворении почвенных соединений и, в частности, фосфорнокислых в настоящее время могут считаться несомненными два положения; а именно, что роль эта может иметь существенное значение, неодинаковое у разных растений, и что она в значительной степени обуславливается выделяемой корнями углекислотой. Количество этой углекислоты может быть очень значительно; так, в опытах нашей лаборатории корни семи экземпляров горчицы за 75 дней выделили 22,4 г CO_2 ¹, а так как при 23° С вода, насыщенная углекислотой (при давлении 1 атмосферы), содержит ее 1,578 г на литр, то очевидно, что при сильном развитии растений почвенный раствор в области корней может быть почти насыщен углекислотой. Измерения содержания углекислоты в почве поля также показывают, что под растениями оно значительно выше, чем в почве, не занятой растениями². Выделяемая растениями углекислота сильно повышает растворимость большинства почвенных соединений, как состоящих из сравнительно сильных оснований и слабых кислот, и несколько понижает растворимость тех соединений, у которых и кислота и основание слабы; нам приходилось уже подробно останавливаться на этом вопросе в статьях «Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений»³ и «К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора...»⁴; в первой из этих статей на основании теории электролитической диссоциации и гидролиза мы дали объяснение влияния углекислоты на растворимость, на основании которого и пришли к тому выводу, что на соли слабых кислот и слабых оснований действие углекислоты иное, нежели на соли сильных оснований и слабых кислот; влияние углекислоты на количества переходящей в раствор фосфорной кислоты из трехкальциевого фосфата, с одной стороны, и фосфатов железа и алюминия, с другой стороны, будет не одинаково. Присутствие углекислоты в воде сильно повышает количество растворяющейся фосфорной кислоты из $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; так, например, по данным Шлезинга⁵ при обработке 1 г $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в течение суток 1,250 куб. см воды (16—20° С) переходило в раствор:

вода чистая	0,74 мг P_2O_5
вода, насыщенная CO_2	91,90 » P_2O_5
вода, на $\frac{1}{5}$ насыщенная CO_2	48,50 » P_2O_5
вода, на $\frac{1}{25}$ насыщенная CO_2	6,90 » P_2O_5

¹ П. Коссович. Количественное определение углекислоты, выделяемое корнями во время их развития. «Журнал опытной агрономии», 1904, стр. 482.

² Erich Lan. Landw. An. des mecklenburgischen patr. Vereins, N. 49; no «Biederm. Zntbl.», 1908, реф. в «Журн. оп. агр.», 1908, стр. 634.

³ «Журн. оп. агр.», 1905, стр. 686.

⁴ «Журн. оп. агр.», 1906, стр. 521.

⁵ T. Schloesing. Sur les relations des dissolutions contenues dans les sols avec les phosphates employés comme engrais. An. sc. Agr., т. 1, 1901, стр. 415; а также Compt. rendu, т. 131, стр. 149; реф. в «Журн. оп. агр.», 1901, стр. 52.

Таким образом, уже при содержании в литре воды 0,074 г CO_2 (при 18° литр воды, насыщенной CO_2 , содержит 1,843 г CO_2) из фосфорнокислого кальция извлекается в десять раз больше P_2O_5 , нежели при обработке чистой водой.

Присутствие в воде углекислоты не повышает, а даже, наоборот, несколько понижает количество фосфорной кислоты, переходящей в раствор из фосфорнокислого алюминия и железа; в подтверждение этого мы можем привести данные, полученные Lachowicz'em¹ для фосфорнокислого железа, содержащего 48,14% P_2O_5 (0,5864 г фосфата обрабатывались 24 часа литром воды):

	I	II
чистая вода извлекала	6,6 мг P_2O_5	5,4 мг P_2O_5
вода, насыщенная CO_2 , извлекала	6,2 » P_2O_5	5,1 » P_2O_5

Если мы примем во внимание такое различное отношение фосфорнокислого кальция, с одной стороны, и фосфорнокислого алюминия и железа, с другой стороны, к выделяемой корнями горчицы углекислоте, то отмеченное выше несогласие между сравнительной растворимостью этих фосфатов в чистой воде и их усвояемостью горчицей будет еще значительнее: раз из трехкальциевого фосфата уже при действии на него чистой воды больше переходит в раствор фосфорной кислоты, нежели из фосфорнокислого алюминия, то вследствие еще сильного растворяющего действия на первый углекислоты нужно было ожидать, что он будет значительно более чем $AlPO_4$ доступен горчице; на самом же деле, как мы видели, доступность горчице фосфорной кислоты этих двух фосфатов, если судить о ней по величине урожаев, почти одинакова. Причины такого несогласия, во-первых, могли заключаться в тех побочных условиях, какие при этих исследованиях не были исключены: неполная сравнимость результатов исследования растворимости и усвояемости, неодинаковое влияние на растворимость испытанных фосфатов данного горчице основного удобрения², побочные и неодинаковые между собой влияния на общие условия роста горчицы трехкальциевого фосфата, фосфорнокислого алюминия и фосфорнокислого железа; в последнем отношении могло сыграть известную роль различное влияние этих трех фосфатов на реакцию почвенного раствора. Но кроме всех этих побочных влияний, являющихся результатом самой методики исследования, быть может в рассматриваемом здесь несопадении между растворимостью в чистой воде и в воде, содержащей углекислоту, и усвояемостью наших трех фосфатов принимало участие и другое обстоятельство, а именно: быть может, корни горчицы, кроме углекислоты, выделяют какие-либо другие выделения, могущие сильнее повысить переход в раствор фосфорной кислоты из фосфорнокислого алюминия, нежели из фосфорнокислого кальция.

Перейдем теперь к рассмотрению влияния в песчаных культурах углекислого кальция на усвояемость горчицей фосфорной кислоты фосфорнокислых солей. Прежде всего отметим, что углекислый кальций повлиять отчасти на горчицу и при фосфорнокислом натрии: в присутствии его

¹ Monatsh. Chem., 13 (1892), стр. 357; цитирую по Cameron'у и Bell'ю. The action of water and aqueous upon soil phosphates. Bull. № 41, Bureau of Soils, стр. 49.

² Cameron и Bell на основании имеющихся данных по влиянию различных солей на растворимость фосфатов приходят к тому заключению, что нейтральные соли (но не кальциевые) в общем повышают количества фосфорной кислоты, переходящей из трехкальциевого фосфата, и почти не влияют в этом отношении на фосфорнокислый алюминий и железо. Bull. № 41, Bureau of Soils, стр. 57.

урожай несколько повысился (с 30,9 до 34,7 г); быть может, повышение это находится в пределах ошибки, но во всяком случае можно с большой вероятностью говорить, что углекислый кальций в комбинации с нашим основным удобрением не ухудшал роста горчицы, а скорее влиял на него благоприятно.

Таблица 1 показывает, что в присутствии трехкальциевого фосфата влияние CaCO_3 на урожай горчицы выразилось следующим образом.

Урожай горчицы по фосфорнокислому кальцию

	Свежеосажден- ному	Просушенному	Прокаленному
0,3 г P_2O_5 на сосуд			
Без CaCO_3	34,2 г 100	24,4 г 100	20,0 г 100
С CaCO_3	34,8 » 100	18,4 » 75	13,2 » 66
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без CaCO_3		33,6 г 100	31,0 г 100
С CaCO_3		28,2 » 84	21,5 » 70
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без CaCO_3			32,5 г 100
С CaCO_3			29,0 » 89

Таблица показывает, что углекислый кальций не повлиял на урожай горчицы на свежеосажденном фосфорнокислом кальции, понизил его во всех остальных случаях и сильнее на прокаленном фосфате, нежели на просушенном; с повышением количества фосфата на сосуд понижающее действие углекислого кальция ослабевало. Так как углекислый кальций, как мы указывали выше, не понижал урожая при фосфорнокислом натрии и так как на фосфорнокислом кальции он даже несколько повышал урожай зерна, т. е. уменьшал то страдание горчицы в наших опытах, которое выражалось в засыхании цветков, то, очевидно, понижающее действие CaCO_3 нужно отнести за счет понижения в его присутствии доступности горчице фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата. Последнее же является следствием влияния углекислого кальция на переход в раствор фосфорной кислоты из трехкальциевого фосфата; в этом отношении влияние углекислого кальция на фосфорнокислые соли как раз обратное влиянию углекислоты (подробнее см. в нашей статье «Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы...» «Журн. оп. агр.», 1905, стр. 690); углекислый кальций не только понижает растворимость трехкальциевого фосфата, но и парализует растворяющее действие углекислоты; для иллюстрации мы приведем данные из цитированной уже статьи Шлезинга¹:

Чистая вода извлекала	0,74 мг P_2O_5
Вода + 370 мг CO_2 на литр извлекала	48,50 » P_2O_5
» + 82 » CO_2 » 179 мг CaCO_3 на литр извлекала	0,38 » P_2O_5
» + 174 » CO_2 » 290 » CaCO_3 » » »	1,10 » P_2O_5
» + 270 » CO_2 » 389 » CaCO_3 » » »	0,80 » P_2O_5
» + 415 » CO_2 » 488 » CaCO_3 » » »	1,77 » P_2O_5
» + 541 » CO_2 » 558 » CaCO_3 » » »	1,30 » P_2O_5

¹ Compt. rend., т. 131, 1900, стр. 151. 1 г $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ обрабатывался при 16—20° С один день 1 250 куб. см воды.

Как мы видели, понижающее влияние $CaCO_3$ обнаружилось только на просушенном и прокаленном трехкальциевом фосфате, на свежесаж-денном же он совершенно не проявил подобного действия; объяснения этому надо прежде всего искать в способе приготовления фосфата; он уже сам по себе содержал большой избыток кальция, и прибавление новых количеств этого элемента не могло уже так резко сказаться на переходе в раствор фосфорной кислоты; кроме того, фосфорная кислота этого фосфата, судя по урожаем, была очень доступна горчице и небольшое понижение растворимости могло и не отразиться на росте.

Подобно тому как углекислота не только не повышает растворимость фосфорной кислоты фосфатов алюминия и железа, а даже может несколько понизить ее, так и углекислый кальций не только не понижает раствори-мость фосфорной кислоты этих фосфатов, но может несколько ее повысить; наши опыты на песке действительно подтверждают это; таблица 1 показы-вает, что присутствие углекислого кальция следующим образом дейст-вовало на урожай горчицы по фосфорнокислому алюминию и фосфорно-кислому железу.

Урожай горчицы по фосфорнокислому алюминию

	Свежесажден- ному	Просушенному	Прокаленному
0,3 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$	31,6 г 100	28,9 г 100	25,9 г 100
С $CaCO_3$	35,6 » 112	33,4 » 117	33,5 » 133
0,5 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$		30,5 г 100	29,4 г 100
С $CaCO_3$		37,4 » 122	36,5 » 124

Урожай горчицы по фосфорнокислому железу

	Свежесажден- ному	Просушенному	Прокаленному
0,3 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$	31,7 г 100	15,2 г 100	3,6 г 100
С $CaCO_3$	36,8 » 116	21,0 » 139	4,6 » 128
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$		25,7 г 100	5,1 г 100
С $CaCO_3$		27,8 » 108	5,1 » 100

Таким образом, известкование всюду, кроме опыта с прокаленным фосфорнокислым железом, повысило урожай, а в некоторых случаях даже значительно. Ввиду сложности и почти полной неизвестности тех реак-ций, какие должны были совершаться в почвенных растворах наших сосудов, особенно во время вегетации, а также ввиду неизученности отно-шения горчицы к различным ионам (главным образом к OH' и H'), невоз-можно определенно сказать, какую часть полученного увеличения уро-жая надо отнести на повышение растворимости фосфорной кислоты фос-фатов железа и алюминия, а какую на другие побочные благоприятные влияния углекислого кальция; во всяком случае опыт ясно показывает.

что повышение усвояемости фосфорной кислоты имело место: из вышеприведенной таблицы видно, что при углекислом кальции урожай горчицы по свежесажённому AlPO_4 поднялся на 12, по просушенному на 17, а по прокаленному на 33%, по просушенному же фосфорнокислому железу повышение было меньше, нежели по прокаленному (при 0,3 г P_2O_5); если бы причина повышения заключалась только в улучшении общих условий роста, то на обоих этих фосфатах ввиду большой аналогии их химических свойств действие мела проявилось бы однообразнее и во всяком случае оно было бы слабее на прокаленном фосфате, нежели на непрокаленном.

Кроме влияния углекислого кальция на урожай горчицы по различным фосфатам, в излагаемых опытах изучалось влияние органических веществ, внесенных в сосуды в виде торфа. Как показывает таблица 1, прибавление торфа почти всюду повысило общий урожай горчицы; в тех нескольких случаях, где этот урожай остался без изменения, там все-таки ясно повышение урожая зерна; последнее имеет место во всех случаях по всем четырем фосфорнокислым солям; таким образом, торф всюду действовал благоприятно; там, где фосфорная кислота была вполне или почти вполне доступна горчице (в сосудах с фосфорнокислым натрием и свежесажёнными фосфатами), такое влияние торфа нужно отнести главным образом на его поглотительную способность: в песчаных культурах вред излишне высокой концентрации питательного раствора, даваемого даже в два приема, как это делалось у нас, вполне ясен; естественно поэтому, что торф, обладающий сравнительно высокой поглотительной способностью должен был улучшить условия роста горчицы: абсорбтивно поглощенные им питательные вещества, не влияя на концентрацию раствора, оставались вместе с тем вполне доступными растениям. При просушенных и прокаленных фосфатах торф, очевидно, кроме того, повышал доступность растениям фосфорной кислоты; особенно резко в этом отношении было его влияние на прокаленное фосфорнокислое железо: при 0,3 г P_2O_5 от присутствия торфа урожай горчицы поднялся с 3,6 до 10,8 г; при 0,6 г P_2O_5 — с 5,1 до 18,4 г и при 1,2 г P_2O_5 — с 11,9 до 22,0 г. Указанное выше отношение фосфорнокислого железа (и фосфорнокислого алюминия) к углекислоте заставляет признать, что при разложении торфа в сосудах образовались органические кислоты, значительно более сильные, нежели углекислота.

Этим мы заканчиваем рассмотрение полученных нами результатов относительно горчицы при равномерном смешении фосфорнокислых солей с песком всего сосуда и обращаемся теперь к опыту со льном.

Ле н. Мы указывали раньше, что лен в этих опытах пришлось срезать в незрелом состоянии вследствие начавшегося сильного его страдания; таким образом, на полученных результатах для этого растения еще больше, нежели на горчице, сказались побочные вредные влияния—следствие несовершенства методики песчаных культур; не имея, с одной стороны, достаточно данных, чтобы разобраться в этих условиях и хоть до некоторой степени учесть их влияние на величину урожая в каждом отдельном случае, а с другой стороны, не имея никаких оснований считать, что эти вредные условия одинаково влияли при различных испытанных нами фосфатах, мы принуждены рассмотреть полученные результаты для льна в самых общих чертах, не касаясь вовсе деталей.

Укажем прежде всего, что по нашим исследованиям лен значительно чувствительнее к слабой щелочности и к слабой кислотности почвенного раствора, нежели горчица, и этим, по нашему мнению, надо объяснить

его страдания в этих опытах на чистом песке и на песке, смешанном с углекислым кальцием; и все, что в этих сериях увеличивало щелочность или кислотность, действовало еще более понижаяще на урожай; только принимая это во внимание, можно объяснить себе некоторые из полученных результатов. В сосудах, в которых песок не получил ни мела, ни торфа, урожай льна (в граммах и принимая урожай по 0,6 г P_2O_5 в Na_2HPO_4 за 100) получились следующие.

Урожай льна на песке без мела и без торфа по различным фосфорнокислым солям

	Na_2HPO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
0,7 г P_2O_5 на сосуд				
Фосфаты свежесаживаемые	26,0 г 100	14,6 г 56	12,2 г 47	27,0 г 104
» просушенные	—	11,0 » 42	29,4 » 113	14,4 » 55
» прокаленные	—	6,5 » 25	17,9 » 69	3,2 » 12
1,2 г P_2O_5 на сосуд				
Фосфаты просушенные		15,6 г 60	29,0 г 112	24,3 г 94
» прокаленные		9,5 » 37	21,7 » 84	3,7 » 14
2,4 г P_2O_5 на сосуд				
Фосфаты прокаленные		17,4 г 67	30,6 г 118	9,3 г 36

В этих результатах прежде всего обращает на себя внимание то, что лен дал по трехкальциевому фосфату (сравнительно с остальными фосфатами) еще меньшие урожаи, нежели горчица; на свежесаживаемом и просушенном они оказались даже ниже, нежели на соответствующих фосфорножелезных солях; далее по свежесаживаемому фосфорнокислому алюминию урожай льна получился еще ниже, чем по фосфорнокислому кальцию, и значительно ниже, нежели по фосфорнокислому железу. Здесь, без сомнения, большую роль сыграло вышеуказанное отрицательное отношение льна к щелочной и кислой реакции: наш основной раствор был благодаря присутствию $Ca(NO_3)_2$ слабощелочным; возможно, что он сам по себе был уже вреден льну: прибавление к такому раствору свежесаживаемого фосфорнокислого кальция с большим избытком гидрата окиси кальция должно было значительно усилить эту щелочность; остальные два фосфата, наоборот, благодаря очень слабым основным свойствам своих металлов, несмотря на избыток их сравнительно с кислотой, имели ясно кислый характер, причем у фосфорнокислого алюминия кислотность эта была выражена значительно сильнее благодаря сильной его гидролитической диссоциации, нежели у фосфорнокислого железа и, очевидно, кислотность эта была уже настолько сильна, что вредила льну; что такое объяснение во всяком случае правдоподобно, подтверждается, как мы увидим ниже, действием углекислого кальция и торфа.

Таким образом, свежесаживаемые фосфорнокислый кальций и несколько слабее его фосфорнокислый алюминий создавали неблагоприятную для льна реакцию почвенного раствора, тогда как фосфорнокислое железо, наоборот, более благоприятную; поэтому величина полученных нами урожаев льна не указывает на степень доступности фосфорной кислоты фосфатов и этим надо объяснить полное несоответствие полученных

результатов со степенью растворимости фосфорной кислоты этих солей. В случае просушенных и прокаленных фосфатов величина урожая льна должна была уже в большей мере обуславливаться доступностью фосфорной кислоты, так как, во-первых, избыток оснований здесь отсутствовал, а во-вторых, просушивание и прокаливание уменьшало способность солей к реакциям; поэтому полученные результаты, несмотря на всю их условность, позволяют сделать определенное заключение, что высокая температура действует на доступность льну фосфорной кислоты трех исследованных нами фосфатов совершенно так же, как и на доступность ее горчице; чем выше температура, при которой обрабатывался фосфат, тем меньше доступность его фосфорной кислоты; кажущееся исключение для льна представляет фосфорнокислый алюминий: в свежесосажденном состоянии он дал меньший урожай, чем в просушенном, и такой же, как в прокаленном состоянии; но оно легко объясняется, с одной стороны, вредным побочным влиянием свежесосажденного фосфата алюминия, а с другой стороны, более слабым действием температуры на усвояемость его фосфорной кислоты по сравнению с действием ее на фосфаты кальция и железа.

Углекислый кальций, как видно из нижеследующих данных, сильно понизил урожай льна на фосфорнокислом кальции.

Урожай льна по трехкальциевому фосфату

	Свежесосажденному	Просушенному	Прокаленному
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$	14,6 г 100	11,0 г 100	6,5 г 100
С $CaCO_3$	9,6 » 66	1,2 » 11	2,0 » 31
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$		15,6 г 100	9,5 г 100
С $CaCO_3$		1,4 » 9	3,0 » 32
2,4 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$			17,4 г 100
С $CaCO_3$			3,2 » 18

Понижение это значительно больше, чем было у горчицы; если принять во внимание, что углекислый кальций понижал урожай льна и в присутствии фосфорнокислого натрия (по 0,3 г P_2O_5 урожай понизился с 14,7 до 11,4 г, а по 0,6 г P_2O_5 —с 26,0 до 16,3) и что с повышением количества фосфорной кислоты, даваемой в трехкальциевом фосфате, урожай льна при углекислом кальции почти не повышался, то такое действие мела едва ли можно будет отнести всецело за счет понижения им усвояемости фосфорной кислоты, отчасти его надо приписать усилению щелочности почвенного раствора. Но во всяком случае опыт, нам, кажется, говорит за то, что как фосфорная кислота самого трехкальциевого фосфата, так и трехкальциевого фосфата + мел менее доступна льну, нежели горчице.

На урожай льна по фосфорнокислому алюминию углекислый кальций в большинстве случаев действовал благоприятно.

Урожай льна по фосфорнокислому алюминию

	Свежеосаж- денному	Просушенному	Прокаленному
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$	12,2 г 100	29,4 г 100	17,9 г 100
С $CaCO_3$	29,4 » 241	20,8 » 71	21,7 » 121
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$		29,0 г 100	21,7 г 100
С $CaCO_3$		28,1 » 97	23,1 » 106

Особенно сильно, как видно, повысился урожай благодаря мелу на свежееосажденном фосфорнокислом алюминии; здесь, кроме повышения растворимости фосфорной кислоты, главная роль мела заключалась в уничтожении вредной для льна кислотности; повышение урожая в остальных случаях есть результат, по всей вероятности, увеличения доступности фосфорной кислоты. По просушенному же фосфорнокислому алюминию углекислый кальций понизил урожай: при 0,6 г P_2O_5 значительно, а при 1,2 г P_2O_5 лишь слабо.

Причина этого понижения заключается, по нашему мнению, в том, что углекислый кальций влиял на лен двояким образом: усилением щелочности почвенного раствора и усилением растворимости фосфорнокислого алюминия; первое влияние, являясь полезным при свежееосажденном, сравнительно сильноокислом фосфате, при переходе к фосфатам просушенному и прокаленному и потому менее растворимым, становилось уже если не вредным, то во всяком случае менее полезным; второе влияние, наоборот, наиболее благотворно должно было влиять в другом крайнем случае, а именно на наиболее слаборастворимом прокаленном фосфате; при переходе же к просушенному и свежееосажденному фосфатам, значительно уже самим по себе более доступным, это влияние извести падало; таким образом, если изобразить оба влияния $CaCO_3$ на лен по различным фосфатам алюминия каждое в виде линии, ординаты которой выражают величину влияния, то одна из этих линий будет опускаться по направлению от свежееосажденного к прокаленному фосфату, а другая, наоборот, будет опускаться в противоположном направлении; очевидно, фосфат, занимающий среднее место (просушенный), придется по степени полезного влияния, оказываемого на него углекислым кальцием, на пересечении этих двух линий, т. е. будет находиться в рассматриваемом отношении в наиболее неблагоприятном положении.

С подобным же явлением мы встречаемся опять при фосфорнокислом железе

Урожай льна по фосфорнокислому железу

	Свежеосаж- денному	Просушенному	Прокаленному
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$	27,0 г 100	14,4 г 100	3,2 г 100
С $CaCO_3$	25,8 » 95	8,0 » 55	4,1 » 130
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без $CaCO_3$		24,3 г 100	3,7 г 100
С $CaCO_3$		11,7 » 48	4,4 » 120

Здесь углекислый кальций почти не повлиял на урожай по свежесажённому и прокалённому фосфатам, но опять-таки сильно понизил урожай по просушенному.

Органическое вещество, внесенное в песок в виде торфа, в общем повлияло хорошо на рост льна; при объяснении влияния его в отдельных случаях необходимо иметь в виду, что внесением торфа мы изменяем не один какой-нибудь фактор вегетации, а целый ряд их, и что то или другое изменение величины урожая, полученное нами по торфу, есть общий результат влияния всех этих изменений в факторах вегетации; одни из факторов могли благодаря торфу измениться в благоприятную для льна сторону; сюда надо отнести приобретение субстратом, на котором произрастал лен, некоторой поглотительной способности и растворяющего на фосфаты действия; и то и другое, очевидно, должно было действовать благоприятно во всех сосудах нашего опыта, но не в одинаковой степени; иначе должен был повлиять торф на такой существенный фактор вегетации, как реакция почвенного раствора; его присутствие должно было усиливать кислотность и, очевидно, в тех случаях, когда в сосудах не было достаточно свободных оснований, торф должен был вредить растениям и, наоборот, в тех сосудах, где этих оснований было так много, что создавалась уже неблагоприятная для льна щелочная реакция, присутствие торфа должно было отзываться благоприятно на льне; между этими двумя крайними случаями могли быть еще промежуточные. Достаточно принять во внимание указанные три влияния и их возможные комбинации, чтобы предвидеть, что общий результат в виде величины урожая при различных фосфорнокислых солях может быть очень разнообразен.

Урожай льна по трехкальциевому фосфату

	Свежесажённому	Просушенному	Прокалённому
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа	14,6 г 100	11,0 г 100	6,5 г 100
С торфом	30,7 » 210	29,6 » 269	26,5 » 407
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа		15,6 г 100	9,5 г 100
С торфом		32,0 » 205	30,5 » 321
2,4 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа			17,4 г 100
С торфом			35,0 » 201

По фосфорнокислому натрию торф, как видно из таблицы 2, повысил урожай льна и особенно сильно при малом количестве фосфорной кислоты (по 0,3 г P_2O_5 с 14,7 до 20,9 г, а по 0,6 г P_2O_5 всего с 26,0 до 28,9 г); по фосфорнокислому кальцию действие торфа оказалось во всех случаях благоприятно, и, как показывает предыдущая табличка, повышение урожая в некоторых случаях достигает большой величины.

В этих сосудах торф должен был влиять благоприятно усилением и поглотительной способности и доступности фосфата и своей кислотностью; естественно поэтому, что общий эффект во всех случаях получился положительный.

При фосфорнокислом алюминии действие торфа проявилось уже несколько иначе.

Урожай льна по фосфорнокислому алюминию

	Свежеоса- жденному	Просушенному	Прокаленному
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа	12,2 г 100	29,4 г 100	17,9 г 100
С торфом	19,0 » —	24,9 » —	25,7 » —
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа		29,0 г 100	21,7 г 100
С торфом		21,8 » —	24,4 » —
2,4 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа			30,2 г 100
С торфом			25,0 » —

По свежесажденному и прокаленному фосфатам (исключая сосудов с 2,4 г P_2O_5) торф повысил урожай льна, а по просушенному фосфату, наоборот, понизил; таким образом, действие торфа здесь сходно с действием $CaCO_3$ и причина этого явления та же: пересечение линий, изображающих степень двух влияний торфа, а именно усиления кислотности почвенного раствора и доступности фосфорной кислоты, приходится на просушенный фосфат как занимающем среднее место по растворимости его фосфорной кислоты; понижение урожая на прокаленном фосфате при 2,4 г фосфорной кислоты легко объясняется большим количеством доступной фосфорной кислоты и помимо действия торфа; поэтому торф в этом случае, если не считать его поглотительной способности, влиял лишь односторонне, усилением кислотности, реакция почвы здесь являлась фактором, находящимся в минимуме. Слабое повышение под влиянием торфа урожая льна по свежесажденному фосфорнокислому алюминию, несмотря на усилившуюся благодаря этому веществу кислую реакцию, являлось результатом, по всей вероятности, действия торфа как поглощающего вещества.

По просушенному и прокаленному фосфорнокислому железу торф повысил урожай, а по свежесажденному понизил.

Урожай льна по фосфорнокислому железу

	Свежеоса- жденному	Просушенному	Прокаленному
0,6 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа	27,0 г 100	14,4 г 100	3,2 г 100
С торфом	21,5 » 80	25,6 » 178	12,0 » 375
1,2 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа		24,3 г 100	3,7 г 100
С торфом		28,2 » 116	14,9 » 403
2,4 г P_2O_5 на сосуд			
Без торфа			9,0 г 100
С торфом			24,0 » 267

Таблица 3

Влияние способа распределения в сосуде фосфорнокислых солей кальция и железа на усвояемость их фосфорной кислоты горчицей в песчаных культурах

Основное удобрение															
+0,3 г P_2O_5 в $Ca_3(PO_4)_2$				+0,6 г P_2O_5 в $Ca_3(PO_4)_2$				+0,3 г P_2O_5 в $FePO_4$							
смешанного равно-мерно со всем песком		смешанного со слоем песка в 1 вершок		смешанного равно-мерно со всем песком		смешанного со слоем песка в 1 вершок		смешанного равно-мерно со всем песком		смешанного со слоем песка в 1 вершок					
Урожай (в граммах на сосуд)															
Фосфорнокислые соли свежесаживаемые															
№ сосуда	зерно	соломка	всего	№ сосуда	зерно	соломка	всего	№ сосуда	зерно	соломка	всего	№ сосуда	зерно	соломка	всего
1-й сосуд	560	2,6 32,5 35,4	562	4,6 32,0 36,6	—	—	—	—	—	—	—	566	4,0 28,3 32,3	568	3,8 29,7 33,5
2-й »	563	1,7 31,5 33,2	563	3,3 32,4 35,7	—	—	—	—	—	—	—	567	3,4 28,0 31,1	—	—
Среднее	—	2,2 32,0 34,2	—	4,0 32,2 36,2	—	—	—	—	—	—	—	—	3,6 28,1 31,7	—	—
Фосфорнокислые соли прокаленные															
1-й сосуд	782	1,0 13,9 14,9	584	1,2 24,2 25,4	592	1,3 28,6 29,9	594	1,4 28,3 29,4	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	583	1,9 26,1 28,0	585	1,8 23,6 25,4	593	3,4 29,0 32,1	595	1,9 25,9 27,8	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	—	1,9 26,1 28,0	—	1,5 23,9 25,4	—	2,2 28,8 31,0	—	1,5 27,1 28,6	—	—	—	—	—	—	—
Песок смешан с торфом															
Фосфорнокислые соли свежесаживаемые															
1-й сосуд	700	5,2 34,5 39,7	702	3,7 32,6 36,3	—	—	—	—	—	—	—	706	4,7 25,3 30,0	708	4,2 45,6 49,8
2-й »	701	5,0 32,1 37,4	703	3,4 31,5 34,9	—	—	—	—	—	—	—	707	3,6 25,0 28,6	709	3,9 14,8 18,7
Среднее	—	5,1 33,3 38,4	—	3,6 32,0 35,6	—	—	—	—	—	—	—	—	4,2 25,1 29,3	—	4,1 15,2 19,3
Фосфорнокислые соли прокаленные															
1-й сосуд	748	4,7 27,4 32,1	750	2,9 25,6 28,5	758	3,6 32,5 36,1	760	3,9 28,9 32,8	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	749	4,6 28,6 33,2	751	2,9 25,5 28,4	759	3,7 34,5 38,2	761	3,0 26,3 29,3	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	—	4,7 28,0 32,7	—	2,9 25,6 28,5	—	8,7 33,5 37,2	—	3,5 27,6 31,1	—	—	—	—	—	—	—

Фосфорная кислота просушенного и особенно прокаленного фосфорнокислого железа, как видно из величины урожаев без торфа, была мало-доступна льну, поэтому влияние торфа как источника растворяющих веществ должно было быть значительно сильнее отрицательного влияния его как усилителя кислой реакции; поэтому естественно, что в присутствии торфа на этих двух видах фосфорнокислого железа урожай льна поднялся; на свежесажленном же фосфате, фосфорная кислота которого и без торфа была значительно более доступна льну, сильнее должно было сказаться отрицательное действие торфа и урожай в присутствии его несколько понизился.

б) ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ ФОСФАТОВ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ИХ В СЛОЕ ПЕСКА

В этих опытах, как мы указывали в начале статьи, фосфорнокислый кальций и железо смешивались только с частью песка (с 1 кг), который помещался в сосуд слоем толщиной в 3 см на глубине 5 см от поверхности. Опыты велись с теми же растениями, что и вышеописанные, но по сокращенной программе. Полученные результаты собраны в таблицах 3 (горчица) и 4 (лен).

Таблица 4

Влияние способа распределения в сосуде фосфорнокислых солей кальция и железа на усвояемость их фосфорной кислоты льном в песчаных культурах

		Основное удобрение											
		+0,6 г P ₂ O ₅ в Са ₃ (РО ₄) ₂				1,2 г P ₂ O ₅ в Са ₃ (РО ₄) ₂				0,6 г P ₂ O ₅ в FePO ₄			
		смешан- ного рав- номерно со всем песком		смешан- ного со слоем песка в 1 кг		смешан- ного рав- номерно со всем песком		смешан- ного со слоем песка в 1 кг		смешан- ного рав- номерно со всем песком		смешан- ного со слоем песка в 1 кг	
		У р о ж а й (в г р а м м а х н а с о с у д)											
		№ сосуда		№ сосуда		№ сосуда		№ сосуда		№ сосуда		№ сосуда	
Фосфорнокис- лые соли све- жеосажден- ные	1-й сосуд	786	13,2	788	10,8	—	—	—	—	792	28,9	794	27,4
	2-й »	787	15,9	789	8,9	—	—	—	—	793	25,1	589	28,8
	Среднее	—	14,6	—	9,9	—	—	—	—	—	27,0	—	28,2
Фосфорнокис- лые соли прокаленные	1-й сосуд	808	6,8	810	4,2	818	9,7	820	7,9	—	—	—	—
	2-й »	809	6,2	811	3,6	819	9,2	821	5,8	—	—	—	—
	Среднее	—	6,5	—	3,9	—	9,5	—	6,8	—	—	—	—
Песок смешан с торфом													
Фосфорнокис- лые соли све- жеосажден- ные	1-й сосуд	878	30,8	880	25,3	—	—	—	—	884	20,3	886	16,2
	2-й »	879	30,7	881	24,1	—	—	—	—	885	22,7	887	12,4
	Среднее	—	30,7	—	24,7	—	—	—	—	—	21,5	—	14,3
Фосфорнокис- лые соли прокаленные	1-й сосуд	900	26,1	902	14,7	910	32,5	912	27,6	—	—	—	—
	2-й »	901	27,0	903	18,1	911	32,4	913	24,0	—	—	—	—
	Среднее	—	26,5	—	16,4	—	32,5	—	25,8	—	—	—	—

Горчица. Как показывает таблица 3, распределение фосфатов слоем отразилось на общий урожай горчицы по сравнению с распределением их равномерно со всем песком сосуда следующим образом.

Фосфорнокислые соли	0,3 г P_2O_5		0,6 г P_2O_5		0,3 г P_2O_5	
	$Ca_3(PO_4)_2$		$Ca_3(PO_4)_2$		$FePO_4$	
	со всем песком	слоем	со всем песком	слоем	со всем песком	слоем
Песок чистый						
Свежеосажденные	100	106	—	—	100	106
Прокаленные	100	91	101	92	—	—
Песок, смешанный с торфом						
Свежеосажденные	100	93	—	—	100	66
Прокаленные	100	90	100	84	—	—

Как видим, способ распределения фосфатов на чистом песке мало повлиял на величину урожая горчицы; те колебания, какие мы получили в этом случае, трудно принимать во внимание, так как они близки к пределу точности нашего опыта; но колебания, полученные в присутствии торфа, можно определенно отнести на влияние способа распределения: таблица показывает, что в этом случае при всех комбинациях распределение фосфатов слоем отразилось на урожае менее благоприятно, нежели распределение их во всем песке сосуда. При объяснении такого результата необходимо иметь в виду, что в сосудах, где фосфаты распределялись слоем, торф смешивался со всем песком сосуда, так же как и при равномерном распределении фосфатов; поэтому растворяющее действие торфа на фосфаты в этих двух случаях было неодинаково: при распределении слоем оно проявлялось слабее, меньше, нежели при смешении со всем песком; там, где фосфат сам по себе был малодоступен горчице, очевидно, при слоевом распределении урожай горчицы должен был получиться ниже; такой случай мы имеем при прокаленном $Ca_3(PO_4)_2$: на 0,3 г P_2O_5 при смешении фосфата со всем песком без торфа урожай зерна получился 1,9 г, а с торфом 4,7 г, соломы соответственно 26,1 и 28,0 г; таким образом, под влиянием растворяющего действия торфа урожай горчицы, особенно зерна, поднялся довольно заметно и распределение фосфата слоем в присутствии торфа понизило и урожай соломы (с 28,0 до 25,6 г) и урожай зерна (с 4,7 до 2,9 г); то же мы видим и на 0,6 г P_2O_5 фосфорнокислого кальция. Иная причина понижения урожая горчицы при слоевом распределении свежесажженного фосфорнокислого железа в присутствии торфа; при равномерном распределении фосфата со всем песком урожай горчицы без торфа и с торфом получился одинаковый и высокий; фосфорная кислота этого фосфата сама по себе была значительно доступна горчице, а между тем распределение фосфата слоем в присутствии торфа значительно понизило урожай; причина тут, очевидно, не в уменьшении растворяющего влияния,—мы ее видим в следующем: органические свободные кислоты торфа при смешении его со свежесажженным фосфорнокислым железом, содержащим большой избыток $Fe(OH)_3$ (см. приготовление его), должны были в большей или меньшей

степени нейтрализоваться; когда же фосфорнокислое железо помещалось слоем, то вследствие неподвижности $Fe(OH)_3$ нейтрализация происходила преимущественно только в области слоя, и поэтому в таких сосудах вне слоя реакция раствора могла быть вредной горчице. В сосудах с $Ca_3(PO_4)_2$, особенно свежесажленным, это явление если и происходило, то в значительно меньшей степени, так как $Ca(OH)_2$ гораздо подвижнее $Fe(OH)_3$.

Л е н. Распределение фосфатов (см. табл. 4) слоем резче отразилось на этом растении, чем на горчице; почти во всех исследованных случаях при этом распределении урожай получился ниже, чем при равномерном распределении.

Фосфорнокислые соли	0,6 г P_2O_5		1,2 г P_2O_5		0,6 г P_2O_5	
	$Ca_3(PO_4)_2$		$Ca_3(PO_4)_2$		$FePO_4$	
	со всем песком	слоем	со всем песком	слоем	со всем песком	слоем
Песок чистый						
Свежесажленные	100	68	—	—	100	105
Прокаленные	100	60	100	41	—	—
Песок, смешанный с торфом						
Свежесажленные	100	80	—	—	100	67
Прокаленные	100	62	100	80	—	—

Здесь только в одном случае способ распределения остался без влияния на урожай, а именно по свежесаженному фосфорнокислому железу в отсутствие торфа; во всех остальных случаях при распределении фосфатов слоем получилось значительное понижение урожая как в отсутствие, так и в присутствии торфа. Мы прежде всего рассмотрим и постараемся выяснить влияние распределения фосфатов в отсутствие торфа; в этом случае при фосфорнокислом железе способ распределения оказался для величины урожая льна безразличным; при фосфорнокислом же кальции, распределение фосфата слоем отразилось значительно менее благоприятно, нежели равномерное распределение; если мы обратим внимание на то, что горчица, так же как и лен, отнеслась к способу распределения фосфорнокислого железа (не реагировала) и дала при слоевом распределении фосфорнокислого кальция почти такой же урожай, что и при равномерном распределении, пожалуй только лишь с некоторой тенденцией к понижению; если мы, с другой стороны, примем во внимание, что растворяющая сила корней, проявляющаяся главным образом в воздействии выделяющейся корнями углекислоты, на фосфорнокислое железо могла влиять лишь отрицательно, на фосфорнокислый же кальций положительно и у горчицы сильнее, нежели у льна, то будет очевидна связь между влиянием способа распределения фосфата и растворяющей деятельностью корней: если усвояемость фосфорной кислоты фосфата не зависит от этой деятельности корней (случай фосфорнокислого железа), то способ распределения не играет заметной роли; в противном же случае, наоборот, распределение влияет на количество использованной фосфорной кислоты и сильнее у того растения, у которого деятельность эта слабее. Дело в том,

что если вследствие распределения фосфата слоем, часть корней горчицы и льна, быть может, и развивается сильнее в этом слое, нежели в остальных частях сосуда, то во всяком случае, как показало нам исследование корневой системы в этих опытах, это лишь небольшая часть корней; большая же часть их развивается так же, как и в сосудах с равномерным распределением фосфата, более или менее равномерно во всем объеме сосуда; естественно поэтому, во-первых, что эффект воздействия выделяемой корнями углекислоты при распределении фосфата слоем должен быть меньше, чем при его равномерном распределении, и, во-вторых, что для растения с малой растворяющей силой относительное влияние способа распределения будет заметнее.

Распределение слоем фосфорнокислого кальция и железа, как свежесаживаемых, так и прокаленных, в присутствии торфа дало во всех случаях урожай льна ниже, чем при распределении их во всем песке. Мы видели (см. стр. 154), что при равномерном распределении фосфорнокислого кальция присутствие торфа сильно повышало урожай льна как вследствие увеличения усвояемости этого фосфата, так и вследствие усреднения щелочной реакции почвенного раствора; распределение фосфата только в небольшой части торфа должно было, конечно, уменьшить это благоприятное влияние. При равномерном распределении фосфорнокислого железа (свежесаживаемого) торф понизил урожай льна; мы это объяснили усилением кислой реакции почвенного раствора до величины, вредной уже льну; дальнейшее понижение урожая при распределении фосфорнокислого железа слоем понятно с этой точки зрения: гидрат окиси железа мог нейтрализовать вредную кислотность лишь в области слоя, и, таким образом, в большей части сосуда кислая реакция при слоевом распределении фосфата должна была быть сильнее, нежели при равномерном.

ВЫВОДЫ

Закончив рассмотрение сравнительного действия на горчицу и лен фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа в различном их состоянии в песчаных культурах, мы, прежде чем перейти к изложению опытов с теми же фосфатами на почве, в заключение приведем те общие выводы, какие можно, по нашему мнению, сделать из полученных результатов.

1. Сравнительное действие испытанных фосфорнокислых солей на растение, измеряемое величиной получаемого урожая, является результатом, во-первых, степени усвояемости для данного растения фосфорной кислоты этих фосфатов и, во-вторых, побочных влияний, оказываемых на рост растения совокупным действием основного удобрения и того или иного фосфата.

2. Так как эти побочные влияния не одинаково сказываются на различных растениях и так как они не одинаково проявляются при различных фосфатах и при различных состояниях одного и того же фосфата, то естественно, что сравнительная величина урожаев данного растения по различным фосфатам (или по одному и тому же фосфату в различных состояниях) и сравнительная величина урожаев разных растений по одному и тому же фосфату не может служить непосредственным еще указанием степени усвояемости фосфорной кислоты различных фосфатов и сравнительной способности различных растений использовать их фосфорную кислоту. Выводы в этом отношении приходится делать лишь приблизительные, с оговорками и принимая во внимание всю совокупность

фактов; в этом отношении, между прочим, большую пользу могут оказать результаты влияния на рост растений по различным фосфатам углекислого кальция и органического вещества.

3. Одним из самых существенных проявлений вышеуказанных побочных факторов мы считаем появление в почвенном растворе той или иной реакции; эта реакция в песчаных культурах, на субстрате, не обладающем вовсе способностью регулировать ее, является чрезвычайно важным фактором вегетации и, что для нас очень существенно, фактором не постоянным, а могущим изменяться во время вегетации вследствие взаимодействия между почвенным раствором и растением. Важным мы последнее обстоятельство считаем потому, что если первоначальная реакция раствора в сосудах с тем или другим фосфатом может быть нами с большей или меньшей вероятностью определена, то о ходе изменений ее во время вегетации ничего определенного нельзя сказать; все наши соображения в этом отношении, без соответствующих исследований, будут совершенно беспочвенны.

4. Так как влияние на реакцию раствора в сосудах с повышением температуры, при которой высушивался фосфат, должно уменьшаться, то с переходом от свежесажженных фосфатов к просушенным и прокаленным влияние побочных факторов на полученный урожай будет уменьшаться и последний будет все в большей степени являться результатом той или иной усвояемости фосфорной кислоты; это соображение особенно существенно в изложенных нами опытах ввиду того способа, каким готовились у нас свежесажженные фосфаты (избыток оснований). Далее так как по нашим исследованиям горчица менее чувствительна к слабой щелочности и слабой кислотности почвенного раствора, нежели лен, то в результатах, полученных с первым растением, степень усвояемости фосфорной кислоты того или другого фосфата должна была играть большую роль, чем у льна, у которого в гораздо большей мере на урожаях могла сказаться реакция среды. Таким образом, мы думаем, что если на основании наших опытов можно говорить с большей или меньшей определенностью о степени доступности фосфорной кислоты всех наших фосфатов во всех из трех испытанных состояниях, то только в отношении горчицы; относительно же льна эти выводы можно делать только для просушенных и прокаленных фосфатов.

5. Фосфорная кислота свежесажженных фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа, даже при некотором избытке оснований, вполне доступна горчице.

О степени доступности льну тех же фосфатов нельзя судить непосредственно, на основании только величины полученных по ним урожаев, вследствие указанных выше побочных влияний; но, принимая во внимание всю совокупность результатов, нужно заключить, что фосфорная кислота свежесажженных фосфорнокислых солей алюминия и железа вполне доступна и льну; какова же доступность ему фосфорной кислоты свежесажженного трехкальциевого фосфата, опыт не дает возможности решить.

6. Просушивание понижает усвояемость фосфорной кислоты всех трех фосфатов, причем чем выше температура просушивания, тем сильнее это понижение; наиболее резко проявилась эта зависимость у фосфорнокислого железа и слабее всего у фосфорнокислого алюминия.

7. И горчице и льну из испытанных фосфатов наиболее доступным оказался фосфорнокислый алюминий, наименее доступным фосфорнокислое железо; фосфорнокислый кальций занимает в этом отношении

среднее место, причем для горчицы этот фосфат во всех состояниях оказался более доступным, чем для льна, что, впрочем, особенно в случае свежесажженного фосфорнокислого кальция, в значительной степени обуславливается побочными неблагоприятными влияниями, создающимися в его присутствии для льна.

8. Углекислый кальций понижает доступность обоим растениям фосфорной кислоты фосфорнокислого кальция; доступность горчице фосфорной кислоты остальных двух фосфатов он, наоборот, как показывают урожаи, повышает; что же касается льна, то урожай его не обнаружили в этом отношении какой-либо закономерности, что надо отнести за счет побочных влияний, не дающих возможности учесть положительного действия CaCO_3 на растворимость фосфорной кислоты AlPO_4 и FePO_4 .

9. В присутствии органического вещества (торф) доступность обоим растениям фосфорной кислоты всех трех фосфатов в тех их состояниях, в которых она была не вполне доступна растениям, сильно повышается: фосфорная кислота просушенных и прокаленных фосфорнокислых солей кальция и алюминия в этом случае усваивалась почти так же, как и свежесажженных; почти до той же величины поднялась и усвояемость просушенного фосфорнокислого железа; что же касается до прокаленного фосфорнокислого железа, то его усвояемость хотя и не сравнялась в присутствии органического вещества с усвояемостью свежесажженного, но во всяком случае сильно повысилась.

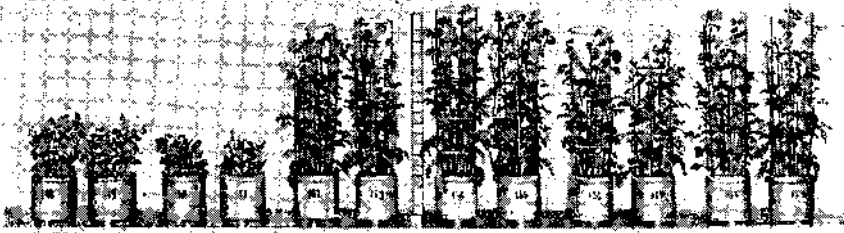
10. Между сравнительной растворимостью в чистой воде фосфорной кислоты фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа и сравнительной доступностью их горчице и льну нет строгого параллелизма, что указывает на определенную роль в усвоении фосфорной кислоты растворяющей деятельности корневой системы, неодинаковой в отношении различных фосфатов. Нет вышеуказанного параллелизма и в том случае, когда сопоставляется доступность с растворимостью в воде, содержащей углекислоту; отсюда надо заключить, что растворяющая деятельность корней обуславливается не только выделяющейся ими углекислотой.

II. ОПЫТЫ НА ПЕСЧАНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ

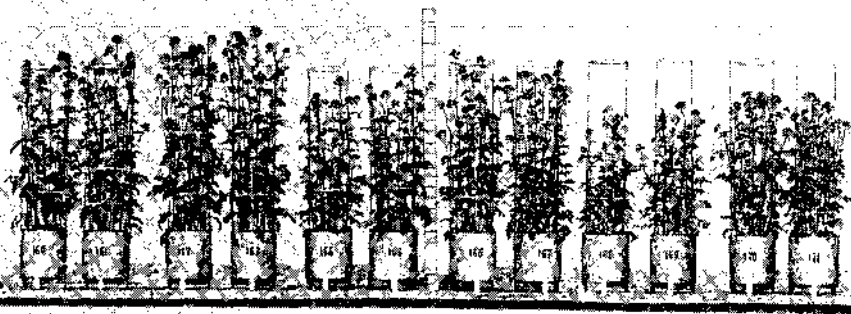
Испытав действие на горчицу и лен фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа в песчаных культурах, наша лаборатория поставила на следующий год (1902) такие же опыты на очень бедном доступной растениям фосфорной кислотой песчаном черноземе Бобровского уезда, Воронежской губернии (имение г. Рездова), имевшем слабокислую реакцию.

Действие фосфорнокислых солей в этих опытах испытывалось на трех растениях: горчице, овсе и льне. Фосфорные соли алюминия и железа служившие для опыта, готовились совершенно так же, как и для песчаных культур; состав их по анализу был следующий: фосфорнокислый алюминий в безводном состоянии содержал 59,14% P_2O_5 вместо теоретических 58,2; фосфорнокислое железо—44,04% P_2O_5 вместо 47,0. Фосфоротрехкальциевая соль готовилась двумя способами: 1) так же, как при вышеописанных песчаных культурах и 2) по способу, описанному Шлезингом¹; по первому способу получился продукт, содержащий в безводном состоянии 44,64% P_2O_5 , а по второму 48,31% P_2O_5 вместо теоретических 45,4;

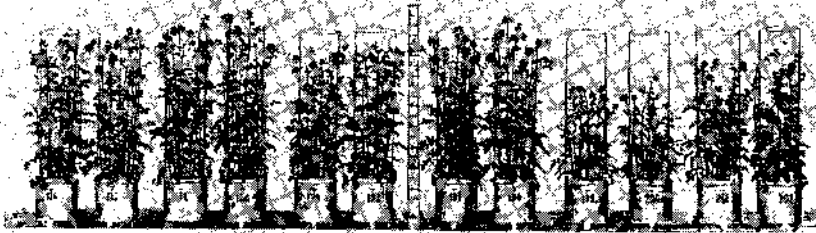
¹ Schloesing. Sur les relations des dissolutions contenues dans les sols. *Ans-cience. Agr.*, т. 1, 1901, стр. 409; реф. в «Журн. оп. arp.», 1901, стр. 790.



Без удобрений		Основное удобрение				
P_2O_5 в г			0,25	0,50	0,25	0,50
на сосуд	0	0	NaH_2PO_4		Томасшлак	
Общий						
урожай в г	14,7	5,6	56,3	68,0	58,5	67,3



О с н о в н о е			У д о б р е н и е			
P_2O_5 в г	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50
на сосуд	Костяная мука		Куломз. фосф.		Подольск. фосф.	
Общий						
урожай в г	61,1	69,5	54,4	60,9	44,2	53,0



О с н о в н о е у д о б р е н и е						
P_2O_5 в г	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	2,50
на сосуд	$Ca_3(PO_4)_2$		$AlPO_4$		$FePO_4$	
Общий						
урожай в г	58,5	65,3	56,8	65,9	32,7	51,7

Рис. 4. Горчица по различным фосфорнокислым солям и тукам на песчаном черноземе [фосф.-кисл. соли просушен.; N в $Ca(NO_3)_2$].

Усвояемость горчицей фосфорной кислоты фосфорнокислым

	Урожай							
	Без удобрений				Основное удобрение			
	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

1-й сосуд	148	3,8	12,2	16,0	150	0,6	4,9	5,5
2-й »	149	2,8	10,6	13,4	151	0,8	4,8	5,6
Среднее	—	3,3	11,4	14,7	—	0,7	4,9	5,6

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

1-й сосуд	148	3,8	12,2	16,0	150	0,6	4,9	5,5
2-й »	149	2,8	10,6	13,4	151	0,8	4,8	5,6
Среднее	—	3,3	11,4	14,7	—	0,7	4,9	5,6

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

1-й сосуд	203	1,5	6,0	7,5	205	0,8	4,4	5,2
2-й »	204	1,5	5,9	7,4	206	1,0	5,4	6,4
Среднее	—	1,5	6,0	7,5	—	0,9	4,9	5,8

Азот в виде $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

1-й сосуд	148	3,8	12,2	16,0	215	3,1	10,9	14,0
2-й »	149	2,8	10,6	13,4	216	2,9	9,9	12,8
Среднее	—	3,3	11,4	14,7	—	3,0	10,4	13,4

Азот в виде NH_4N

1-й сосуд	148	3,8	12,2	16,0	227	1,6	6,9	8,5
2-й »	149	2,8	10,6	13,4	228	1,7	8,5	10,2
Среднее	—	3,3	11,4	14,7	—	1,7	7,7	9,4

Азот в виде KN

1-й сосуд	148	3,8	12,2	16,0	239	1,2	7,1	8,3
2-й »	149	2,8	10,6	13,4	240	1,4	7,1	8,5
Среднее	—	3,3	11,4	14,7	—	1,3	7,1	8,4

Таблица 5

азот и фосфорнокислых туков на песчаном черноземе

в граммах на сосуд)

Основное удобрение + NaH_2PO_4				Основное удобрение + томашлак				Основное удобрение + костяная мука			
№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
152	10,0	46,0	56,0	156	10,8	46,9	57,7	160	11,1	48,4	59,5
153	10,0	46,6	56,6	157	10,7	44,6	55,3	161	10,8	51,6	62,4
—	10,0	46,3	56,3	—	10,8	45,8	56,5	—	11,0	50,0	61,0
P_2O_5 по 0,5 г на сосуд											
154	13,4	55,6	68,7	158	11,5	55,3	66,8	162	12,3	58,5	70,8
155	12,2	55,0	67,2	159	12,6	55,1	67,7	163	11,6	56,6	68,2
—	12,7	56,3	68,0	—	12,4	55,2	67,3	—	12,0	57,6	69,5
P_2O_5 по 0,5 г на сосуд. 5 г $CaCO_3$											
207	11,6	55,7	67,3	—	—	—	—	—	—	—	—
208	11,8	52,4	63,9	—	—	—	—	—	—	—	—
—	11,7	53,9	65,6	—	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
217	11,0	40,5	51,5	—	—	—	—	—	—	—	—
218	11,0	41,8	52,8	—	—	—	—	—	—	—	—
—	11,0	41,2	52,2	—	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
229	10,8	43,1	53,9	—	—	—	—	—	—	—	—
230	10,2	43,5	53,7	—	—	—	—	—	—	—	—
—	10,5	43,3	53,8	—	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
241	10,6	44,9	55,5	—	—	—	—	—	—	—	—
242	10,2	44,1	54,3	—	—	—	—	—	—	—	—
—	10,4	44,5	54,6	—	—	—	—	—	—	—	—

	Урожай											
	Основное удобрение + + куломзинский фосфорит				Основное удобрение + + подольский фосфорит				Основное удобрение + + $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, приготовлен- ный по Шлезингу			
	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:

1-й сосуд . . .	164	9,9	43,4	53,3	168	9,2	32,2	41,4	172	10,7	45,6	56,3
2-й » . . .	165	10,4	45,1	55,5	169	10,6	36,3	46,9	173	10,9	49,4	60,3
Среднее . . .	—	10,2	44,3	54,4	—	9,9	34,3	44,2	—	10,8	47,5	58,3

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:

1-й сосуд . . .	166	11,3	49,7	61,0	170	10,6	43,0	53,6	174	12,7	54,7	67,4
2-й » . . .	167	11,6	49,2	60,8	171	10,7	41,7	42,4	175	12,7	56,8	69,5
Среднее . . .	—	11,5	49,5	60,9	—	10,7	42,4	53,0	—	12,7	55,8	68,5

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Азот в виде $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$:

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	219	9,6	36,9	46,5	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	220	10,4	36,7	47,1	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	10,0	36,8	46,8	—	—	—	—

Азот в виде NH_4NO_3 :

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	231	10,5	36,4	46,9	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	232	10,4	37,2	47,6	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	10,5	36,8	47,3	—	—	—	—

Азот в виде KNO_3 :

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	243	9,8	33,4	43,2	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	244	10,4	34,7	45,1	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	10,2	34,1	44,2	—	—	—	—

Таблица 5 (продолжение)

в граммах на сосуд

Основное удобрение + $Ca_3(PO_4)_2$, приготовленный по Даммеру				Основное удобрение + $AlPO_4$				Основное удобрение + $FePO_4$			
№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

176	11,4	46,9	58,3	179	10,0	45,2	55,2	199	6,9	25,8	32,7
177	11,4	47,3	58,7	192	10,2	48,2	58,4	200	6,8	25,9	32,7
—	11,4	47,1	58,5	—	10,1	46,7	56,8	—	6,9	25,9	32,7

 P_2O_5 по 0,5 г на сосуд

178	12,9	51,7	64,6	197	11,7	53,6	65,3	201	10,8	43,6	54,4
136	12,1	53,9	66,0	198	12,5	54,0	66,5	202	10,2	38,8	49,0
—	12,5	52,8	65,3	—	12,1	53,8	65,9	—	10,5	41,2	51,7

 P_2O_5 по 0,5 г на сосуд. 5 г $CaCO_3$

209	11,3	48,6	59,9	211	11,8	52,7	65,5	213	9,1	30,6	39,7
210	11,3	51,6	62,9	212	11,8	52,8	64,6	214	8,0	31,9	39,9
—	11,3	50,1	61,4	—	11,8	52,8	64,6	—	8,6	31,3	30,8

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

221	10,7	39,5	50,2	223	10,8	40,9	51,7	225	9,4	30,6	40,0
222	10,6	38,4	49,0	224	10,7	40,8	51,5	226	8,9	34,4	43,3
—	10,7	39,0	49,6	—	10,8	40,9	51,6	—	9,2	32,5	41,7

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

233	10,9	45,7	56,6	235	9,8	41,2	51,0	237	8,5	28,3	36,8
234	11,3	45,9	57,2	236	9,5	42,7	52,2	238	8,3	31,5	39,8
—	11,1	45,8	56,9	—	9,7	42,0	51,6	—	8,4	29,9	38,3

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

245	10,3	44,0	54,3	247	10,3	44,0	54,3	249	6,5	25,2	31,7
246	10,5	44,8	55,3	248	9,9	43,4	53,3	250	7,7	25,8	33,2
—	10,4	44,4	54,8	—	10,1	43,7	53,8	—	7,0	25,5	32,5

таким образом, первый продукт (в таблицах он всюду для сокращения обозначен «по Даммеру») содержал небольшой избыток CaO , второй же (в таблицах—«по Шлезингу») — избыток фосфорной кислоты. Все соли испытывались в одном лишь состоянии — просушенном в течение 6 часов при 105° . Кроме вышеуказанных солей, под теми же растениями испытывалось действие томасшлака¹, костяной муки², куломзинского³ и подольского⁴ фосфоритов; действие всех этих фосфорнокислых туков и солей сравнивалось с действием фосфорноодонатриевой соли. Фосфорнокислые соли и туки испытывались в двух количествах соответствующих 0,25 и 0,50 г P_2O_5 . В этом же опыте исследовалось влияние на действие этих веществ под горчицей и льном углекислого кальция (5 г на сосуд) и различных источников азота ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 и KNO_3) в основном удобрении. Опыты велись в малых цинковых сосудах (20×20), в которые помещалось по 5,2 кг почвы (по перечислению на сухую), смешанной с соответствующей фосфорнокислой солью и основным удобрением; последнее состояло из 0,70 г азота в той или другой из указанных выше форм и 0,4 кг K_2O в K_2SO_4 ; при наполнении давалась лишь половина основного удобрения, остальная же вносилась постепенно во время вегетации. Посев всех растений был произведен 16 мая; во время вегетации влажность почвы в сосудах поддерживалась ежедневной поливкой на высоте 27,3% от веса сухой почвы (влагоемкость почвы 41,9%, наибольшая гигроскопичность 6,4%). Растения были убраны в зрелом состоянии: горчица в начале сентября, овес в конце сентября, а лен в середине октября. Весь цифровой материал, полученный в этом опыте, собран в таблицах 5, 6 и 7; рисунки 4, 5 и 6 представляют фотографические снимки с горчицы, овса и льна на различных фосфорнокислых туках и на фосфорнокислых солях натрия, кальция, алюминия и железа при основном удобрении, содержащем азотнокислый кальций. В таблице 8 и 9 приводятся процентное и абсолютное содержание фосфорной кислоты в части полученных урожаев.

Переходя к рассмотрению полученных результатов, мы прежде всего остановимся на сравнении действия фосфорнокислых солей под горчицей, овсом и льном в присутствии $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ как азотистого удобрения.

Г о р ч и ц а. Таблица 5 показывает, что 0,25 и 0,50 г P_2O_5 в фосфорнокислых солях натрия, кальция, алюминия и железа подняли урожай горчицы (в граммах на сосуд и принимая повышение урожая по NaN_2PO_4 за 100) на следующие величины.

Увеличение урожая горчицы (на сосуд) под влиянием

	NaN_2PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$		AlPO_4	FePO_4
		по Шлезингу	по Даммеру		
0,25 г фосфорной кислоты	50,7 г 100	52,7 г 104	52,9 г 104	50,5 г 100	27,1 г 58
0,50 г фосфорной кислоты	62,4 » 100	62,9 » 100	59,7 » 96	60,3 » 97	46,1 » 74

¹ № 10 по катал. лабор. за 1898 г., с 18,07% P_2O_5 .

² Костяная мука обескисленная, № 49 по катал. лабор. за 1899 г., с 28,71% P_2O_5 .

³ № 27 по катал. лабор. за 1899 г., с 25,42% P_2O_5 .

⁴ № 30 по катал. лабор. за 1899 г.

Устойчивость осеом фосфорной кислоты фосфорнокислых солей и фосфорнокислых туфов на песчаном черноземе

		Урожай (в граммах на сосуд)											
		Без удобрения				Основное удобрение + NaH_2PO_4				Основное удобрение + + томатный			
		№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего

По 0,25 г P_2O_5 на сосуд

1-й сосуд	261	12,0	14,0	26,6	263	11,6	16,2	27,8	265	35,6	42,4	78,0	270	28,9	34,2	63,1	274	33,5	30,7	64,2
2-й »	262	11,6	13,8	25,4	264	13,2	16,6	29,8	266	32,9	39,9	72,8	371	27,9	35,1	63,0	275	29,0	31,6	60,6
Среднее	—	11,8	14,2	26,0	—	12,4	16,4	28,8	—	34,2	41,2	75,4	—	28,4	34,7	63,1	—	31,2	32,2	62,4

По 0,50 г P_2O_5 на сосуд

1-й сосуд	261	12,0	14,0	26,6	263	11,6	16,2	27,8	267	48,2	48,1	96,3	272	36,8	43,6	80,4	276	34,4	42,4	76,8
2-й »	262	11,6	13,8	25,4	264	13,2	16,6	29,8	268	43,7	46,6	90,6	273	38,4	41,4	79,8	277	38,7	42,9	81,6
Среднее	—	11,8	14,2	26,0	—	12,4	16,4	28,8	—	46,0	47,5	93,5	—	37,6	42,5	80,1	—	36,6	42,6	79,2

Таблица 6 (продолжение)

		Урожай (в граммах на сосуд)															
		Основное удобрение + + фосфорный фосфат								Основное удобрение + + $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$, приготов- ленный по Давиэру							
		№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего	№ со- суда	зерно	соло- ма	всего

По 0,25 г P_2O_5 на сосуд

1-й сосуд	278	18,4	20,1	38,5	282	13,7	17,2	30,9	286	29,2	40,7	69,9	290	24,2	28,2	52,4	294	28,0	33,3	61,3	298	22,6	26,9	49,5
2-й »	279	20,4	22,7	43,1	283	13,2	16,4	29,6	287	30,4	38,6	68,7	291	22,2	25,1	47,3	295	25,8	33,8	59,6	299	22,1	24,9	47,0
Среднее	—	19,4	21,4	40,8	—	13,5	16,8	30,3	—	29,6	39,7	69,3	—	23,2	26,7	49,9	—	26,9	33,6	60,5	—	24,4	25,9	48,3

По 0,50 г P_2O_5 на сосуд

1-й сосуд	280	20,2	25,5	45,7	284	15,3	16,4	31,7	288	40,6	42,5	83,1	292	29,2	33,8	63,0	296	36,5	44,4	80,9	300	31,1	29,3	60,4
2-й »	281	24,3	28,3	52,6	285	14,3	17,2	31,5	289	33,6	35,8	69,4	293	27,6	33,7	61,3	297	35,7	43,6	79,3	301	30,7	31,3	62,0
Среднее	—	22,3	26,9	49,2	—	14,8	16,3	31,6	—	40,6	42,5	83,1	—	28,4	33,8	62,2	—	36,1	44,0	80,1	—	30,9	30,3	61,2

Усвояемость льном фосфорной кислоты фосфорнокислых

	Урожай							
	Без удобрения				Основное удобрение			
	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:

1-й сосуд	303	4,0	16,7	20,7	305	5,1	23,6	28,7
2-й »	304	4,2	16,9	21,1	306	4,9	23,0	27,9
Среднее	—	4,3	16,8	20,9	—	5,0	23,3	28,3

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:

1-й сосуд	303	4,0	16,7	20,7	305	5,1	23,6	28,7
2-й »	304	4,2	16,9	21,1	306	4,9	23,0	27,9
Среднее	—	4,3	16,8	20,9	—	5,0	23,3	28,3

Азот в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:

1-й сосуд	355	4,4	16,4	20,8	357	3,5	17,7	20,7
2-й »	356	4,5	16,1	20,6	358	4,7	16,2	20,8
Среднее	—	4,5	16,3	20,7	—	4,1	16,7	20,8

Азот в виде $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$:

1-й сосуд	303	4,0	16,7	20,7	367	10,0	35,1	45,1
2-й »	304	4,2	16,9	21,1	368	9,8	32,7	42,5
Среднее	—	4,3	16,8	20,9	—	9,1	33,9	43,8

Азот в виде NH_4NO_3 :

1-й сосуд	303	4,0	16,7	20,7	379	7,6	28,6	36,2
2-й »	304	4,2	16,9	21,1	380	7,7	28,9	36,6
Среднее	—	4,3	16,8	20,9	—	7,7	28,8	36,4

Азот в виде KNO_3 :

1-й сосуд	303	4,0	16,7	20,7	391	5,9	19,5	25,4
2-й »	304	4,2	16,9	21,1	392	5,4	20,7	26,1
Среднее	—	4,1	16,8	20,9	—	5,7	20,1	25,8

Таблица 7

солей и фосфорнокислых туков на песчаном черноземе

(в граммах на сосуд)

Основное удобрение + NaH_2PO_4				Основное удобрение + томашлак				Основное удобрение + костяная мука			
№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

311	12,9	41,9	54,8	315	11,4	37,1	48,4	319	11,2	36,6	47,8
312	12,5	45,0	57,5	316	11,8	33,8	45,6	320	12,3	38,7	51,0
—	12,7	43,5	56,2	—	11,6	35,5	47,0	—	11,8	37,7	49,4

 P_2O_5 по 0,50 г на сосуд

313	14,5	52,4	66,9	317	13,1	41,1	54,2	321	13,9	41,6	55,5
314	14,5	51,0	65,5	318	14,3	46,5	60,8	322	11,1	44,8	55,9
—	14,5	51,7	66,4	—	13,7	43,8	57,5	—	12,5	43,2	55,7

 P_2O_5 по 0,5 г на сосуд. 5 г $CaCO_3$ на сосуд

147	13,7	45,9	59,6	—	—	—	—	—	—	—	—
360	14,5	51,2	65,7	—	—	—	—	—	—	—	—
—	14,1	48,6	62,7	—	—	—	—	—	—	—	—

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

369	14,2	47,1	61,3	—	—	—	—	—	—	—	—
370	14,4	46,5	60,9	—	—	—	—	—	—	—	—
—	14,3	46,8	61,1	—	—	—	—	—	—	—	—

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

381	12,0	46,5	58,5	—	—	—	—	—	—	—	—
382	13,1	51,6	64,7	—	—	—	—	—	—	—	—
—	12,6	49,1	61,6	—	—	—	—	—	—	—	—

 P_2O_5 по 0,25 г на сосуд

393	11,7	41,5	53,2	—	—	—	—	—	—	—	—
394	12,5	39,8	52,3	—	—	—	—	—	—	—	—
—	12,1	40,7	52,8	—	—	—	—	—	—	—	—

	Урожай											
	Основное удобрение + +куломзинский фосфорит				Основное удобрение + +подольский фосфорит				Основное удобрение + +Ca ₃ (PO ₄) ₂ , пригото- вленный по Шлезингу			
	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего

Азот в виде Ca(NO₃)₂:

1-й сосуд . . .	325	8,9	30,3	39,2	329	6,6	23,9	30,5	339	10,9	36,8	47,7
2-й » . . .	326	8,6	29,9	38,5	330	7,3	25,8	33,1	340	11,4	39,4	50,8
Среднее . . .	—	8,8	30,1	38,9	—	7,0	24,9	31,8	—	11,2	38,1	49,3

Азот в виде Ca(NO₃)₂:

1-й сосуд . . .	327	11,9	35,2	47,1	337	7,9	27,8	35,7	341	13,5	45,1	58,6
2-й » . . .	328	10,2	35,9	46,1	338	7,8	25,5	33,3	342	13,8	42,9	56,7
Среднее . . .	—	11,1	35,6	46,6	—	7,9	26,7	34,5	—	13,7	44,0	57,7

Азот в виде Ca(NO₃)₂:

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Азот в виде (NH₄)₂SO₄:

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	371	11,8	36,8	48,6	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	372	10,9	36,4	47,3	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	11,4	36,6	48,0	—	—	—	—

Азот в виде NH₄NO₃:

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	383	9,8	33,6	43,4	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	384	9,4	32,2	41,6	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	9,6	32,9	42,5	—	—	—	—

Азот в виде KNO₃:

1-й сосуд . . .	—	—	—	—	395	6,3	23,3	29,6	—	—	—	—
2-й » . . .	—	—	—	—	396	6,7	22,6	29,3	—	—	—	—
Среднее . . .	—	—	—	—	—	6,5	23,0	29,5	—	—	—	—

Таблица 7 (продолжение)

в граммах на сосуд)											
Основное удобрение+ $Ca_3(PO_4)_2$, приготовленный по Даммеру				Основное удобрение+ $AlPO_4$				Основное удобрение+ $FePO_4$			
№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
343	10,7	33,6	44,3	347	10,5	37,2	47,7	351	8,2	31,3	39,5
344	10,7	33,2	43,9	348	11,3	37,5	48,8	352	8,7	31,7	40,4
—	10,7	33,4	44,1	—	10,9	37,4	48,3	—	8,5	31,5	39,9
P_2O_5 по 0,50 г на сосуд											
345	12,4	38,7	51,1	349	11,7	42,6	54,3	353	9,7	34,1	43,8
346	10,9	36,7	47,6	350	12,1	44,0	56,1	354	10,9	34,5	45,4
—	11,7	37,7	49,4	—	11,9	43,3	55,2	—	10,3	34,8	44,6
P_2O_5 по 0,5 г на сосуд. 5 г $CaCO_3$ на сосуд											
361	10,5	38,1	48,6	363	12,0	42,0	54,0	365	10,6	37,0	47,6
362	10,6	40,0	50,6	364	12,2	41,8	54,0	366	11,2	36,7	46,9
—	10,6	39,1	49,6	—	12,1	41,9	54,0	—	10,4	36,9	47,3
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
373	12,3	42,1	54,4	375	12,7	46,2	58,9	377	11,4	42,7	54,1
374	12,4	42,0	54,4	376	13,0	42,5	55,5	378	11,6	43,4	55,0
—	12,4	42,1	54,4	—	12,9	44,4	57,2	—	11,5	43,1	54,6
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
385	11,6	43,2	54,8	387	12,9	43,9	56,8	389	11,3	37,1	48,9
386	12,2	41,9	54,1	388	12,5	42,7	55,2	390	12,7	38,1	51,3
—	11,9	42,1	54,5	—	12,7	43,3	56,0	—	12,0	38,1	50,1
P_2O_5 по 0,25 г на сосуд											
397	9,6	34,5	44,1	399	11,0	36,2	47,2	401	8,6	28,6	37,2
398	9,2	34,3	43,5	400	11,0	36,9	47,9	402	9,3	31,4	40,7
—	9,4	32,4	43,8	—	11,0	36,6	47,6	—	9,0	30,0	39,0

Т а б л и ц а 9

Абсолютное содержание фосфорной кислоты в урожаях растений по фосфорнокислому калию, алюминию и железу на песчаном черноземе

Количество P_2O_5 (в граммах на сосуд)	Основные удобрения											
	+ NaH_2PO_4			+ $Ca_3(PO_4)_2$			+ $AlPO_3$			+ $FePO_4$		
	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай	зерно	солома	общий урожай
Азот в виде азотнокислого кальция												
Горючца	0,25	0,005	0,010	0,110	0,030	0,140	0,120	0,028	0,148	0,108	0,026	0,134
	0,50	—	—	0,192	0,041	0,233	0,208	0,032	0,240	0,194	0,034	0,228
	0,50	—	—	0,194	0,039	0,233	0,174	0,046	0,220	0,177	0,057	0,234
Азот в виде азотнокислого кальция; в сосуды внесен углекислый кальций												
Горючца	0,25	0,022	0,010	0,134	0,028	0,162	0,149	0,028	0,177	0,136	0,067	0,203
	0,50	—	—	0,194	0,039	0,233	0,174	0,046	0,220	0,177	0,057	0,234
	0,50	—	—	0,194	0,039	0,233	0,174	0,046	0,220	0,177	0,057	0,234
Азот в виде сернокислого аммония												
Горючца	0,25	0,013	0,007	0,129	0,020	0,149	0,149	0,013	0,172	0,120	0,030	0,150
	0,50	—	—	0,194	0,039	0,233	0,174	0,046	0,220	0,177	0,057	0,234
	0,50	—	—	0,194	0,039	0,233	0,174	0,046	0,220	0,177	0,057	0,234
Азот в виде азотнокислого кальция												
Овес	0,25	0,036	0,027	0,126	0,054	0,180	0,094	0,031	0,125	0,102	0,038	0,140
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
Азот в виде азотнокислого кальция; в сосуды прибавлен углекислый кальций												
Овес	0,25	0,036	0,027	0,126	0,054	0,180	0,094	0,031	0,125	0,102	0,038	0,140
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
Азот в виде сернокислого аммония												
Овес	0,25	0,028	0,016	0,126	0,054	0,180	0,094	0,031	0,125	0,102	0,038	0,140
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
Азот в виде азотнокислого аммония												
Овес	0,25	0,028	0,016	0,126	0,054	0,180	0,094	0,031	0,125	0,102	0,038	0,140
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199
	0,50	—	—	0,185	0,069	0,254	0,112	0,070	0,182	0,146	0,059	0,199

Табличка эта (на стр. 168) показывает, во-первых, что меньшая наша доза фосфорной кислоты (0,25 г на сосуд) была недостаточна для получения максимального урожая горчицы, и поэтому в сосудах с этим количеством фосфорной кислоты последняя была в минимуме и величина урожая на той или другой фосфорнокислой соли обуславливалась степенью доступности ее фосфорной кислоты горчице; во-вторых, принимая во внимание вышесказанное, мы видим, что фосфорная кислота трехкальциевого фосфата, как более основного, так и более кислого, и фосфорнокислого алюминия доступна горчице в той же мере, как и фосфорная кислота фосфорнокислого натрия; доступность же фосфорной кислоты фосфорнокислого железа приблизительно вдвое меньшая.

К такому же заключению о сравнительной доступности горчице этих фосфатов придем из рассмотрения процентного и абсолютного содержания P_2O_5 в урожаях горчицы. Таблица 8 показывает, что процентное содержание P_2O_5 в общем урожае горчицы в зависимости от рода фосфорнокислой соли изменялось следующим образом:

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
	по Даммеру			
0,25 г P_2O_5 на сосуд . .	0,249	0,253	0,236	0,186
0,50 » P_2O_5 » » . .	0,343	0,367	0,346	0,257

Количество же фосфорной кислоты, извлеченной горчицей из этих солей (в граммах на сосуд), как показывает таблица 9, выразилось следующими цифрами:

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
	по Даммеру			
0,25 г P_2O_5 на сосуд . .	0,130	0,138	0,124	0,051
0,50 » P_2O_5 » » . .	0,223	0,230	0,218	0,123

Таким образом, и процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях горчицы и количества ее, извлеченные этим растением из различных фосфатов, указывают, что фосфаты натрия, кальция и алюминия были одинаково доступны горчице, доступность же фосфорнокислого железа была значительно меньшая.

Если мы сопоставим этот вывод с результатами, полученными нами для горчицы на тех же солях в песчаных культурах (см. стр. 141), то увидим, что в почве усвояемость фосфорной кислоты всех трех фосфорнокислых солей выше, нежели в песке, причем это увеличение доступности сказалось очень слабо на фосфорнокислом железе и алюминии и сравнительно сильно на фосфорнокислом кальции; таким образом, растворяющее действие почвы, которому нужно приписать вышесказанное, сказалось сравнительно сильно на трехкальциевом фосфате и сравнительно слабо на фосфорнокислых солях алюминия и железа; отсюда приходится заключить, что исследованная почва действовала на эти соли преимущественно выделяющейся ею углекислотой, не повышающей растворимости фосфорной кислоты $AlPO_4$ и $FePO_4$ и сильно влияющей на $Ca_3(PO_4)_2$, но что, кроме того, в почве были, хотя и в незначительном количестве, и другие кислоты, которые несколько растворяли фосфаты алюминия и железа.

О в е с. Повышение общего урожая зерна и соломы овса от 0,25 и 0,50 г P_2O_5 на тех же фосфорнокислых солях, согласно таблице 6, выразилось следующими числами.

Увеличение урожая овса (на сосуд) под влиянием

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$		$AlPO_4$	$FePO_4$
		по Шлезингу	по Даммеру		
0,25 г фосфорной кислоты	46,6 г 100	40,5 г 87	21,1 г 45	31,7 г 68	19,5 г 42
0,50 г фосфорной кислоты	64,7 » 139	54,3 » 117	33,4 » 72	51,3 » 100	32,4 » 70

Овес использовал фосфорную кислоту фосфорных солей кальция, алюминия и железа в меньшей степени, нежели фосфорную кислоту фосфорнокислого натрия; наиболее доступный для него трехкальциевый фосфат, приготовленный по Шлезингу и содержащий небольшой избыток P_2O_5 , повысил урожай на 13% меньше, нежели фосфорнокислый натрий; трехкальциевый фосфат, по Даммеру, содержащий на 0,8% меньше P_2O_5 , чем следует по формуле, оказался значительно менее усвояемым, чем вышеозначенный фосфат, в этом отношении он почти сравнялся с фосфорнокислым железом; фосфорнокислый алюминий по своей доступности овсу стоит ниже, чем кислый трехкальциевый фосфат, но выше, нежели основной трехкальциевый фосфат и фосфорнокислое железо. Совершенно то же заключение мы должны будем сделать, сопоставляя количество фосфорной кислоты, извлеченной овсом из различных фосфатов; таблица 9 показывает, что количества эти (в граммах на сосуд) были таковы:

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$ по Даммеру	$AlPO_4$	$FePO_4$
при 0,25 г P_2O_5 на со- суд	0,133	0,049	0,059	0,039
при 0,50 г P_2O_5 на со- суд	0,233	0,079	0,119	0,080

т. е. из фосфорнокислых солей кальция (по Даммеру), алюминия и железа овес извлек значительно меньше фосфорной кислоты, чем из фосфорнокислого железа, причем из фосфорнокислого алюминия он извлек ее больше, чем из фосфатов кальция и железа, из которых он взял почти одинаково P_2O_5 .

Лен. Урожай льна на 0,25 и 0,50 г фосфорной кислоты (на сосуд) наших фосфатов, как показывает таблица 7, возрос на следующие величины.

Увеличение урожая льна (на сосуд) под влиянием

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$		$AlPO_4$	$FePO_4$
		по Шлезингу	по Даммеру		
0,25 г фосфорной кислоты	28,0 г 100	21,0 г 75	15,8 г 56	20,0 г 72	11,6 г 42
0,50 г фосфорной кислоты	38,1 » 137	29,4 » 105	21,1 » 75	27,0 » 97	16,3 » 58

Таким образом, фосфаты кальция, железа и алюминия оказались для льна, так же как и для овса, менее доступными, нежели фосфорнокислый

натрий; наиболее доступен из них был фосфорнокислый кальций (по Шлезиунгу), несколько менее фосфорнокислый алюминий, значительно менее фосфорнокислый кальций по Даммеру, и наиболее труднодоступным фосфорнокислое железо. Сопоставляя между собой процентное содержание P_2O_5 в урожаях льна по различным фосфатам:

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$ по Даммеру	$AlPO_4$	$FePO_4$
0,25 г P_2O_5 на сосуд	0,320	0,283	0,289	0,258
0,50 » P_2O_5 » »	0,383	0,368	0,361	0,327

и количества фосфорной кислоты, извлеченной льном из этих фосфатов (в граммах на сосуд):

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$ по Даммеру	$AlPO_4$	$FePO_4$
0,25 г P_2O_5 на сосуд	0,117	0,062	0,077	0,040
0,50 » P_2O_5 » »	0,191	0,119	0,133	0,086

мы получаем ту же картину сравнительной доступности льну фосфорной кислоты фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа.

В песчаных культурах, как мы видели на стр. 151, из просушенных фосфатов наибольший урожай льна дал фосфорнокислый алюминий, который лучше действовал на лен, нежели фосфорнокислый натрий, затем фосфорнокислое железо, и, наконец, наименьший урожай получился по фосфорнокислому кальцию; таким образом, результаты в песчаных культурах и на почве не вполне совпадают: с одной стороны, фосфорнокислый алюминий на песке действовал относительно сильнее, нежели на почве; с другой стороны, фосфорнокислый кальций на почве действовал сильнее, нежели на песке; причину этого отклонения надо искать в указанном при изложении результатов песчаных культур отношении льна к реакции почвенного раствора и в растворяющем действии почв на фосфат кальция.

Изложенные результаты показывают, что испытанные нами три растения на бывшей в наших опытах почве не одинаково использовали фосфорную кислоту фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа; все три эти фосфата были более доступны горчице, нежели овсу и льну; а льну несколько более доступны, нежели овсу; особенно сильно отличаются эти растения по своему отношению к фосфорнокислому кальцию и алюминию; так, из 0,25 и 0,50 г P_2O_5 , данной растениям в $Ca_3(PO_4)_2$, по Даммеру, ими было взято граммов P_2O_5 :

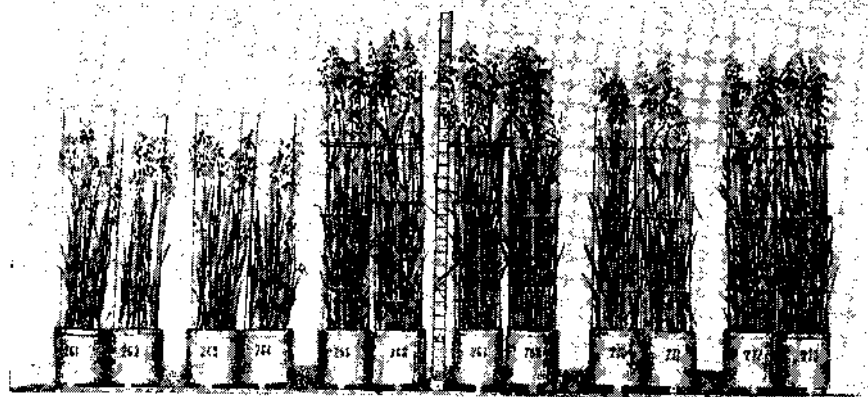
	горчицей	льном	овсом
при 0,25 г P_2O_5 на сосуд	0,138	0,062	0,049
» 0,50 » P_2O_5 » »	0,230	0,119	0,079

а из 0,25 и 0,50 г фосфорной кислоты, данной в $AlPO_4$:

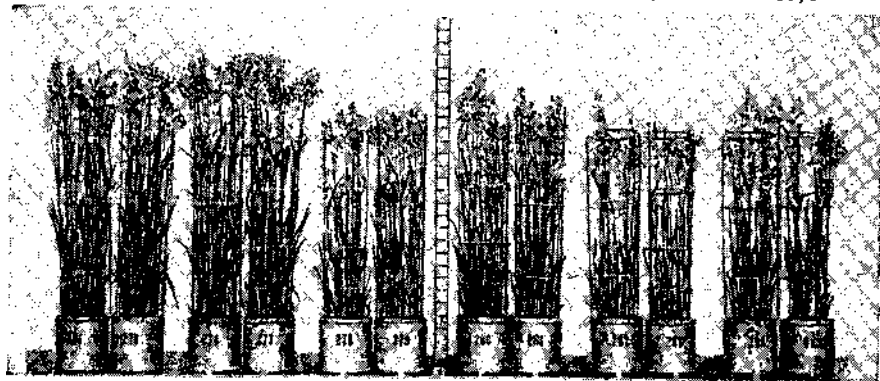
	горчицей	льном	овсом
при 0,25 г P_2O_5 на сосуд	0,124	0,077	0,159
» 0,50 » P_2O_5 » »	0,218	0,133	0,119

В отношении же фосфорнокислого железа растения проявили значительно меньше различия, взяв из данной им в этом фосфате фосфорной кислоты почти одинаковые количества:

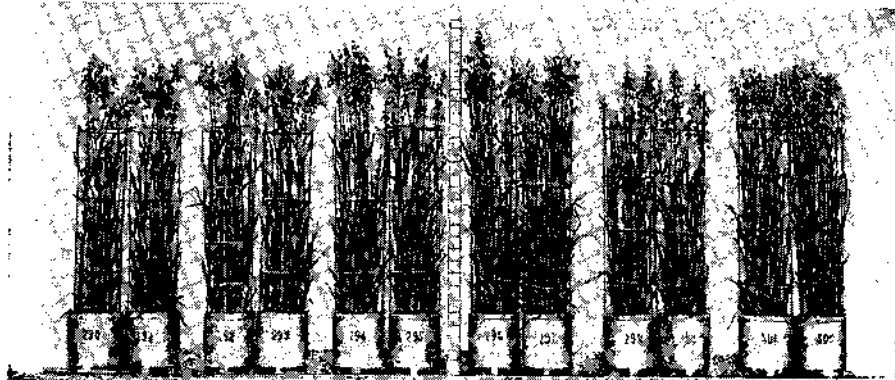
	горчицей	льном	овсом
при 0,25 г P_2O_5 на сосуд	0,051	0,040	0,039
» 0,50 » P_2O_5 » »	0,123	0,086	0,080



	Без удобрения		Основное удобрение			
P_2O_5 в г на сосуд	0	0	0,25	0,50	0,25	0,50
			NaH_2PO_4		Томасшлак	
Общий урожай в г	26,0	28,8	75,4	93,5	63,1	80,1



	Основное удобрение					
P_2O_5 в г на сосуд	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50
	Костяная мука		Куломз. фосф.		Подольск. фосф.	
Общий урожай в г	62,4	79,2	40,8	49,2	30,3	31,6



	Основное удобрение					
P_2O_5 в г на сосуд	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50
	$Ca_3(PO_4)_2$		$AlPO_4$		$FePO_4$	
Общий урожай в г	49,9	62,2	60,5	80,1	48,3	61,2

Рис. 5. Овес по различным фосфорнокислым солям и тукам на песчаном черноземе [фосфорнокислые соли просушенные, N в $Ca(NO_3)_2$]

Таким образом, хотя горчица, лен и овес сохраняют один и тот же порядок по степени использования ими фосфорной кислоты всех трех фосфатов, но степень различия между ними в этом отношении для разных фосфатов не одинакова: наиболее сильно различаются растения по способности использовать трехкальциевый фосфат, менее по способности использовать фосфорнокислый алюминий и наиболее сходны они в отношении фосфорнокислого железа. Такое отношение указывает, что растворяющее действие корней есть явление сложное, обуславливаемое совокупностью факторов; различные растения в отношении одних из этих факторов могут различаться между собою сильнее, а в отношении других слабее.

Кроме фосфорнокислых солей, в описываемом опыте под теми же растениями испытывались томасшлак, костяная мука и фосфориты, куломзинский и подольский (только при $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ как азотистом удобрении).

Как показывает таблица 5, повышение общего урожая горчицы от 0,25 и 0,50 г P_2O_5 этих фосфорнокислых туков сравнительно с повышением его от тех же количеств фосфорной кислоты фосфорнокислого натрия выразилось следующим образом (в граммах, принимая повышение урожая по 0,25 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 за 100).

	NaH_2PO_4	Томасшлак	Костяная мука	Куломзинский фосфорит	Подольский фосфорит
0,25 г P_2O_5 на сосуд . .	30,7 г 100	50,9 г 100	55,5 г 109	48,8 г 96	38,6 г 76
0,50 » P_2O_5 » » . .	62,4 » 123	61,7 » 121	64,0 » 126	55,3 » 109	47,4 » 93

Таким образом, фосфорная кислота томасшлака и костяной муки оказалась в такой же мере доступной горчице, как и фосфорная кислота фосфорнокислого натрия; по костяной муке урожай горчицы получился даже выше, нежели по фосфорнокислому натрию. Куломзинский фосфорит оказался несколько менее доступным горчице, а подольский фосфорит дал уже заметно ниже урожай; фосфорная кислота этих фосфоритов, особенно подольского, оказалась, таким образом, менее усвояемой горчицей, чем наш основной трехкальциевый фосфат, дававший, как мы видели выше, такой же урожай горчицы, как и фосфорнокислый натрий.

Те же фосфорнокислые туки повысили общий урожай овса на следующие величины (в граммах и относительно повышения урожая по фосфорнокислому натрию).

	NaH_2PO_4	Томасшлак	Костяная мука	Куломзинский фосфорит	Подольский фосфорит
0,25 г P_2O_5 на сосуд . .	46,6 г 100	34,3 г 70	33,6 г	12,0 г 26	1,5 г 3
0,50 » P_2O_5 » » . .	64,7 » 139	51,3 » 110	50,4 »	20,4 » 44	2,8 » 6

Таким образом, овсу фосфорная кислота всех четырех туков оказалась менее доступной, нежели фосфорная кислота фосфорнокислого натрия; наиболее доступные из этих туков, томасшлак и костяная мука, дали одинаковое повышение урожая и на 30% меньшее, нежели фосфорнокислый натрий; куломзинский фосфорит значительно меньше повысил урожай овса, нежели вышеуказанные два тука, а фосфорная кислота подольского фосфорита почти вовсе не использовалась овсом; по сравнению с просушенным трехкальциевым фосфатом фосфориты эти оказались гораздо менее доступными овсу.

Лен по тем же фосфорнокислым удобрениям дал следующее повышение урожая:

	NaH_2PO_4	Томашшлак	Костяная мука	Куломзинский фосфорит	Подольский фосфорит
0,25 г P_2O_5 на сосуд . .	28,0 г 100	18,7 г 67	21,1 г 75	10,6 г 38	3,5 г 12
0,50 » P_2O_5 » » . .	38,1 » 137	29,2 » 104	27,4 » 98	18,3 » 68	6,3 » 22

Для этого растения, так же как и для овса, все четыре тука оказались менее доступными, нежели фосфорнокислый натрий, причем опять-таки томашшлак и костяная мука почти одинаково повысили урожай и значительно сильнее, чем оба фосфорита, из которых подольский вызвал совсем незначительный прирост органической массы.

Сопоставляя между собой горчицу, овес и лен по способности их использовать фосфорную кислоту томашшлака, костяной муки, куломзинского и подольского фосфоритов, мы получим ту же картину, какую видели при сравнении отношения их к фосфорнокислым солям: горчица усваивала наиболее сильно их фосфорную кислоту, овес же и лен значительно слабее; последние два растения усваивали также не одинаково и опять-таки, как и при фосфорнокислых солях, лен приходится поставить по этой способности выше, нежели овес: томашшлак и костяная мука использовались ими почти одинаково, но фосфориты сильнее льном, чем овсом; наконец, так же как и при фосфорнокислых солях, горчица по своей способности использовать фосфорную кислоту исследовавшихся туков гораздо больше отличается от льна и овса, нежели эти растения между собой.

Переходим теперь к выяснению влияния углекислого кальция на усвояемость горчицей и льном¹ фосфорной кислоты фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа.

Г о р ч и ц а. Из таблицы 5 мы видим прежде всего, что углекислый кальций значительно понизил усвояемость фосфорной кислоты самой почвы: на ней урожай горчицы без удобрения (в первом минимуме P_2O_5) и без $CaCO_3$ был 14,7 г, а без удобрения и по $CaCO_3$ всего 7,5 г; при основном удобрении (без фосфорнокислого) урожай горчицы в присутствии и в отсутствие $CaCO_3$ получился одинаковый (5,8 и 5,6 г) и значительно более низкий, нежели без удобрения и без $CaCO_3$ и даже нежели без удобрения и в присутствии углекислого кальция; в этом случае мы имеем дело с понижающим влиянием на растворимость почвенной фосфорной кислоты присутствовавшего в основном удобрении азотнокислого кальция как соли, во-первых, физиологически основной и, во-вторых, содержащей с почвенными фосфатами общий ион Ca (растворимость труднорастворимого электролита понижается в присутствии другого электролита, имеющего с первым общий ион).

В присутствии фосфорнокислых солей углекислый кальций повлиял на урожай горчицы следующим образом.

Повышение урожая горчицы под влиянием 0,5 г фосфорной кислоты

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$ 0,25 г P_2O_5
Без углекислого кальция	62,4 г 100	62,9 г 100	60,3 г 100	27,1 г 100
С 5 г углекислого кальция	59,8 » 94	55,6 » 88	58,6 » 97	31,0 » 125

Данные показывают, что углекислый кальций почти не повлиял на урожай горчицы по фосфорнокислому натрию и фосфорнокислому алю-

¹ На овсе это влияние не исследовалось.

минию, понизил урожай по фосфорнокислому кальцию и повысил урожай по фосфорнокислому железу.

Обращаемся к влиянию углекислого кальция на процентное и абсолютное содержание фосфорной кислоты в урожаях горчицы.

Влияние CaCO_3 на процентное содержание P_2O_5 в горчице

	NaH_2PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	FePO_4
Без углекислого кальция	0,343	0,367	0,346	0,186
С углекислым кальцием	0,355	0,351	0,362	0,204

Влияние CaCO_3 на количество P_2O_5 извлекаемой горчицей из

	NaH_2PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	FePO_4
Без углекислого кальция	0,228 г	0,230 г	0,218 г	0,051 г
С углекислым кальцием	0,223 »	0,210 »	0,224 »	0,071 »

Те и другие числа показывают, что понижение урожая горчицы по фосфорнокислому кальцию в присутствии углекислого кальция было следствием понижения усвояемости фосфорной кислоты этого фосфата, а повышение урожая по фосфорнокислому железу следствием повышения растворимости его фосфорной кислоты. Количества фосфорной кислоты, извлеченной горчицей из фосфорнокислого натрия и фосфорнокислого алюминия, не изменились в присутствии мела, и то небольшое понижение урожая, какое наблюдается при углекислом кальции, вызвано, очевидно, не уменьшением усвояемости фосфорной кислоты, а какими-то побочными причинами.

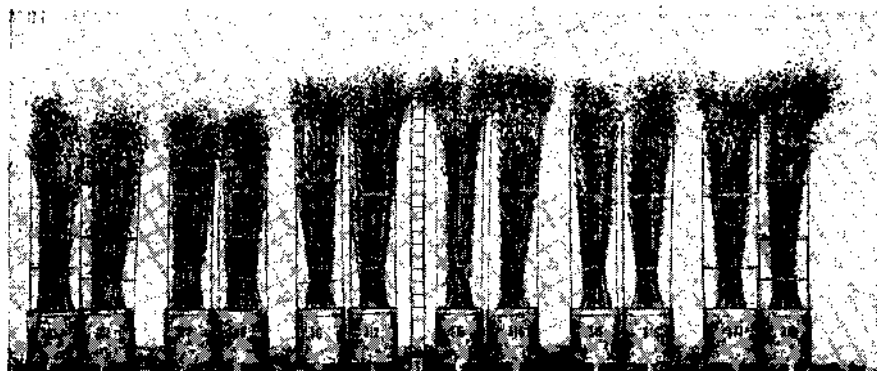
Таким образом, на исследовавшейся почве, так же как раньше мы видели в песчаных культурах, мел понижал усвояемость горчицей фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата и повышал усвояемость фосфорной кислоты фосфорнокислого железа; если он на почве не повлиял на усвояемость фосфорной кислоты алюминия, в то время как в песчаных культурах подымал ее, то это, очевидно, явилось следствием того, что фосфат этот сам по себе был горчице так же доступен, как и фосфорнокислый натрий.

Лен (табл. 7). В отсутствие фосфорнокислого удобрения углекислый кальций понизил урожай льна: в сосудах с основным удобрением без CaCO_3 лен дал 28,3 г надземной массы, а с CaCO_3 всего 20,8 г; в первом случае лен из почвы сосуда извлек 0,063 г P_2O_5 , а во втором всего 0,044 г; таким образом, углекислый кальций понижал доступность льну почвенной фосфорной кислоты, подобному тому как он понижал ее доступность горчице. В присутствии фосфорнокислых солей действие мела на лен проявилось следующим образом.

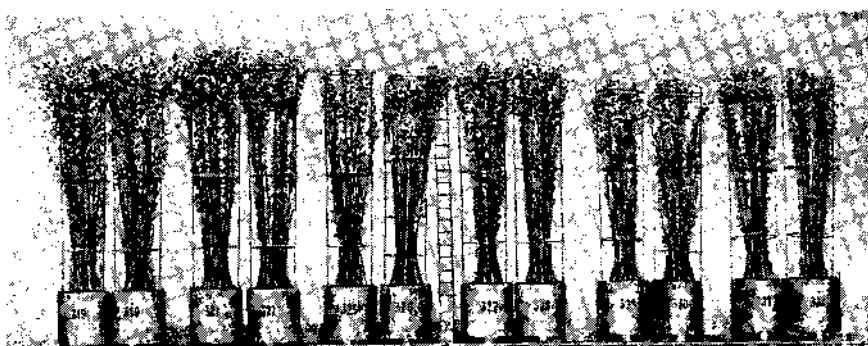
Повышение урожая льна под влиянием 0,5 г фосфорной кислоты

	NaH_2PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	FePO_4
Без углекислого кальция	38,1 г 100	21,4 г 100	27,0 г 100	16,3 г 100
С 5 г углекислого кальция	41,9 » 110	28,8 » 136	33,2 » 123	26,5 » 163

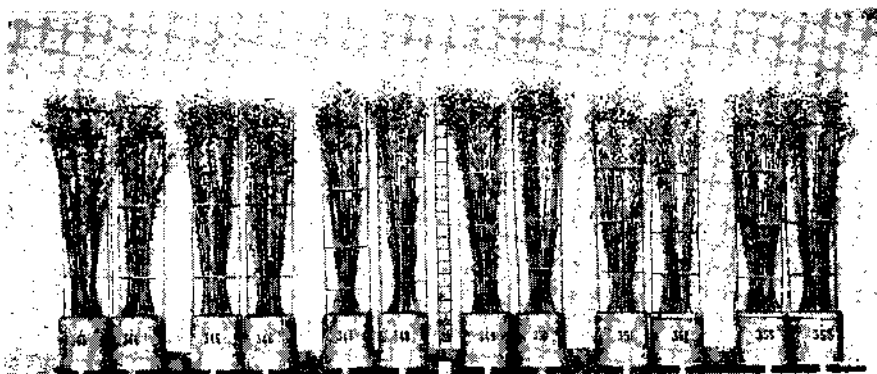
Таким образом, в присутствии углекислого кальция все фосфорнокислые соли повысили урожай льна больше, чем в отсутствие CaCO_3 ; относительно слабее всего это сказалось при NaH_2PO_4 и сильнее всего при FePO_4 ; для выяснения этого явления сравним содержание фосфорной кислоты в урожаях льна по этим фосфорнокислым солям; таблица 8 по-



О с н о в н о е у д о б р е н и е						
Без удобрения	0	0	0,25	0,50	0,25	0,50
P_2O_5 в г						
на сосуд						
Общий			NaH_2PO_4		Томашпак	
урожай в г	20,9	28,3	56,2	66,4	47,0	57,5



О с н о в н о е у д о б р е н и е						
P_2O_5 в г	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50
на сосуд						
Общий	Костяная мука		Кулома. фосф.		Подольск. фосф.	
урожай в г	49,4	55,7	38,9	46,6	31,8	34,5



О с н о в н о е у д о б р е н и е						
P_2O_5 в г	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50
на сосуд						
Общий	$Ca_3(PO_4)_2$		$AlPO_4$		$FePO_4$	
урожай в г	44,1	49,4	48,3	55,2	39,9	44,6

Рис. 6. Лен по различным фосфорнокислым солям и тукам на песчаном черноземе [фосфорнокислые соли просушенные; N в $Ca(NO_3)_2$].

казывает, что углекислый кальций следующим образом повлиял на процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях льна по 0,5 г P_2O_5 в солях.

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
Без углекислого кальция	0,383%	0,368%	0,301%	0,327%
С углекислым кальцием	0,344%	0,333%	0,373%	0,306%

На абсолютное содержание фосфорной кислоты в урожаях льна присутствие углекислого кальция отразилось, как показывает таблица 9. следующим образом.

Влияние $CaCO_3$ на количества P_2O_5 , извлекаемой льном из

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
Без углекислого кальция	0,191 г	0,119 г	0,133 г	0,086 г
С углекислым кальцием	0,172 »	0,121 »	0,157 »	0,101 »

Если мы сопоставим между собой все эти данные (т. е. влияние $CaCO_3$ на величину повышения урожая, на процентное содержание P_2O_5 в урожаях и на количество P_2O_5 , взятой льном из фосфорнокислых солей), то придем к следующим заключениям о влиянии углекислого кальция на усвояемость льном фосфорной кислоты исследованных солей. 1) Относительно фосфорнокислого алюминия все данные единогласно говорят, что усвояемость его фосфорной кислоты в присутствии углекислого кальция повысилась. 2) Относительно фосфорнокислого железа за то же говорит величина повышения урожая и количество фосфорной кислоты, использованной льном при этом фосфате; третье же данное, а именно процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях без мела и с мелом, как будто противоречит этому, так как в присутствии углекислого кальция процентное содержание P_2O_5 у льна оказалось ниже, чем в отсутствие этого вещества; кажущееся противоречие легко объясняется, если мы примем во внимание, во-первых, что под влиянием углекислого кальция понизилась усвояемость почвенной фосфорной кислоты, и, во-вторых, что урожай льна по фосфорнокислому железу и без мела и с мелом одинаковой величины: таким образом, в общем в распоряжении льна по фосфорнокислому железу в сосудах с углекислым кальцием было во всяком случае не больше доступной фосфорной кислоты, нежели в сосудах без углекислого кальция, несмотря на то что в первом случае фосфорнокислое железо было более доступно льну. 3) Относительно фосфорнокислого кальция все данные, кроме процентного содержания фосфорной кислоты, говорят как будто бы за то, что доступность его льну несколько увеличилась под влиянием углекислого кальция; но так как такое заключение противоречит несомненному факту уменьшения растворимости фосфорной кислоты этого фосфата в присутствии мела, то, очевидно, полученный результат надо отнести или за счет каких-либо побочных влияний, или за счет способа вычисления повышения урожая и количества фосфорной кислоты, извлеченной урожаем из фосфата, так как и то и другое, конечно, условно.

Сравнивая теперь влияние углекислого кальция на доступность различных фосфорнокислых солей горчице и льну, мы из вышеприведенного видим, что в отношении фосфорнокислых солей железа и алюминия влияние это на обоих растениях сказалось приблизительно одинаково: фосфаты эти в присутствии мела использовались лучше и приблизительно в одинаковой степени сильнее и горчицей и льном; что же касается фосфорнокислого кальция, то ввиду вышеуказанной неопределенности результатов у льна мы лишены возможности делать какое-либо заключение.

Нам еще остается сравнить усвояемость фосфорной кислоты фосфорнокислых солей в присутствии различных источников азота в основном удобрении. В этом направлении изучались те же фосфорнокислые соли, что и раньше, а из туков один лишь подольский фосфорит: из источников азота были выбраны $Ca(NO_3)_2$ и KNO_3 как физиологически основные соли, и $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4NO_3 как физиологически кислые. Опытными растениями служили горчица и лен. Полученные результаты приведены в общих таблицах (5 и 7) для всего описываемого здесь опыта.

Чтобы разобраться в относящихся сюда данных, необходимо иметь в виду, что азотсодержащие соли, которые мы испытывали в этом опыте, могли различно влиять на урожай горчицы и льна не только не одинаковым изменением доступности фосфорной кислоты фосфатов, даваемых этим растениям. Они, во-первых могли создавать, смотря по своей природе, неодинаково благоприятные общие условия роста: в этом отношении на первом месте надо поставить влияние их на реакцию почвенного раствора. Во-вторых, они могли неодинаково влиять на доступность фосфорной кислоты самой почвы. Имея в виду все это, мы постараемся, насколько это возможно, на основании всей совокупности даваемых этим опытом данных, учесть в отдельности каждое из этих влияний.

Г о р ч и ц а. Прежде всего остановимся на вопросе, как испытывавшиеся азотсодержащие соли влияли на общие условия роста этого растения и на усвояемость им почвенной фосфорной кислоты; для выяснения этого рассмотрим урожай горчицы по основному удобрению (без P_2O_5) и по основному удобрению плюс фосфорнокислый натрий.

Наземный урожай горчицы (в граммах на сосуд)

Азот в виде	$Ca(NO_3)_2$	KNO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3
Основное удобрение	5,6 г 100	8,4 г 150	13,4 г 240	9,4 г 168
» » + NaH_2PO_4	56,3 » 100	54,9 » 98	52,2 » 93	56,3 » 100

Величина урожаев без фосфорнокислого удобрения показывает, что различные азотсодержащие соли неодинаково влияли на доступность почвенной фосфорной кислоты; наименее доступной она была при азотно-кислом кальции, наиболее доступной при сернокислом аммонии; среднее место занимают урожаи по азотнокислему аммонiu и азотнокислему калию, причем в присутствии первого урожай был несколько выше, чем в присутствии второго; то же показывает процентное и абсолютное содержание фосфорной кислоты в этих урожаях:

	$Ca(NO_3)_2$	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3
Процентное содержание P_2O_5 . . .	0,178	0,239	0,213
Абсолютное » P_2O_5 (в г)	0,010	0,032	0,020

Но, кроме влияния на почвенную фосфорную кислоту, азотнокислые соли могли неодинаково влиять и на общие условия роста горчицы; чтобы учесть это, сопоставим величины урожаев без фосфорнокислого удобрения с соответствующим по фосфорнокислему натрию, не забывая, что с последним было внесено в сосуд всего 0,25 г P_2O_5 , т. е. количество, недостаточное для максимального урожая, почему в почве и по фосфорнокислему натрию в первом минимуме была фосфорная кислота. Сопостав-

ление показывает, что, несмотря на то что в присутствии азотнокислого калия, азотнокислого аммония и сернокислого аммония в распоряжении горчицы по фосфорнокислому натрию было больше доступной фосфорной кислоты, нежели в присутствии азотнокислого кальция (вследствие неодинаковой доступности почвенной фосфорной кислоты), урожаи по первым трем солям получились ниже, чем по $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, последний оказался наиболее благоприятно действующим на условия роста горчицы; затем в нисходящем порядке следует азотнокислый калий, азотнокислый аммоний и, наконец, наиболее неблагоприятным оказался сернокислый аммоний. Еще яснее неодинаковое влияние этих солей на рост горчицы видно из сопоставления величины повышения урожая от 0,25 г NaH_2PO_4 (разность между урожаями по основному удобрению плюс фосфорнокислый натрий и по основному удобрению без фосфорной кислоты):

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	KNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4NO_3
50,7 г	46,5 г	38,8 г	44,9 г

Такое влияние этих азотнокислых солей и сернокислого аммония мы объясняем таким образом. Горчица—растение чувствительное к щелочности и особенно к кислотности почвенного раствора; почва, бывшая в наших опытах, обладала сравнительно низкой поглотительной способностью; сернокислый и азотнокислый аммоний должны были создавать вредную горчице кислую реакцию среды, причем первый в этом отношении должен был действовать сильнее, нежели второй вследствие того, что ион SO_4 воспринимается растением в меньшем количестве, нежели NO_3 ; две другие соли, азотнокислый кальций и азотнокислый калий, наоборот, создавали менее вредную для горчицы щелочную реакцию; щелочная реакция от азотнокислого кальция, очевидно, была не только благоприятнее для горчицы, нежели кислая от аммонийных солей, но и благоприятнее более сильной щелочной от азотнокислого калия; более сильной—потому, что азотнокислый калий—соль более сильного основания.

Принимая во внимание такое влияние изучаемых азотнокислых и аммонийных солей, мы еще с большим основанием можем говорить, что доступность почвенной фосфорной кислоты в их присутствии изменялась в вышеуказанном направлении, т. е. возрастала при переходе от $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и KNO_3 , NH_4NO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; если мы примем общее влияние азотнокислого кальция за основание для сравнения, то можно сказать, что по сравнению с ним каждая из остальных трех солей действовала на горчицу в двояком направлении: благоприятно, усиливая доступность почвенной фосфорной кислоты, и неблагоприятно, создавая для горчицы менее подходящую реакцию среды, причем как благоприятное, так и неблагоприятное действие наиболее сильно проявляется у сернокислого аммония, слабее у азотнокислого аммония и наиболее слабо у азотнокислого калия. Причина растворяющего влияния аммонийных солей азотной и серной кислоты ясна; что же касается азотнокислого калия, то действие его на почвенную фосфорную кислоту было, конечно, не растворяющее,—он мог лишь уменьшить ее доступность, но только в меньшей степени, чем $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, так как последний должен был понижать растворимость почвенных кальциевых фосфатов помимо нейтрализации слабой кислотности нашей почвы и вследствие общего с ними иона Са.

Переходим теперь к влиянию тех же источников азота на урожай горчицы в присутствии фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа и подольского фосфорита.

Таблица 5 показывает, что общий урожай горчицы по фосфорнокислому кальцию и алюминию в присутствии азотнокислого калия и аммония и сернокислого аммония получился ниже, нежели в присутствии азотнокислого кальция по фосфорнокислому железу и подольскому фосфориту, азотнокислый калий дал такой же урожай, что и азотнокислый кальций, а азотнокислый и сернокислый аммоний более высокий.

Надземный урожай горчицы (в граммах на сосуд)

$Ca_3(PO_4)_2$	58,5	54,8	49,6	56,9
$AlPO_4$	56,8	53,8	51,6	51,6
$FePO_4$	32,7	32,5	41,7	38,3
Подольский фосфорит	44,2	44,2	46,8	47,3

Если мы примем во внимание величину урожаев в сосудах по основному удобрению (без P_2O_5), то получим, что 0,25 г P_2O_5 в наших фосфорнокислых солях и подольском фосфорите в присутствии различных азотистых удобрений дало следующий прирост общего урожая горчицы (в граммах на сосуд).

	$Ca(NO_3)_2$	KNO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3
$Ca_3(PO_4)_2$	52,9	46,4	36,2	47,5
$AlPO_4$	51,2	45,4	38,2	42,2
$FePO_4$	27,1	23,7	28,3	28,9
Подольский фосфорит	38,6	35,8	33,5	37,9

Таким образом, картина такая, как будто все фосфаты (исключая $FePO_4$ при $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4NO_3) в присутствии азотнокислого калия и сернокислого и азотнокислого аммония хуже действовали на урожай горчицы, были менее усвояемы, нежели в присутствии азотнокислого кальция, тогда как действие на усвояемость почвенных фосфатов и теоретические соображения, особенно в отношении применявшихся аммонийных солей говорят обратное. На самом же деле подобный результат являлся следствием двух совершенно побочных в отношении усвояемости фосфатов причин. Во-первых, одна из этих причин—способ вычисления величины повышения урожая, вызванного внесением фосфата: вычитая из урожая по основному удобрению плюс фосфат урожай по основному удобрению, мы получаем не полный эффект фосфата, а несколько уменьшенный, так как в присутствии фосфата почвенная фосфорная кислота будет в меньшей степени использована растением и растворяющее влияние на нее кислот, выделяющихся корнями и образующихся из $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4NO_3 , будет слабее, нежели без фосфорнокислого удобрения. Вторая причина—неблагоприятное влияние азотнокислого калия и особенно аммонийных солей на рост горчицы по сравнению с влиянием азотнокислого кальция; там, где доступность внесенного фосфата была сама по себе высокой, например в сосудах с фосфорнокальциевой и фосфорноалюминиевой солью, там неблагоприятное влияние аммонийных солей должно было резко проявиться, мы действительно видим, что как раз в этих случаях повышение урожая значительно ниже, чем при азотнокислом кальции: там же, где доступность фосфата была низкая, там, кроме неблагоприятного действия этих солей, должно было проявиться и положительное их влияние—усиление усвояемости фосфорной кислоты; действительно, вышеприведенные данные показывают, что по фосфорнокислому железу и подольскому фосфориту, сравнительно малодоступным горчице, при аммонийных солях получилось или такое же повышение урожая, как и при азотнокислом кальции, или только немного ниже.

Что под влиянием сернокислого и азотнокислого аммония фосфаты кальция, алюминия и железа становились более доступными и лучше использовались горчицей, чем в присутствии азотнокислого кальция¹, и что, таким образом менее высокий прирост в первом случае обусловливался побочными причинами, ясно видно из сопоставления процентного содержания фосфорной кислоты в урожаях (см. таблицу 8) и количества фосфорной кислоты, извлеченной горчицей из вышеназванных фосфатов в присутствии азотнокислого кальция и аммонийных солей.

Процентное содержание фосфорной кислоты в надземном урожае горчицы

	NaH_2PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	FePO_4
Азотнокислый кальций	0,249	0,253	0,236	0,186
Сернокислый аммоний	0,310	0,357	0,397	0,280
Азотнокислый »	0,265	0,302	0,291	0,228

Количество P_2O_5 (в г на сосуд) взятой горчицей из

	NaH_2PO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	FePO_4
Азотнокислый кальций	0,130	0,138	0,124	0,051
Сернокислый аммоний	0,130	0,145	0,171	0,085
Азотнокислый »	0,129	0,152	0,130	0,067

Приведенные данные показывают, что в присутствии аммонийных солей горчица извлекла из фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа больше фосфорной кислоты, нежели в присутствии азотнокислого кальция, и что в первом случае процентное содержание фосфорной кислоты в горчице при всех этих фосфатах (а также по фосфорнокислому натрию) выше, а иногда и значительно выше, чем во втором случае; последнее ясно указывает, что при азотнокислом и сернокислом аммонии создавались для роста горчицы неблагоприятные, или, вернее, более неблагоприятные, нежели при азотнокислом кальции, условия, не находящиеся в какой-либо зависимости от той или иной степени усвояемости фосфатов.

Но и. Сравнительное влияние испытанных источников азота на доступность льну почвенной фосфорной кислоты и на общие условия роста этого растения, видно из сопоставления следующих данных из таблицы 7.

Надземный урожай льна в граммах на сосуд

	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	KNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4NO_3
Основное удобрение	28,3	25,8	43,8	36,4
» » + NaH_2PO_4	56,2	52,8	61,1	61,6
Повышение урожая от 0,25 г P_2O_5 в NaH_2PO_4	27,9	27,0	17,3	25,2

Таким образом, аммонийные соли в отсутствие фосфорнокислого удобрения повысили урожай льна сравнительно с урожаем по азотнокислому кальцию еще сильнее, чем у горчицы; по азотнокислому калию без фосфорнокислого удобрения урожай льна, обратно тому, что мы видели на горчице, получился несколько ниже, чем по азотнокислому кальцию. Далее хотя урожай льна по аммонийным солям с фосфорнокислым натрием получился и выше, нежели по азотнокислому кальцию, но повышение урожая, вызванное фосфорнокислым натрием по аммонийным солям, ниже, чем по азотнокислому кальцию. Если мы еще примем во внимание

¹ Анализ растений при азотнокислом калии, а также по подольскому фосфориту не производился.

процентное и абсолютное содержание фосфорной кислоты в урожаях льна по основному удобрению без фосфорнокислого:

		$Ca(NO_3)_2$	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3
процентное содержание	P_2O_5 . . .	0,223	0,267	0,242
абсолютное	» P_2O_5 (в г)	0,067	0,117	0,089

то на основании всех этих данных придем к заключению, что сравнительное действие на лен применявшихся азотсодержащих солей совершенно аналогично с действием их на горчицу: аммонийные соли по сравнению с азотнокислым кальцием повышали доступность льну почвенной фосфорной кислоты, но вместе с тем создавали менее благоприятные условия для роста. Таким образом, и в отношении льна влияние аммонийных солей проявилось в двух противоположных направлениях.

При труднодоступных фосфатах влияние тех же азотсодержащих солей на высоту урожая льна выразилось следующим образом.

Надземный урожай льна в граммах на сосуд

	$Ca(NO_3)_2$	KNO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3
$Ca_3(PO_4)_2$	44,1	43,8	54,4	54,5
$AlPO_4$	48,3	47,6	57,2	56,0
$FePO_4$	39,9	39,0	54,6	50,1
Подольский фосфорит	31,8	29,5	48,0	42,5

Таким образом, при всех фосфатах урожай льна по азотнокислому калию получился такой же, а по аммонийным солям выше, чем по азотнокислому кальцию; но если мы вычислим прирост надземной массы льна от 0,25 г фосфорной кислоты различных фосфатов при том или другом основном удобрении, то получим опять-таки, как и у горчицы, что при аммонийных солях прирост в некоторых случаях меньше, нежели при азотнокислом кальции.

Прирост льна (в г) под влиянием 0,25 г фосфорной кислоты

	$Ca(NO_3)_2$	KNO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3
$Ca_3(PO_4)_2$	15,8	18,0	10,6	18,1
$AlPO_4$	20,0	21,8	13,4	19,6
$FePO_4$	11,6	13,2	10,8	15,7
Подольский фосфорит	3,5	3,7	4,2	5,1

Сопоставив с этим процентное содержание фосфорной кислоты в урожае льна и количество фосфорной кислоты, взятой льном из фосфатов при различных азотсодержащих солях, увидим, что и для льна аммонийные соли по сравнению с азотнокислым кальцием подыняли усвояемость всех фосфатов и что случаи меньшего прироста льна при этих солях есть результат того, что неблагоприятное влияние аммонийных солей брало перевес над благоприятным, растворяющим действием их.

Процентное содержание фосфорной кислоты в надземном урожае льна

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
Азотнокислый кальций	0,320	0,283	0,289	0,258
Сернокислый аммоний	0,370	0,346	0,397	0,304
Азотнокислый »	0,329	0,308	0,330	0,266

Количество P_2O_5 (в г на сосуд), взятой льном из

	NaH_2PO_4	$Ca_3(PO_4)_2$	$AlPO_4$	$FePO_4$
Азотнокислый кальций	0,117	0,062	0,077	0,040
Сернокислый аммоний	0,109	0,071	0,110	0,049
Азотнокислый »	0,114	0,079	0,096	0,044

Таким образом, азотнокислый аммоний и сернокислый аммоний увеличивали доступность фосфорной кислоты почвы, фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа и подольского фосфорита для обоих испытанных нами растений; но прирост органической массы этих растений, несмотря на это, очень часто оказывался ниже при этих солях, нежели при азотнокислом кальции, в присутствии которого усвояемость всех указанных источников фосфорной кислоты была ниже: причина этого лежит в том, что аммонийные соли создают кислую реакцию среды, а эта реакция для горчицы и льна, растений очень чувствительных к кислотности, менее благоприятна, нежели слабощелочная реакция, возникающая при азотнокислом кальции; для других растений, иначе относящихся к реакции названного раствора, сравнительный эффект взаимодействия между тем или другим источником азота, почвенными микроорганизмами и растением, с одной стороны, а с другой стороны, им же и труднодоступным фосфатом будет, конечно, иным; в частном случае для злаков, значительно менее чувствительным вообще и к кислотности и к щелочности почвенного раствора, фосфаты в присутствии азотнокислого аммония должны давать большее приращение урожая, нежели в присутствии физиологически нейтральных или щелочных солей. Полученные нами результаты позволяют усмотреть лишь одно существенное различие в действии на лен и горчицу различных азотсодержащих солей, а именно: у горчицы прирост органической массы, даваемый различными фосфатами в присутствии аммонийных солей, в большем числе случаев и сильнее по величине отстает от прироста в присутствии азотнокислого кальция, нежели у льна. Если мы обратим внимание на то, что это имеет место как раз в тех случаях, когда фосфат при азотнокислом кальции менее доступен льну, нежели горчице (фосфорнокислый кальций и алюминий и подольский фосфорит), то такое различие между этими растениями можно будет объяснить тем, что в общем эффекте от аммонийных солей положительное их влияние (именно увеличение растворимости фосфата) у льна играло большую роль, нежели у горчицы.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании всех вышеприведенных опытов мы можем сделать следующие выводы.

1. Как доступность фосфорной кислоты того или иного фосфата, так и общий эффект, вызываемый внесением его под растение и измеряемый величиной получаемого прироста органической массы, находятся в тесной зависимости от свойств среды (т. е. субстрата и тех удобрений, какие вносятся совместно с фосфатом), в которой произрастает растение, и от рода возделываемого растения.

2. Из исследованных нами фосфорнокислых солей наименее доступной растениям является фосфорнокислая железо независимо от свойств среды и рода растения. Сравнительная доступность остальных двух фосфатов (кальция и алюминия) уже определенно зависит от того и другого; оставляя в стороне фосфат кальция, приготовленный нами по способу Шлезинга как сильно уклоняющийся по своему составу от формулы $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$, мы видим, что фосфорнокислый алюминий при недейтельном субстрате более доступен горчице, нежели трехкальциевый фосфат; при субстрате же деятельном, и деятельном главным образом своей углекислотой, различие в доступности этих фосфатов горчице сглаживается;

для льна же и овса фосфорнокислый алюминий и в этих условиях более доступен, нежели трехкальциевый фосфат.

3. Независимо от рода азотнокислого удобрения все испытанные фосфорнокислые соли и фосфорнокислые удобрения оказались значительно более доступными горчице, нежели льну и овсу, и немного более доступными льну сравнительно с овсом; в частности, подольский фосфорит, использовавшийся горчицей довольно сильно, почти не влиял на урожай льна и особенно овса.

4. Сернокислый и азотнокислый аммоний повышают доступность фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых солей, но на величину прироста урожая могут при этом влиять в зависимости от растения различно, и даже понижаяюще.

5. Присутствие углекислого кальция понижает доступность растениям трехкальциевого фосфата; влияние его на доступность фосфорнокислого алюминия и железа должно находиться в зависимости от свойств почвы; на почве почти нейтральной, какая была в наших опытах, не могущей более или менее заметно повышать растворимость этих фосфатов, вследствие почти полного отсутствия в ней свободных органических кислот, более сильных, чем уголекислота, углекислый кальций несколько повышает доступность этих фосфатов; на почвах же с большей кислотностью он может и понизить ее.

МАТЕРИАЛЫ К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ НА РАСТЕНИЯ КИСЛОТ, ЩЕЛОЧЕЙ И НЕКОТОРЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

(Из сельскохозяйственной гим. лаборатории в СПб.)

Летом 1908 г. мною было предпринято исследование действия различных солей, в обширном смысле этого слова, на ряд сельскохозяйственных растений. Довести эту работу до намеченного конца мне не пришлось, и так как, быть может, в ближайшем будущем она не будет закончена мною, а между тем и то, что у меня уже получено, может представлять некоторый интерес, я решаюсь ее опубликовать.

Как известно, вопрос, затрагиваемый мною, представляет большой интерес не только с теоретической точки зрения, но и с чисто практической; в последнем отношении он уже давно занимал американцев, а в настоящее время, когда солончи юго-востока европейской России и азиатской России привлекли к себе внимание, он самой жизнью выдвигается на очередь и у нас. Но так как почвенные растворы являются растворами целой массы самых разнообразных веществ (кристаллоидов—электролитов и неэлектролитов, и коллоидов), то самый, казалось бы, естественный, прямой и простой метод для решения вопроса о влиянии того или другого соединения (при электролитах того или другого иона)—наблюдение над ростом растения на почвах или соответствующий опыт и параллельное определение содержания в почвенных водных вытяжках соответствующего вещества или иона—должен оказаться на самом деле ненадежным; кроме того, я думаю, что он окажется гораздо сложнее и не так скоро приведет к желаемой цели¹, нежели другой метод, о котором речь будет впереди, тогда как с первого взгляда может казаться обратное. Если мы даже оставим совершенно в стороне такие существенные возникающие при работе этим методом вопросы, как то: соответствие между данными, полученными почвенными водными вытяжками, и количественным составом (концентрацией) почвенного раствора, количественное содержание в последнем того или другого вещества в различное время и степень влияния на данное растение в различные периоды его роста одного и того же вещества при одной и той же концентрации его в почвен-

¹ Наблюдение над растительностью с параллельным исследованием воднорастворимых соединений почвы имеет большое значение в другом отношении; оно дает темы, указывает те соединения и те смеси их, на которые необходимо обратить внимание и действие которых на растения должно быть подвергнуто всестороннему изучению: оно дает, как и всякое наблюдение в природе, материал для научного исследования, но само по себе не заменяет его.

ном растворе, и обратим внимание лишь на то, что в почвах, кроме исследуемого вещества, находится целый ряд других веществ, соотношение которых между собой и исследуемым веществом в различных почвах может быть очень неодинаково, то, я думаю, придется согласиться с только что высказанным. В самом деле, уже известны, например, такие факты, что действие хлористых солей, могущих встречаться в почве, обуславливается не только действием хлор-иона, но и соответствующего ему катиона: так, хлористый магний сильнее вредит растениям нежели в соответствующей концентрации хлористый натрий или хлористый калий¹. Но мало того, и действие на растение данного соединения (в случае электролита суммарное действие обоих ионов) может изменяться от присутствия в растворе других соединений, как электролитов, так и неэлектролитов, как кристаллоидов, так и коллоидов, а весьма вероятно, и в зависимости от других факторов, как, например, метеорологических условий. В подтверждение укажу прежде всего на так называемое в физиологии животных «антагонистическое действие солей», состоящее в том, что, как это было впервые установлено J. Loeb'ом², ядовитое действие на животные организмы некоторых солей (например NaCl), по крайней мере, отчасти понижается прибавлением к раствору других солей (например, KCl или MgCl₂); это же было подтверждено в той же области другими исследованиями, а применительно к растениям W. Osterhout'ом³; последний, например, показал, что высшие растения в растворах на каждой из нижеследующих солей: NaCl, KCl, MgCl₂ и CaCl₂, развиваются хуже, нежели в растворах каждой из последних трех солей с прибавлением хлористого натрия, причем при известном соотношении между количествами NaCl и одной из указанных солей ускорение роста достигает максимума⁴. Затем укажу на уменьшение вредности кислоты в присутствии нейтральных солей, о чем подробнее будет изложено в соответствующем месте; далее приведу следующий факт: по исследованиям Longbridge⁵ пшеница на более или менее связной почве хорошо выносит не больше 0,0042% хлора, а при 0,034% хлора почва дает плохой урожай этого растения; по данным г. Скалова⁶, содержание хлора в 0,051% служит препятствием даже появлению всходов пшеницы, а между тем мне при вегетационных опытах по изучению потребности почв в удобрении пришлось натолкнуться на почву из Ямбургского уезда, из которой водная вытяжка извлекала (в процентах на сухую почву):

минеральных и органических веществ	0,413
минеральных веществ	0,252
хлора	0,075
серной кислоты (SO ₃)	0,0178

Урожай же овса по полному удобрению она давала в 92,3 г на сосуд, на нейтральных же черноземах в тот же год мы имели по полному удобрению

¹ Н. Тулайков. Солонцы, их использование и улучшение. «Сельское хозяйство и лесоводство», 1910, май. Это же подтверждается и нижеприводимыми моими исследованиями.

² J. Loeb. Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen, 81.

³ M. Osterhout. Botan. Gazette, т. 42, 1906, стр. 127; т. 44, 1907, стр. 259; т. 45, стр. 117 и т. 46, стр. 53, 1908; Jahrb. f. wiss. Botanik, т. 46, 1908, стр. 121; реф. последней работы в «Журн. оп. агр.», т. 10, 1909, стр. 232.

⁴ См. также об антагонистическом действии MgSO₄ и NiCl₂ в опытах Фризаена (Н. а. б. к. х. К вопросу о раздражителях роста, стр. 143).

⁵ Н. Тулайков. Солонцы, их использование и улучшение. «Сельское хозяйство и лесоводство», 1910 июнь, стр. 292.

⁶ Б. Скалов. Опытные посевы в Темирском уезде, Уральской области. «Журн. сл. агр.», т. 9, 1908, стр. 356.

нию 102 г на сосуд, причем растения развивались роскошно и ни о каком страдании их не могло быть и речи; затем нужно заметить, что и в полевой культуре на этой почве не замечалось каких-либо вредных свойств ее и что как оподзоленная почва она содержит сравнительно много магния; легко видеть, что нельзя приписать всецело меньшую ядовитость хлора в этой почве по сравнению с ядовитостью его в почвах востока России и в засушливых местностях Америки только большей влажностью первой почвы; тут, кроме этого, влияло что-то другое, быть может другие соединения почвенного раствора: например, слабокислая реакция почвенного раствора этой почвы могла понижать вредное действие хлоридов, о чем ниже, а быть может, хлор-ион при одной и той же концентрации в зависимости от температуры воздуха и влажности его неодинаково вреден растениям; что последнее предположение не является вполне вероятным указывают, например, последние работы W. Pauli¹, S. Lewites², показывающие, что температура, при которой свертываются белки, находится в зависимости от присутствующих нейтральных солей³.

По таким-то соображениям я думаю, что вопрос об изучении влияния на растения соединений, находящихся в почвенных растворах, вопрос о соотношении растительности с составом этих растворов, должен быть при своем изучении расчленен на отдельные частные вопросы; такой прием будет более правилен в научном отношении, в практическом же приведет скорее к желаемым результатам. Первым из этих частных вопросов является отношение различных растений к растворам различной концентрации одних соединений; необходимо подробно изучить в отдельности влияние на растения каждого вещества из могущих встречаться в почвенном растворе, а затем уже перейти к изучению действия смесей.

Мои исследования касались лишь первого вопроса: я изучал влияние на растения различных кислот, щелочей и некоторых солей и главной целью этого изучения ставил, с одной стороны, определение *максимальной* концентрации каждого из этих соединений в отдельности, еще переносимой различными сельскохозяйственными растениями без сколько-нибудь заметного для них вреда; а с другой стороны, определение *минимальной* концентрации⁴ этих веществ, достаточной уже для полного умерщвления растения. Ввиду такой задачи эти исследования я производил в водных культурах, в чистых растворах различной концентрации испытуемого вещества. При приготовлении растворов я пользовался колодезной водой вегетационной станции нашей лаборатории, вообще чрезвычайно бедной посторонними примесями; вода эта предварительно фильтровалась через чистый кварцевый песок; дистиллированную воду я опасался применять ввиду ядовитого действия ее на растения, могущего затемнить изучаемое влияние⁵. Действие веществ я изучал только

¹ W. Pauli. Kolloidchemische Studien am Eiweiss. Kolloid Ztschr., т. III, 1908, стр. 2, имеется также в виде отдельной брошюры под тем же заглавием. См. также Wo. Ostwald. Ueber den Einfluss von Elektrolyten auf die Temperaturkoagulation von Eiweisslösungen. Там же, т. II, 1907, стр. 108 и 138.

² S. Lewites. Studien über organische Kolloide. Kolloid-Ztschr., т. III, стр. 145.

³ Не касаюсь здесь вопроса о влиянии тех или иных коллоидальных веществ почвы на действие на растения различных кристаллоидов; вопрос этот слишком сложен, чтобы на нем останавливаться мимоходом.

⁴ В последующем изложении термины «максимальная» и «минимальная» концентрации будут употребляться в только что указанном значении.

⁵ Интересное явление—ядовитость дистиллированной воды для организма—в последнее время в известной степени освещено: с одной стороны, доказана чрезвычайно сильная ядовитость для живой клетки солей тяжелых металлов (уже при самой вы-

на молодых (5—10-дневных всходах) растениях, так что все выводы, которые я буду делать в дальнейшем, будут относиться к растениям такого возраста и они не могут быть, конечно, без дальнейших исследований переносимы на растения другого возраста. Для получения посадочного в банки с растворами материала я высевал семена растений в деревянные ящики с песком и поливал их питательным раствором; по достижении всходами указанного возраста ящики разбирались, всходы с песком малыми порциями переносились в чашку с водой для отмывания корней от песка; отмываемые таким образом всходы тщательно подбирались по величине и внешнему виду так, чтобы в одну целую серию выбранные растения были по возможности одинаковы; затем всходы пересаживались обычным способом в банки емкостью 500 куб. см, наполненные раствором испытуемого соединения известной концентрации. Для каждой концентрации ставилось по две банки и в каждую из них высаживалось по два экземпляра исследуемого растения; при каждой серии для контроля ставилось две банки с чистой водой.

Ни каких измерений, ни высоты растений, ни величины испарения, я не производил, а ограничился лишь возможно частым осмотром растений и подробной записью всех видимых перемен, и заключения о действии того или другого вещества выводил на основании всех внешних признаков, улавливаемых глазом; такой способ я считаю наиболее простым и наиболее отвечающим моей задаче как дающий наиболее правильное и полное представление о влиянии вещества на растение, тогда как любое из измерений, применяющихся при подобных же исследованиях, несмотря на свою большую объективность, дает, по моему мнению, лишь одностороннее представление об изучаемом явлении.

Из солеобразных соединений мною исследовались все три главных их вида: кислоты, щелочи и соли (в узком смысле), причем наиболее законченным является исследование действия кислот и наименее—исследование действия солей.

1. ДЕЙСТВИЕ КИСЛОТ НА РАСТЕНИЯ

Исследования W. Maxwell¹, Kahlenberg² и True³, а в последнее время А. И. Набоких³, а также целый ряд наблюдений над ростом растений на подзолистых кислых почвах и торфяниках твердо установили, что из солеобразных веществ по степени их вреда растениям на первом месте стоят кислоты. Но так как сильные кислоты и их соли в таких концен-

чтожной концентрации—1 на 1 000 миллионов—солей меди, серебра и ртути микроорганизмы страдают и погибают, см. W. Pauli. Beziehungen der Kolloidchemie zur Physiologie. «Kolloid. Ztschr.», т. 1, стр. 101, а также отдельная брошюра) и выяснена зависимость этого явления от сильной абсорбции этих солей коллоидальными веществами (см. Н. Morawitz. Ueber Adsorption und Kolloidfällung, Kolloidchemische Beihefte, т. 1, стр. 304; W. Ostwald u. A. Dernoscheck. Ueber die Beziehungen zwischen Adsorption und Giftigkeit, «Kolloid. Ztschr.» т. 6, стр. 297); с другой стороны, ввиду того, что дистиллированная вода, полученная из кварцевой посуды, также сильно ядовита для организмов, в физиологии животных (J. Loeb. Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig, 1905, стр. 112) склоняются к тому, что вода, совершенно лишенная солей, сама по себе сильно ядовита для большинства живых организмов.

¹ W. Maxwell. Die relative Empfindlichkeit von Pflanzen gegen über dem Säuregehalt in Boden. Landw. Vers. St., т. 50, 1898, стр. 325.

² Kahlenberg and True. Botan. Gazette, т. 22, 1896, стр. 81; привожу по F. Cameron'y, Soils Solutions... Bull. № 17, H. S. Depart. of Agric.

³ А. Набоких. К вопросу о раздражителях роста. Одесса, 1908.

трациях, при которых первые сильно вредят растениям, почти целиком диссоциируют в водных растворах на составляющие их ионы и так как соответствующие соли в тех же концентрациях безвредны растениям, то само собою вытекает весьма вероятный вывод, что особое положение, занимаемое кислотами, обуславливается содержанием в их водных растворах иона водорода, что этот ион из числа встречающихся в почвах и более или менее исследованных в этом направлении является наиболее ядовитым для растений¹.

В своих исследованиях действия кислот я остановился на следующих растениях: горчице, льне, ячмене, вике, овсе, люцерне и клевере, причем над последними тремя растениями опыт был произведен в сокращенном масштабе.

Так как являлось очень интересным сравнить действие на растения кислот в зависимости от силы последних, т. е. от степени их электролитической диссоциации в водных растворах, то опыты с первыми четырьмя растениями были поставлены на трех сильных кислотах: соляной, азотной и серной, и четырех слабых: одной неорганической—ортофосфорной кислоте и трех органических—уксусной, щавелевой и лимонной. Над остальными тремя растениями опыты производились лишь с двумя кислотами—серной и щавелевой.

Насколько выбранные нами кислоты различаются между собой по степени их электролитической диссоциации, показывают нижеследующие данные.

*Степень электролитической диссоциации кислот
в 0,1 норм. растворе (количество
диссоциированных молекул в процентах
от общего их количества)*

Соляная	кислота	90
Азотная	»	90
Серная	»	60
Щавелевая	»	34
Ортофосфорная	»	13
Уксусная	»	1,4

Для лимонной кислоты я не мог найти в литературе данных по ее диссоциации.

Полученные результаты действия кислот я изложу сначала для каждого растения в отдельности, после чего сделаю общие выводы.

ГОРЧИЦА

Под этим растением все означенные выше семь кислот были исследованы в следующих концентрациях: 0,01, 0,008, 0,006, 0,004, 0,003, 0,0025, 0,002, 0,0015, 0,001, 0,0008, 0,0006, 0,0004, 0,0002, 0,0001 нормального². Опыт повторялся четыре раза; всходы горчицы высаживались

¹ Это положение все-таки не может считаться окончательно доказанным: непосредственным опытом оно не подтверждено, а приведенное очень веское соображение не исключает и других толкований, хотя и гораздо менее правдоподобных; так например, тот факт, что соляная кислота гораздо вреднее хлористого натрия, можно объяснить и таким образом, что вредное действие иона хлора ослабляется ионом натрия в большей степени, чем ионом водорода.

² Означенные концентрации выражают количество грамм-эквивалентов (т. е. при одноосновных кислотах—соляной, азотной и уксусной—молекулярный вес в граммах, при двуосновных—серной и щавелевой—он же, деленный на два, а при трехосновных ортофосфорной и лимонной—деленный на три) на литр раствора.

обычным для водных культур способом—в банки, содержащие каждая по 500 куб. см кислоты соответствующей концентрации. Каждый опыт продолжался 8—10 дней. Результаты показали следующее.

На сильных кислотах (соляной, азотной и серной) совершенная гибель горчицы во всех опытах имела место при концентрациях 0,002—0,001 норм.; таким образом, концентрация эта для исследованных сильных кислот является минимальной концентрацией, совершенно убивающей горчицу: в этом отношении различия между азотной и соляной кислотой, с одной стороны, и более слабой (менее диссоциированной) серной кислотой, с другой стороны, уловить не удалось; но это различие ясно проявилось в скорости воздействия: в то время как на соляной и азотной кислотах концентрации 0,002 норм. через 6 часов после постановки опыта было отмечено уже ясное страдание горчицы, первые признаки его на серной кислоте той же концентрации обнаружилось лишь через 24 часа, когда горчица на первых двух кислотах уже окончательно погибла; гибель же горчицы на серной кислоте отмечена через 34 часа после посадки. Более концентрированные кислоты губили горчицу еще быстрее; вообще продолжительность жизни горчицы между наивысшей исследованной мною концентрацией (0,01 норм.) и минимальной концентрацией правильно возрастала с уменьшением концентрации; но в различных сериях опытов, производившихся в различное время лета, продолжительность жизни растений¹ и начало страдания на кислоте одной и той же концентрации были не одинаковы; насколько можно было заметить в тех сериях, которые попадали в более жаркую погоду, страдания и смерть растений наступали раньше, нежели в сериях, поставленных в более холодную и пасмурную погоду; окончательно убедиться в правильности этого наблюдения мне не пришлось.

Сильные кислоты в более слабых концентрациях, нежели 0,001 норм., по мере уменьшения концентрации вредили все слабее и слабее, страдание горчицы наступало все позже, и при концентрации 0,0004 норм. растения оставались все время опыта совершенно нормальными и несколько не отличались от растений, посаженных в чистую воду; таким образом, в наших опытах концентрация 0,0004 норм. при сильных кислотах являлась максимальной концентрацией, переносимой горчицей без заметного для себя вреда; повышение ее уже до 0,0006 вызывало хотя и слабое, но вполне ясное страдание, наступавшее дня через четыре после перенесения горчицы в такой раствор.

Перехожу теперь к действию на горчицу слабых кислот: ортофосфорной, уксусной, щавелевой и лимонной; из них наиболее сильно действующими оказались уксусная и щавелевая; и по скорости проявления страдания горчицы и по величине минимальной и максимальной концентрации обе эти кислоты лишь очень слабо уступают сильным кислотам и мало различаются между собою; как на той, так и на другой кислоте минимальной концентрацией, еще губящей совершенно горчицу, является концентрация 0,002—0,0015 норм., т. е. почти та же, что и для сильных кислот; максимальная концентрация этих кислот, не причиняющая вреда горчице, также оказалась довольно близкой к таковой у сильных кислот, а именно она около 0,0006 норм. (для сильных кислот 0,0004 норм.).

Как видно из этих данных, уксусная и щавелевая кислоты по своему действию на растение очень близки между собою; но если принять во внимание быстроту, с которой наступало страдание и смерть горчицы,

¹ Это относится не только к горчице, но и ко всем исследованным мною растениям.

а также интенсивность страдания при одной и той же концентрации. то на основании этих данных уксусную кислоту надо признать сильнее действующей, нежели щавелевая кислота; так, в одном из опытов на концентрации 0,0002 норм. горчица стала страдать на уксусной кислоте через 16 часов после постановки опыта, тогда как на щавелевой кислоте лишь через 24 часа.

Менее вредной, нежели уксусная и щавелевая кислоты, оказалась ортофосфорная кислота: минимальная концентрация ее, еще губящая горчицу, лежит около 0,003, а максимальная, переносимая горчицей без вреда, около 0,0008 норм. Наконец, наименее вредной из исследованных кислот является лимонная кислота: минимальная ее концентрация, умерщвляющая горчицу, лежит около 0,004, а максимальная, переносимая этим растением, — 0,0015 норм.

Таким образом, данные для минимальной и максимальной концентрации (в норм.) исследованных кислот в отношении горчицы представляются в следующем виде.

Кислота	Соляная	Азотная	Серная	Уксусная	Щавелевая	Ортофосфорная	Лимонная
Минимальная концентрация	0,002—0,001			0,002—0,0015		0,003	0,004
Максимальная концентрация	0,0004			0,0006		0,0008	0,0015

Табличка показывает, что наиболее слабая по своему действию из исследованных кислот — лимонная кислота убивает горчицу при концентрации 0,004 норм. или в 0,035% растворе и вредит ей между концентрациями 0,004—0,0015 норм., т. е. при содержании ее в процентах 0,035—0,010, и только последняя концентрация может считаться вполне безвредной для горчицы. Если допустить, что почва обладает наибольшей влагоемкостью в 50% и что она находится при этой влажности (т. е. на 100 г сухой почвы приходится 50 куб. см почвенного раствора), то вышеприведенные концентрации кислоты в этом растворе будут соответствовать содержанию кислоты в водной вытяжке из почвы 0,0175—0,005 г на 100 г сухой почвы; кислотность водных вытяжек обычно определяется в 50 куб. см вытяжки, соответствующим 10 г почвы; при вышеприведенных концентрациях этому количеству почвы отвечает 0,0017—0,0005 г кислоты; при определении такого количества кислоты титрованием потребуются от 1 до 0,4 куб. см 0,01 норм. раствора едкой щелочи.

Это вычисление я здесь привожу только для того, чтобы нагляднее показать, какая ничтожная кислотность уже достаточна для того, чтобы вредить и даже совершенно губить горчицу; но этими полученными нормами нельзя руководствоваться при обсуждении значения той или другой величины кислотности почвы: во-первых, характер кислот, находящихся в почвенном растворе, вполне неизвестен: они могут быть и слабее и сильнее лимонной (присутствие в почвах уксусной кислоты при известных условиях вполне мыслимо, а для нее приведенные нормы еще уменьшатся более чем вдвое); а во-вторых, в почвах могут присутствовать такие нейтральные соединения, которые, не уменьшая кислотности, будут однако понижать ее ядовитое действие; как мы увидим ниже, с до-

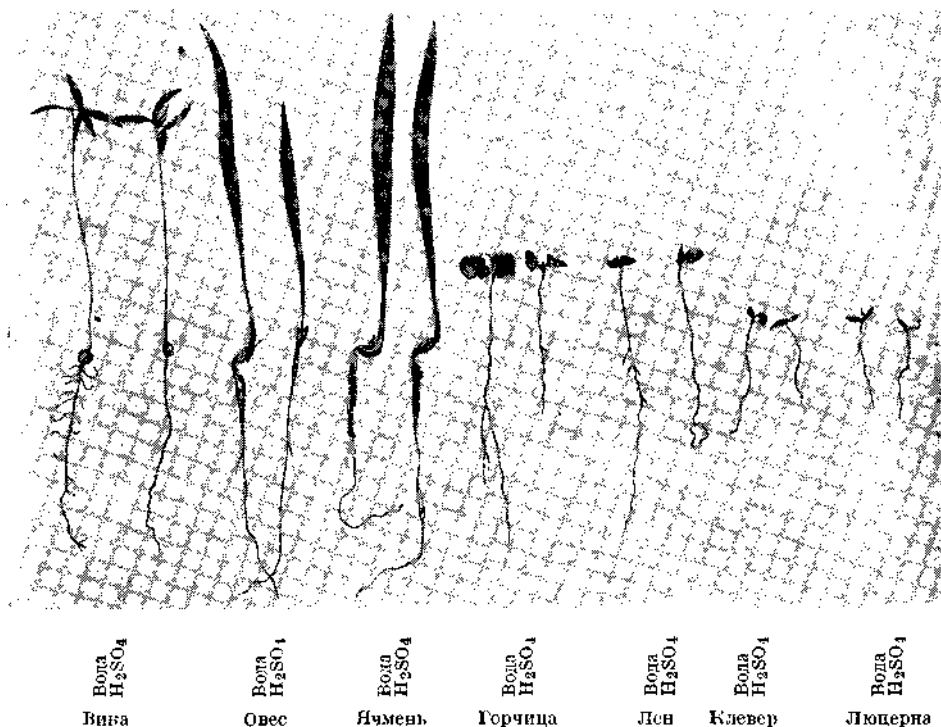


Рис. 1. Вид растений после трехчасового пребывания в 0,005 норм. H_2SO_4

статочно большей уверенностью можно говорить, что такие соединения в действительности имеются в почвенных растворах.

Оставляя вопросы о степени соответствия силы кислот с ядовитостью их для растений и причинах большей ядовитости водородного иона по сравнению с другими ионами почвенных растворов до общего заключения о действии кислот на растения, я опишу теперь характер страдания горчицы, вызываемого кислотностью.

На концентрированных кислотах (0,01 норм. и выше) уже через час и меньше появлялись первые признаки ядовитого действия кислоты—самые молодые части корня, не изменяя своей толщины, начинали терять свою упругость и отвисать; это явление постепенно распространяется на весь корень до шейки; затем начинают появляться признаки страдания надземной части: на стебле между семядолями и шейкой корня или у самой шейки появляется сильное местное утончение; если стебель толстый, мясистый, то признак этот очень резкий: нижняя и верхняя нормальные части стебля точно соединены между собой тонкой короткой ниткой; постепенно длина этой нитки увеличивается за счет нормального, и в конце концов он весь и черешки листьев становятся ниткообразным; все это время листья остаются вполне нормальными и начинают вянуть и сохнуть только после того, как вышеописанное изменение стебля дойдет вплотную до них. На более слабых концентрациях имеет место то же самое, но утончение стебля начинается тем позже и тем слабее и менее характерно, чем слабее концентрация; на очень слабых концентрациях, граничащих с безвредными, страдание проявляется только потерей корнями упругости и появлением живых корешков.

На фотографии 1 сняты все семь исследовавшихся растений через 3 часа после высадки их в раствор серной кислоты концентрации 0,005 норм.; рядом с каждым таким растением помещено нормальное, находившееся в чистой воде: рисунок показывает, что стебель горчицы утончился уже почти до самых листьев и настолько высох, что принял зигзагообразную форму, вследствие чего кажется значительно короче стебля нормальной горчицы, между тем как оба они одинаковой длины.

ЛЕН

Со льном ставились опыты на тех же кислотах, что и с горчицей; на основании предварительного опыта, в котором кислоты брались в концентрациях 0,01, 0,001 и 0,0001 норм., в дальнейшем исследовалось действие на лен следующих концентраций означенных кислот: 0,002, 0,0015, 0,001, 0,0008, 0,0006, 0,0004, 0,0002, 0,0001 норм. Опыты велись с 7—9-дневными всходами льна в банках емкостью 500 куб. см и были повторены три раза.

Каждый опыт продолжался в течение 8—10 дней, по прошествии которых растения на означенных концентрациях имели следующий вид.

1) На *сильных кислотах* лен совершенно погиб при концентрациях 0,002, 0,0015 и 0,0010 норм., при концентрации 0,0008 почти погиб, при концентрации 0,0006 лен ясно страдал—корни потеряли упругость, нижняя часть стебля сильно утончилась, часть листьев повяла, но появились и новые побеги; при концентрации 0,0004 имело место то же, но страдание было значительно слабее, при концентрации 0,0002 лен все время оставался вполне нормальным, дал новые корни и листья. Таким образом *минимальной концентрацией сильных кислот, уже убивающей лен, является концентрация 0,001 норм., а максимальной переносимой еще льном без вреда 0,0002 норм.* Страдание льна

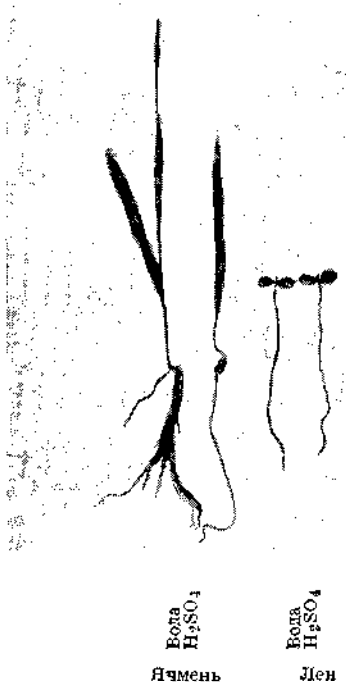


Рис. 2. Вид растений после 48-часового пребывания в 0,005 норм. H_2SO_4 .

при концентрации 0,001 норм. было замечено лишь на вторые сутки; при концентрации, следующей по своей величине за максимальной—0,0004, первые признаки страдания льна появились лишь на шестые сутки.

2) На *уксусной и щавелевой кислотах* лен совершенно погиб при концентрациях 0,002 и 0,0015 норм.; при концентрации 0,01 сильно страдал; при 0,0008 лен был почти здоров, дал новые корешки и листья; при 0,0006; норм. на щавелевой кислоте был вполне здоров, а на уксусной проявлял чрезвычайно слабые признаки страдания; при 0,0004 и ниже растения были вполне здоровы на обеих кислотах. Таким образом, *минимальной концентрацией щавелевой и уксусной кислот в отношении льна является 0,0015*

норм., а максимальной для щавелевой 0,0006, а уксусной 0,0004. Страдание на минимальной концентрации обеих кислот проявилось на третьи сутки, лен погиб на шестые сутки; страдание при концентрации, несколько высшей максимальной, проявилось у льна лишь на седьмые сутки.

3) На ортофосфорной кислоте лен погиб при концентрации 0,002 и 0,0015, при 0,001 ясно страдал, но дал новые побеги и корешки, при 0,0008 страдание было еще заметное, а при концентрации 0,0006 лен был вполне здоров. Таким образом, минимальной концентрацией ортофосфорной кислоты для льна будет 0,0015 норм., а максимальной 0,0006 норм. Страдание на минимальной концентрации проявилось на третьи сутки, а смерть льна на шестые сутки; страдание при концентрации несколько высшей максимальной проявилось на пятые сутки.

4) Лимонная кислота действовала на лен слабее всех остальных кислот; при концентрации 0,002 норм. лен лишь сильно страдал, но не погибал; опыт, поставленный с концентрациями 0,005, 0,004 и 0,003 показал, что лишь при концентрации 0,003 лен погибает совершенно; при концентрации 0,0015 лен еще заметно страдал, при концентрации 0,001 норм. страданий заметно не было, но вместе с тем лен не развивался вовсе и отстал от контрольного; при концентрации 0,0008 и ниже развитие льна не отставало от развития контрольных экземпляров. Таким образом, минимальная концентрация лимонной кислоты для льна 0,003, а максимальная 0,001 норм.

Сводя полученные для льна данные вместе, получаем следующую таблицу.

Кислота	Соляная	Азотная	Серная	Уксусная	Щавелевая	Ортофосфорная	Лимонная
Минимальная концентрация	0,001			0,0015		0,0015	0,003
Максимальная "	0,0002			0,0004	0,0006	0,0006	0,001

Внешний вид страданий льна проявлялся в общем так же, как и у горчицы: сначала теряли свою упругость корни и корешки прилегли вплотную к главному стержню; затем начинал утончаться стебель; но все это проявлялось не так скоро, как у горчицы, и утончение стебля не так резко бросалось в глаза, как у последней, что видимо обуславливалось меньшей мясистостью стебля льна. На рис. 1, снятом с растений, высаженных одновременно, через 3 часа после постановки опыта (серная кислота концентрации 0,005) у льна еще не заметно никаких признаков страдания, тогда как у горчицы они совершенно ясны; на рис. 2 лен и ячмень, высаженные в такую же кислоту и одновременно с растениями рис. 1, сфотографированы лишь через 48 часов, к этому лишь времени ясно проявилось утончение стебля льна (первый экземпляр на рис. 2 в чистой воде, 2-й на 0,005 норм. серной кислоте).

ВИКА ОБЫКНОВЕННАЯ

Предварительный опыт на растворах кислот концентрации 0,01, 0,001 и 0,0001 норм. показал, что вика менее чувствительна к кислотности, нежели лен и горчица. Затем были поставлены опыты на тех же кислотах при концентрациях 0,1, 0,008, 0,006, 0,004, 0,002, 0,001, 0,0008,

0,0006, 0,0004 норм. Опыт при этих концентрациях повторялся три раза с викой 8—11-дневной; опыты продолжались 15—25 дней. Результат этих опытов был следующий.

На *сильных кислотах* (соляной, азотной и серной) растения гибли при концентрации 0,004 и выше; при концентрации 0,002 норм. вика страдала очень сильно, почти весь ее стебель повял; таким образом, *минимальная концентрация этих кислот, совершенно губящая вику, лежит между 0,004 и 0,002 норм.* При концентрации 0,001 норм. вика страдала слабо, но вполне ясно, что выражалось в том, что боковые корешки, в начале опыта отходившие от главного корня почти под прямым углом, совершенно отвисли и прилипли к главному корню; при концентрации 0,0008 норм. замечалось лишь слабое страдание корней, но по росту вика при этой концентрации, а также при 0,0006 отстала от вика в чистой воде; при концентрации 0,0004 норм. все три сильные кислоты вовсе не вредили вике и рост ее несколько не отличался от роста в чистой воде; таким образом, *максимальная концентрация сильных кислот, переносимая без вреда викой, лежит между 0,0006 и 0,0004 норм.*

На самой высокой из исследованных мною концентраций сильных кислот, на 0,01 норм., страдания вика стали проявляться уже на втором часу после ее посадки: боковые корешки стали сгибаться концами к главному корню, образуя петли; при минимальной губящей вичу концентрации страдание ее начиналось часов через 8, а растения окончательно погибли лишь через 10 дней. На концентрации несколько выше максимальной, переносимой викой без вреда, на 0,0008 норм., вика стала страдать дней через 5 после посадки.

На *уксусной кислоте* вика совершенно гибла при концентрации 0,006 и выше; при концентрации же 0,004 норм. она выживала, хотя и очень сильно страдала; таким образом, *минимальной концентрацией уксусной кислоты для вика является концентрация, лежащая между 0,006 и 0,004 норм.*; страдания на 0,0006 норм. появились уже часов через 7 после посадки. При более низких концентрациях страдание замечалось на 0,002 и 0,001 норм.; при концентрации 0,0008 вика по внешнему виду была здорова, но по развитию отставала от вика в чистой воде; при концентрации 0,0006 норм. и ниже вика была совершенно здорова; таким образом, *максимальная концентрация уксусной кислоты для вика лежит между 0,0008 и 0,0006 норм.*

На *щавелевой кислоте* вика гибла при концентрации 0,008 и выше и не страдала вовсе при концентрации 0,001 норм.; таким образом, *минимальная концентрация щавелевой кислоты для вика будет между 0,008 и 0,006, а максимальная между 0,002 и 0,001 норм.*

На *ортофосфорной кислоте* и *лимонной кислоте* вика при концентрации 0,01 норм. сильно страдала, но не погибала, так что *минимальная концентрация этих кислот для вика несколько выше 0,01 норм.*; не страдала вика и развивалась одинаково с викой на чистой воде при концентрациях: фосфорной кислоты 0,0008 норм., а лимонной кислоты 0,001 норм.; таким образом, *максимальная концентрация для вика фосфорной кислоты 0,0010—0,0008, а лимонной кислоты 0,002—0,001 норм.*

Сводя полученные результаты в таблицу, имеем (см. табл. на стр. 203).

По внешним признакам страдания вика походила на страдания горчицы и льна: сначала теряли свою упругость корни; последнее у вика особенно наглядно благодаря ее крепким и упругим боковым корешкам, почти перпендикулярно отходящим от главного стержня; прежде всего теряли свою упругость боковые корешки, причем сначала конец корешка

Кислота	Соляная	Азотная	Серная	Уксусная	Щавелевая	Ортофосфорная	Лимонная
Минимальная концентрация . . .	0,004—0,002			0,006—0,004	0,008—0,006	Немного выше 0,01	
Максимальная концентрация . . .	0,0006—0,0004			0,0008—0,0006	0,002—0,001	0,001—0,0008	0,002—0,001

подгибался к главному корню и образовывалась таким образом петля, затем корешок этот совершенно терял упругость и целиком прилегал к главному корню; за боковыми корешками терял свою упругость главный корень; после этого появлялись внешние признаки страдания стебля, выпрямившиеся, так же как и у горчицы и льна, в появлении на нем на некотором расстоянии или у самой шейки сужения, которое постепенно распространялось вверх до листьев. На рис. 1 показано состояние вики на чистой воде и на серной кислоте 0,005 норм. через три часа после посадки: боковые корешки страдающей вики уже совершенно потеряли упругость и прилегли к главному стеблю, а стебель в нижней своей части сильно утончился. Отмечу еще следующую особенность у вики, страдающей от кислотности: через несколько дней после начала страдания на листочках вики краснели желки.

ЯЧМЕНЬ

Предварительный опыт при концентрациях кислот 0,01, 0,001 и 0,0001 норм. показал, что ячмень еще менее чувствителен к кислотам, нежели вика. Тогда были поставлены опыты с 10-дневными всходами ячменя на тех же семи кислотах при концентрациях 0,015, 0,01, 0,008, 0,006, 0,004, 0,002, 0,001, 0,0008, 0,0006; на этих концентрациях опыт был повторен трижды; продолжительность каждого опыта была около 20 дней. Результат этих опытов показал следующее.

На *сильных кислотах* ячмень погибал совершенно уже при концентрации 0,004 норм.; страдания на этой концентрации начинались только на 2-й день после посадки, окончательно же ячмень погибал лишь через 12 дней. Совершенно здоровым, давшим новые листья и корни был ячмень на концентрации 0,0008 и ниже. Таким образом, *минимальная концентрация сильных кислот, уже губящая ячмень, будет лежать между 0,004 и 0,002 норм., а максимальная, переносимая еще ячменем без видимого для него вреда, будет лежать между 0,001—0,0008.* На концентрации 0,001 норм. ячмень начал страдать на пятый день после посадки.

На *ортофосфорной и уксусной кислотах* ячмень погибал при концентрации 0,006 и совершенно не страдал при концентрации 0,001 норм.; таким образом, *минимальная концентрация этих кислот для него находится между 0,006—0,004, а максимальная между 0,002—0,001 норм.*

На *щавелевой кислоте* гибель ячменя происходила при концентрации 0,015, при концентрации же 0,01 он сильно страдал, но к концу опыта стал

давать новые листья и корни; при концентрации 0,001 норм. он вовсе не страдал и развивался не хуже, чем на чистой воде, а при концентрации 0,002 слабо страдал; таким образом, *минимальная концентрация щавелевой кислоты для ячменя лежит между 0,015 и 0,01, а максимальная между 0,002 и 0,001 норм.*

Легче всего переносит ячмень *лимонную кислоту*; он почти, но все-таки не вполне погибал только на концентрации 0,015 норм. и совершенно не страдал при концентрации 0,004, а при концентрации 0,006 проявлял лишь еле заметные признаки страдания. Таким образом, *минимальная концентрация лимонной кислоты для ячменя несколько выше 0,015, а максимальная лежит между 0,006 и 0,004 норм.*

Сводя результаты для ячменя в одно, получаем следующую таблицу.

Кислота	Солиная	Азотная	Серная	Уксусная	Ортофосфорная	Щавелевая	Лимонная
Минимальная концентрация	0,004—0,002			0,006—0,004	0,015—0,01	0,015—0,01	Выше 0,015
Максимальная концентрация							
	0,001—0,0008			0,002—0,001		0,002—0,001	0,006—0,004

Относительно внешних признаков страдания ячменя надо заметить, что они проявлялись позже, чем у горчицы и вики, но немного раньше (по крайней мере, при сильных концентрациях), чем у льна, и были вообще не так резки, как у этих растений, по характеру же своему они в общем не отличались от признаков страдания у остальных растений; отмечу, что концы листьев страдающего ячменя белели. На рис. 1, снятом через 3 часа после посадки, приведен ячмень, у которого были уже ясные признаки страдания—потеря упругости у корней и в нижней части стебля, но утончение нижней части стебля мало заметно; оно более заметно на рис. 2, снятом с растений через 48 часов после посадки.

ОВЕС, ЛЮЦЕРНА И КЛЕВЕР

Эти растения исследовались только на двух кислотах—серной и щавелевой и при двух концентрациях последних—при 0,01 и 0,001 норм.; одновременно с этими тремя растениями были высажены в такие же растворы горчица, лен, вика и ячмень, все в пятидневном возрасте; опыт продолжался с 17 августа по 2 сентября.

Опыт этот показал, что в отношении исследованных концентраций серной и щавелевой кислот *овес* ничем не отличался от ячменя; *клевер* относился к этим кислотам почти одинаково с горчицей, а *люцерна* оказалась менее чувствительной к кислотности, нежели клевер; так, на 0,001 норм. щавелевой кислоте клевер довольно сильно страдал, а люцерна очень слабо. Характер страданий этих растений был тот же, как и у ранее описанных, что видно по рис. 1. Листья у страдающего овса на концах краснели.

В заключение описания действия кислот на отдельные растения укажу на то, что сорт исследуемого растения может оказывать большое влияние на тот или другой результат действия. Мною во всех этих опытах употреб-

лялись семена, выписываемые лабораторией ежегодно из Юрьева от Общества балтийских семеноводов, а именно: горчица белая, лен-долгунец, вика обыкновенная, ячмень Шевалье, овес Лигово, клевер красный ранозцветущий, люцерна французская; рядом с овсом Лигово я ставил опыт с черным овсом Великий Могол, полученным мною от В. Г. Дюпелльмайера; этот сорт овса оказался заметно менее чувствительным к кислотности, нежели овес Лигово.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ДЕЙСТВИИ КИСЛОТ НА РАСТЕНИЯ

Сопоставляя данные для минимальной и максимальной концентраций различных кислот в отношении четырех более подробно изученных растений, получим таблицу 1 и графики 1 и 2.

Таблица 1

Минимальная концентрация (в норм.) кислот, уже совершенно губящая растения

Кислота	Соляная	Азотная	Серная	Уксусная	Щавелевая	Ортофосфорная	Лимонная
Лен	0,001	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,003	0,003
Белая горчица	0,002—0,001	0,002—0,0015	0,002—0,0015	0,002—0,0015	0,002—0,0015	0,003	0,004
Обыкновенная вика	0,004—0,001	0,006—0,004	0,006—0,004	0,008—0,006	0,008—0,006	Немного выше 0,01	Немного выше 0,01
Ячмень	0,004—0,002	0,006—0,004	0,006—0,004	0,015—0,010	0,015—0,010	0,006—0,004	Немного выше 0,015

Максимальная концентрация (в норм.) кислот, переносимая еще растениями без вреда

Лен	0,0002	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006	0,001
Белая горчица	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006	0,0008	0,0015
Обыкновенная вика	0,0006—0,0004	0,0008—0,0006	0,002—0,001	0,002—0,001	0,001—0,0008	0,002—0,001
Ячмень	0,001—0,0008	0,002—0,001	0,002—0,001	0,002—0,001	0,002—0,001	0,006—0,004

Как видно из этих данных, по своей чувствительности к кислотности в чистых растворах кислот лен во всех случаях занимает первое место: на всех исследованных кислотах он обладает более низкими концентрациями (и минимальной, уже губящей растение, и максимальной, еще переносимой им без вреда), нежели горчица, вика и ячмень. За льном следует горчица; ее чувствительность к кислотности, измеряемая означенными концентрациями, несколько ниже, чем у льна; но в другом отношении горчицу приходится признать чувствительнее льна: страдания ее на кислотах проявляются гораздо быстрее, чем у льна, и гибель ее при соответствующих концентрациях наступает значительно скорее, лен же долго борется с этим ядом. Далее по своей чувствительности к кислотности надо поставить вику, хотя опять-таки в одном отношении она более чувствительна, чем лен: на более сильных концентрациях первые признаки страдания у нее появляются раньше, нежели у льна, но в отличие от горчицы при слабых концентрациях она начинает страдать не так быстро, как лен. Наконец, наименее чувствительным к кислотам из исследованных нами растений оказался ячмень. Относительно остальных трех растений,

исследованных мною, менее подробно можно сказать, что клевер близко подходит к горчице, люцерна менее чувствительна, нежели последняя, но чувствительнее вики, овес же очень сходен с ячменем.

Относительно сравнительной вредности исследованным растениям различных кислот таблица показывает, что сильные кислоты: соляная, азотная и серная, для всех растений оказывались более вредными, чем остальные, слабые кислоты. Из слабых кислот по своей ядовитости на первом месте нужно поставить уксусную кислоту, хотя в некоторых случаях с нею в этом отношении сравнивались фосфорная и щавелевая кислоты. Наименее ядовитой кислотой в отношении всех растений оказалась лимонная кислота; это ее свойство особенно резко проявилось на ячмене, для которого минимальная концентрация ее оказалась в пять раз больше (0,015), нежели минимальная концентрация сильных кислот (от 0,004 до 0,002), но и для других растений разница в действии этих кислот довольно велика. Разница в действии различных кислот на одно и то же растение во всяком случае настолько велика, что, помимо всего прочего, судить о вредности той или другой степени кислотности почвенного раствора на основании определения общего количества свободных кислот, не имея совершенно представления даже о характере тех кислот, которые обуславливают эту кислотность, мне кажется чрезвычайно рискованным.

Далее из таблицы, а особенно ясно из графика, видно, что кривые ядовитости исследованных кислот для различных растений не параллельны; особенно резко выделяются в этом отношении ячмень и вика, для которых (у первого при минимальной концентрации, а у последней при максимальной) фосфорная кислота оказалась сравнительно гораздо более ядовитой, нежели для остальных растений.

Относительно характера внешнего страдания растений на кислотах (см. рис. 1, 2 и 3) можно сказать следующее. На всех исследованных кислотах у растений появляются одинаковые признаки страдания; это служит одним из показателей, что доминирующую роль в ядовитости всех кислот играет водородный ион, а не анион кислоты; одинаков и общий характер страдания у различных растений: у всех семи исследованных мною растений страдание началось с корней, которые теряли свою упругость, затем начинал вянуть стебель, утончаясь постепенно от нижней части к верхней, растение падало, но листья еще довольно долго оставались совершенно нормальными; такой ход резко проявлялся у растений с мясистыми стеблями и особенно у горчицы; у ячменя же и овса утончение стебля было мало заметно, а страдание их проявлялось главным образом размягчением; из частных отмечу покраснение жилок на листьях вики и концов листьев овса и побеление концов листьев ячменя.

Сопоставление ядовитости растениям различных кислот со степенью их электролитической диссоциации (см. табл. на стр. 196) или, что то же, с концентрацией водородного иона в их водных растворах, показывает, что хотя в общем параллелизм здесь и существует, но далеко не полный: слабые кислоты действуют значительно сильнее, чем можно было бы ожидать на основании степени их диссоциации; особенно выделяются уксусная, а затем щавелевая кислота, в некоторых случаях мало уступающие, особенно первая, по своей ядовитости сильным кислотам. Одной из причин этого явления будет не одинаковое действие на растения различных анионов кислот; из дальнейшего описания мы увидим, что эти анионы различно ядовиты для растений, и поэтому это побочное обстоятельство может уже нарушать строгий параллелизм между диссоциацией и ядовитостью; так, по нашим опытам сернокислый калий в одинаковых кон-

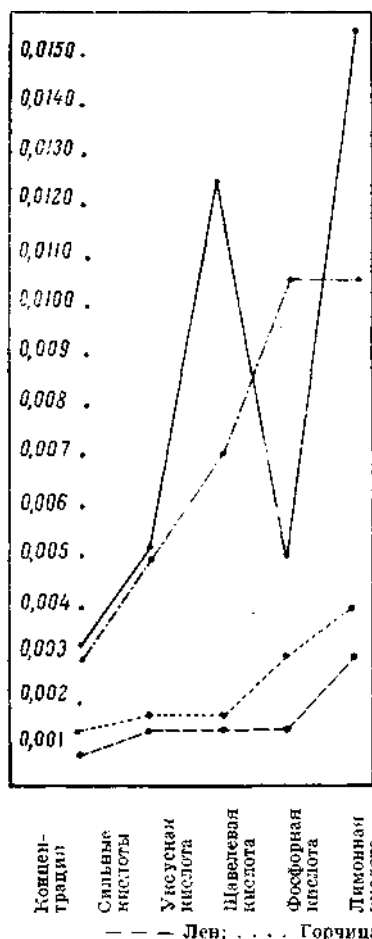


Рис. 3. Кривые минимальной концентрации кислот для различных растений.

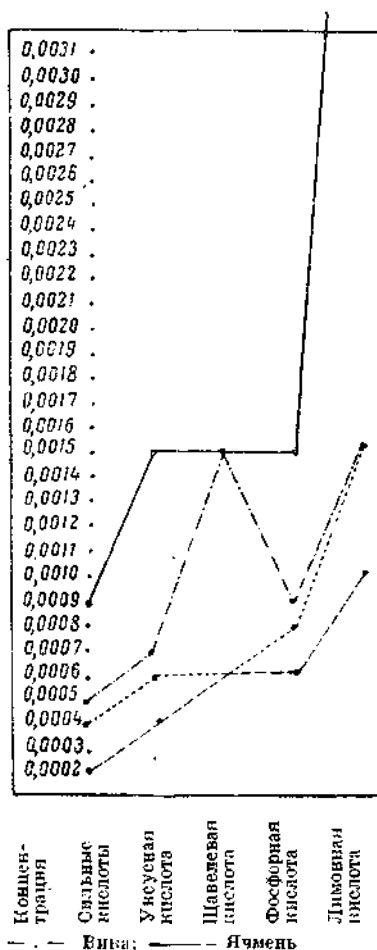


Рис. 4. Кривые максимальной концентрации кислот для различных растений.

центрациях с азотнокислым калием ядовитее последнего; этим, быть может, объясняется почти одинаковое действие на растения серной и азотной кислот, тогда как диссоциация первой меньше, нежели второй; но так как анионы кислот по своему ядовитому действию на растения значительно уступают водородному иону и так как кислоты убивают растения уже при таких концентрациях, при которых их анионы совершенно безвредны растениям, то, очевидно, различное действие анионов может в нарушении параллелизма между степенью диссоциации и ядовитостью кислот играть лишь ничтожную роль. Специально для выяснения роли аниона уксусной кислоты в сильном действии последней на растения мною в этом году были поставлены опыты, в которых я сравнивал ядовитое действие уксусной кислоты и уксуснокислого натрия; несмотря на то, что уксуснокислый натрий должен вредить растениям своей щелочностью, как соль, сильно гидролизующая с образованием гидроксильного иона, и несмотря на то, что вредное действие аниона в уксуснокислом натрии должно было сказаться гораздо сильнее, чем в соответствующей ему по концентрации уксусной

кислоте, так как диссоциация его гораздо значительнее диссоциации последней, несмотря на все это уксуснокислый натрий оказался значительно менее вредным, нежели уксусная кислота: к тому времени, когда на уксусной кислоте при концентрации 0,01 норм. горчица совершенно погибла, а на концентрации 0,001 норм. сильно страдала, на уксуснокислом натрии горчица погибла на 0,1 норм. и была совершенно здорова на 0,01 и 0,001 норм.; уксуснокислый натрий, таким образом, по своей ядовитости особенно ничем не выделяется из ряда солей неорганических кислот, исследованных мною (см. ниже).

Другой причиной, нарушающей указанный параллелизм, может быть действие на растения целой недиссоциированной молекулы, но в этом отношении чего-нибудь определенного сказать нельзя; в этом направлении еще ничего неизвестно; нельзя даже сказать, может ли растение воспринимать и воспринимает ли оно недиссоциированные молекулы электролитов или только их ионы.

Наконец, одной из причин вышеуказанного явления, иногда очень существенной, может быть адсорбция растворенного вещества на поверхности корней и абсорбция его коллоидальными веществами клеток растения. Мне уже приходилось указывать на первое явление и останавливаться вообще на адсорбции растворенных веществ твердыми телами¹, но за последнее время по этому вопросу сделано много и потому я позволю себе вкратце изложить современное состояние его и приложить к объяснению более сильного действия на растения слабых кислот по сравнению с тем что можно было ожидать на основании степени их диссоциации.

Исследования W. Gibbs'a² и J. Thomsen'a³ над явлением адсорбции в газовых смесях были в последнее время распространены на жидкие растворы и дальше развиты Milner'ом⁴ и особенно Н. Freundlich'ом⁵.

Эти исследования показывают, что влияние растворенного вещества на поверхностное натяжение растворителя находится в связи с характером адсорбции первого поверхностью твердого тела. Если обозначим: через u количество растворенного вещества, поглощенного единицей поверхности (т. е. избыток его, положительный или отрицательный, на единицу поверхности в сравнении с тем, что было бы в отсутствие этой поверхности); через c концентрацию растворенного вещества в жидкости; через T абсолютную температуру; через R постоянную из уравнения $pv=RT$, через S поверхностное натяжение, то между этими величинами будет существовать следующая зависимость⁶:

$$u = \frac{c}{RT} \frac{ds}{dc} \quad (1)$$

в нем c , R , T —величины всегда положительные, частная же производная

¹ К. Гедройц. К вопросу об изменении концентрации почвенного раствора. «Журн. оп. агр.», т. 7, 1906, стр. 537 и 543.

² W. Gibbs. Thermodynamische Studien.

³ J. Thomsen. Applications of the Dynamics on physics and chemistry.

⁴ Phil. Mag., 13, 1907, стр. 96.

⁵ Н. Freundlich. Die Adsorption in Lösungen. Ztschr. f. Physik. Chem., 57, 1907, стр. 385.

Недавно вышли две книги по тому же вопросу: L. Michaelis. Dynamik der Oberflächen (Dresden, 1909, стр. 88), излагающая учение о поверхностной энергии и связанных с нею явлений в довольно популярной форме, и Н. Freundlich. Kapillarchemie (Leipzig, 1909, стр. 591), представляющая собою обстоятельное изложение явлений связанных с поверхностным натяжением.

⁶ Н. Freundlich. Kapillarchemie, стр. 51.

$\frac{d\sigma}{dc}$, выражающая увеличение или уменьшение поверхностного натяжения с увеличением концентрации растворенного тела, в первом случае будет положительной величиной, во втором отрицательной, а поэтому и вся правая часть уравнения, принимая во внимание стоящий впереди минус, будет в первом случае отрицательной, а во втором положительной; таким образом, если с увеличением концентрации растворенного вещества поверхностное натяжение раствора повышается, то и, т. е. избыток растворенного вещества на поверхности, будет отрицательным, концентрация растворенного вещества на поверхности твердых частиц будет меньше, чем в остальной жидкости, адсорбция будет отрицательная; если же с увеличением концентрации растворенного вещества поверхностное натяжение раствора понижается, то и будет положительным, т. е. концентрация растворенного вещества на поверхности твердых частиц будет больше, чем в остальной жидкости и, таким образом, будет иметь место положительная адсорбция.

Итак, изменение поверхностного натяжения воды при растворении в ней какого-либо вещества дает возможность определить, будет ли это вещество положительно или отрицательно адсорбироваться на поверхности твердых частиц.

Вещества, обладающие положительной адсорбцией, даже в очень слабых растворах могут сильно понижать поверхностное натяжение. так как сконцентрирование небольшого количества растворенного вещества из большого объема жидкости в небольшом объеме поверхностного слоя может дать там высокую концентрацию; вещества же с отрицательной адсорбцией в разжиженных растворах могут лишь слабо повысить поверхностное натяжение, так как даже в том случае, когда отрицательная адсорбция будет настолько велика, что слой жидкости, окружающий твердые частицы, будет вовсе лишен растворенного вещества, то и тогда различие в концентрации на поверхности и в самой жидкости будет невелико.

Исследования над адсорбцией углем веществ, растворенных в воде, показали следующее.

1) Очень слабой положительной адсорбцией, а иногда отрицательной обладают неорганические соли, кислоты и основания и органические вещества, содержащие в молекуле большое число гидроксильных (сахара); это же видно из данных Röntgen'a и Schneider'a¹ об изменении поверхностного натяжения воды (75,3 при $t=18^\circ$) следующими неорганическими солями (при концентрации 1,498 мол. на литр раствора):

	H	Li	Na	K	NH ₄
J	—	76,5	76,9	76,8	76,4
NO ₃	74,2	77,2	77,2	76,9	77,0
Cl	74,9	77,7	77,8	77,6	77,4
SO ₄	76,0	79,5	—	—	79,0
CO ₃	—	—	79,4	79,9	—

2) Умеренной или очень сильной положительной адсорбцией обладает большинство органических веществ, органические кислоты и основания, особенно ароматические соединения и высокомолекулярные вещества, как краски, алкалоиды и пр.; вместе с тем эти вещества, будучи прибавлены к воде, сильно понижают ее поверхностное натяжение.

¹ W. Röntgen и J. Schneider. Ueber Compressibilität und Oberflächenspannung von Flüssigkeiten. Wied. Ann., т. 29, 1886, стр. 165. Привожу таблицу в том виде, как она переделана Н. Freundlich'ом в его Kapillarchemie, стр. 61.

Так, уксусная кислота по исследованиям Duclaux¹ при различных концентрациях ее следующим образом понижает поверхностное натяжение воды (поверхностное натяжение чистой воды принято за 1).

Кислоты на 100 частей объема	Поверхностное натяжение	Кислоты на 100 частей объема	Поверхностное натяжение
1	0,940	10	0,741
2	0,901	20	0,644
3	0,869	40	0,547
4	0,841	60	0,503
5	0,819	80	0,456
6	0,800	100	0,396

Величина же адсорбции ее, выраженная в $\frac{x}{m}$, где x —количество поглощенной уксусной кислоты при концентрации раствора 0,01 норм., вычисленное в тысячных долях эквивалента, а m —число граммов угля, пришедшего в качестве адсорбента, равняется 0,37, при концентрации же кислоты 0,126 норм. равняется 1,11, а при концентрации 0,88 норм.—2,48²; для щавелевой кислоты по исследованиям Masius'a³ при концентрации ее 0,17 норм. величина адсорбции выражается числом 2,3 (в тысячных эквивалента на 1 г поглотителя—угля). Чтобы представить себе наглядно эти величины адсорбции органических кислот, обратимся к неорганическим солям: для азотнокислого натрия при концентрации 0,97 норм. величина адсорбции равняется лишь 0,09; такую же величину представляет и величина отрицательной адсорбции хлористого натрия.

Относительно третьей органической кислоты, бывшей в моих опытах,—лимонной я не нашел в литературе соответствующих данных, так что о величине ее поглощения не могу говорить; но если исходить из ранее указанного об органических веществах, богатых гидроксилью (а в молекуле лимонной кислоты их четыре), то можно думать, что адсорбция ее меньше, нежели уксусной и щавелевой кислот.

Вот этой-то особенности уксусной и щавелевой кислот—в сильной степени адсорбироваться на поверхности корней растений и абсорбироваться⁴ коллоидальными веществами клеток растений, по моему мнению,

¹ G. Duclaux. Sur la tension superficielle dans la série des alcools et des acides gras. *Ann. de chimie et physique*, т. 13, 1878, стр. 94.

² H. Freundlich. *Kapillarchemie*, стр. 147 и 160.

³ Там же, стр. 164.

⁴ Считаю не лишним оговориться здесь на счет терминов адсорбция и абсорбция. В своей статье «К вопросу об изменчивости концентрации почвенного раствора» («Журн. оп. агр.», т. 7, 1906 г., стр. 51) я их применял согласно van Bemmelen'у; адсорбцию как чисто механическое поглощение, сгущение растворенного вещества в слое жидкости, прилежащем к поверхности твердого тела; абсорбцию, как поглощение растворенного вещества коллоидальными веществами, поглощение, имеющее не только физический характер, так как в результате получаются более тесные соединения. В настоящее время в коллоидальной химии эти два понятия соединены в одно—адсорбцию, как явления, вызываемого вообще действием поверхностного натяжения и выражающегося общим уравнением:

$$\frac{x}{m} = Kc^n$$

(см. мою статью «Коллоидальная химия и почвоведение». «Журн. оп. агр.», т. 9, 1908, стр. 281). В последнем отношении общее название обоим этим явлениям понятию и делесообразно, но в других отношениях, особенно после открытия Ф. Сегни псевдостехиометрических соединений (см. «Журн. оп. агр.», т. 10, 1909, стр. 526), и, в частности, в случае рассматриваемом мною, я думаю лучше сохранить оба термина в том их значении, какое им придал van Bemmelen.

и надо главным образом приписать большую ядовитость этих кислот, чем того можно было ожидать, судя по степени их диссоциации. В области раствора, непосредственно прикасающейся к корням, в которой корни живут и свойства которой непосредственно должны отражаться на растении, в этой области концентрация уксусной и щавелевой кислот должна была быть значительно выше, чем концентрация тех их растворов, которые я вливал в банки; само собой разумеется, что и уксусная и щавелевая кислоты должны были вследствие этого действовать на растения сильнее, чем того можно было ожидать, судя только по взятой их концентрации. Наряду с адсорбцией на поверхности корней должна усиливать ядовитые свойства этих кислот и их абсорбция внутри растения коллоидальными веществами клеток, так как по вышеизложенному и она для этих кислот значительно превышает абсорбцию остальных бывших в опытах кислот; в настоящее время, по крайней мере в животной физиологии, довольно твердо установлена тесная связь между ядовитостью солей для живых организмов и величиной адсорбции последних из растворов; так, Н. Morawitz¹ показал, что соли тяжелых металлов, очень ядовитые для живых организмов, вместе с тем значительно сильнее адсорбируются, нежели соли легких металлов; Wo Ostwald² на основании данных о ядовитости нашел, что зависимость последней от концентрации выражается тем же уравнением, как зависимость количества поглощенного вещества от концентрации его в растворе: если за меру ядовитости данного соединения принять величину, обратную продолжительности жизни исследуемого организма в растворах этого соединения, то ядовитость $\frac{1}{T}$ и концентрация раствора оказываются связанными зависимостью:

$$\frac{1}{T} = K_c^n$$

Перехожу теперь к вопросу о ближайшей причине значительно большей ядовитости для растений кислот сравнительно с нейтральными солями. Мы видели, что наименее чувствительные к кислотности из бывших в наших опытах растений сильно страдают уже тогда, когда концентрация самой слабо действующей из исследованных кислот доходит до 0,005 норм.; между тем, как мы увидим ниже, некоторые соли свободно выносятся растениями при концентрации 0,1 норм. и только на сернокислом магнии большинство из исследованных растений, но и то не все, гибли при концентрации 0,01 норм. Еще резче выразится разница между ядовитостью кислот и солей, если сравнивать действие таких растворов этих веществ, которые содержат приблизительно одинаковое количество монов; так, если взять сернокислый калий и серную кислоту, вещества почти одинаково диссоциированные в эквимолекулярных растворах, то увидим следующее: серная кислота губит ячмень при концентрации между 0,004—0,002 и только при концентрации около 0,0009 норм. она безвредна для этого растения; сернокислый же калий губит ячмень при концентрации выше, чем 0,05, а концентрация 0,01 совершенно для него безвредна.

Но не только в отношении концентрации, губящей растения, кислоты и соли резко отличаются друг от друга; не менее резко бросается в глаза различие во внешних страданиях растений на тех и других; как мы ви-

¹ Н. Morawitz. Ueber Adsorption und Kolloidfällung. Kolloidchemische Beihefte, т. 1, стр. 301.

² Wo Ostwald и A. Dernoschek. Ueber die Beziehungen zwischen Adsorption und Giftigkeit. Kolloid-Ztschr., т. 6, 1910, стр. 297.

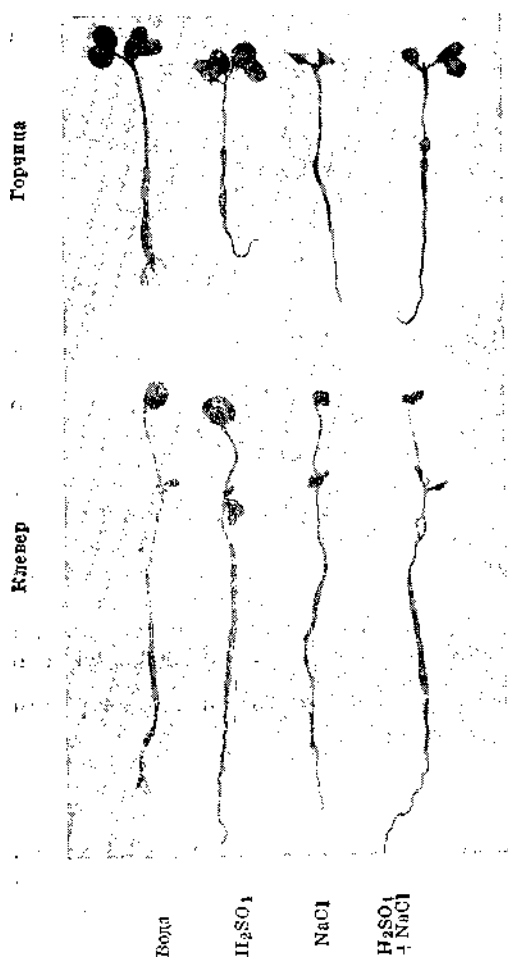


Рис. 5. Вид растений на 0,01 норм. H_2SO_4 , на 0,2 норм. $NaCl$ и на 0,01 норм. H_2SO_4 + 0,2 норм. $NaCl$ через 24 час после постановки опыта.

дели, на кислотах страдание начинается проявляться у корней, затем начинается повядание стебля, тогда как листья все это время остаются совершенно нормальными и начинают вянуть и сохнуть лишь после окончательного повядания стебля; на солях как раз наоборот: прежде всего гибнут, сохнут листья при совершенно с внешней стороны здоровом стебле, который начинает страдать лишь после гибели листьев. Для иллюстрации сказанного привожу на рис. 3 снимок с горчицы и клевера, высаженных одновременно в чистую воду (первый экземпляр каждого из растений), в 0,01 норм. раствор серной кислоты (второй экземпляр), в 0,2 норм. раствор хлористого натрия (третий экземпляр) и в смешанный раствор серной кислоты и хлористого натрия с концентрацией первой 0,01 и второго 0,2 норм. (четвертый экземпляр, об этом ниже).

Как я указывал раньше, с большей вероятностью особую ядовитость кислот нужно приписать специфическому действию водородного иона; этот ион является наиболее ядовитым для растений из всех до сих пор исследованных в отношении растений ионов; за ними по силе действия следует гидроксильный ион; щелочи и щелочные соли

гораздо ядовитее для растений, нежели нейтральные соли. Работы М. Fischer'a и Moore и теория, развитая первым из них, проливают, по моему мнению, до известной степени свет на эти явления.

Подробные исследования этих авторов¹ установили, что фибрин в растворах кислот и щелочей впитывает воду и набухает гораздо сильнее, нежели в чистой воде (высота набухшего в чистой воде фибрина 7 мм. а в 0,025 норм. HCl —44 мм); соли же являются антагонистами кислот и щелочей; прибавление их к тому же кислому раствору фибрина значительно понижает способность фибрина поглощать воду, а наиболее сильно действующие в этом отношении соли доводят эту поглощательную способность до ее величины в чистой воде и даже ниже; различные ионы действуют в этом отношении не одинаково, и действие соли выражается суммой дей-

¹ М. Fischer и G. Moore. Ueber die antagonistische Wirkung der Neutralsalze auf die Quellung des Fibrins in Säuren und Alkalien. Kolloid-Ztschr., т. 5, стр. 197.

ствий составляющих ее ионов. Авторы нашли, что анионы по возрастающей силе понижающего их действия на набухание фибрина располагаются следующим образом: хлорид, бромид, нитрат, сульфационат, ацетат, сульфат, фосфат, тарtrat, цитрат; а катионы по возрастающей же силе таким образом: калий, натрий, аммоний, магний, барий, кальций, медь, железо.

Исходя из этих фактов в связи с тем, что количество воды, которое может удерживать ткань, определяется главным образом коллоидальными веществами, содержащимися в ткани, и что в жидкости отекающих тканей всегда обнаруживается кислая реакция, М. Fischer¹ развил свою теорию происхождения и лечения отеков. В нескольких словах теория эта такова: при достаточном притоке воды все то, что вызывает в ткани ненормально высокое производство кислоты, ведет к образованию отека; с другой стороны, все, что уменьшает набухаемость коллоидальных веществ в кислых растворах, должно при введении в отекающую ткань понижать отек; введение же в такую ткань веществ, не обладающих способностью понижать адсорбционную способность относительно воды коллоидальных веществ в кислых растворах, не должно влиять на отек. Опыты автора этой теории, Н. Thomas'a и D. Long'a действительно подтвердили это: впрыскивания раствора лимоннокислого натрия в глаз, страдающий отеком, и в колено, страдающее водянкой, уменьшало отек.

Так как вышеописанные внешние признаки страданий растений в растворах кислот производили на меня такое впечатление, как будто потребность растений в воде сильно повышена и верхние части растения, не довольствуясь той водой, которую им успевают подавать корни, начинают усиленно отнимать ее от нижележащей части стебля, то, ознакомившись с теорией Fischer'a, я решил испытать действие солей на растения, произрастающие в растворах кислот. С этой целью мною были поставлены следующие опыты.

О п ы т 1. Пятидневные всходы горчицы были пересажены в банки: 1) с уксусной кислотой 0,1 норм.; 2) с 0,1 норм. уксусной кислотой + -0,1 норм. раствором хлористого натрия; 3) с 0,1 норм. уксусной кислотой + 0,01 норм. раствором хлористого натрия. Несмотря на то, что присутствие хлористого натрия увеличивало силу кислоты, так как должна была освобождаться более сильная соляная кислота и что при концентрации 0,1 норм. хлористый натрий сам по себе вреден растениям, результат получился положительный: хотя горчица погибла в конце концов на всех трех растворах, но начало страдания, его интенсивность и продолжительность жизни горчицы на разных растворах были неодинаковы: через несколько часов в банках с чистой уксусной кислотой весь корень потерял свою упругость и весь стебель до самых листьев утончился и высох; в банках с раствором кислоты той же концентрации + хлористый натрий 0,1 норм. страдание проявилось только в потере упругости нижних $\frac{2}{3}$ корня. стебель же оставался совершенно нормальным; на растворе, содержащем уксусную кислоту и хлористый натрий в концентрации 0,01 норм., горчица занимала по страданию среднее место, у нее страдал и стебель, но не весь, а лишь нижняя часть его.

О п ы т 2. Семидневные всходы горчицы были высажены в такие же растворы, как и в предыдущем опыте; прибавлены были еще банки с 0,1

¹ M. Fischer. Das Oedum als kolloidchemisches Problem nebst Bemerkungen über die allgemeine Natur der Wasserbindung in Organismen. Kolloidchemische Beihette, Bd. 1, стр. 93. В самое последнее время вышла целая книга в немецком издании того же автора: Das Oedem. Eine experimentelle und theoretische Untersuchung d. Wasserbindung in Organismen. Dresden.

норм. раствором одного хлористого натрия. Через час после постановки на чистой уксусной кислоте корни потеряли свою упругость и стебель весь повял, на растворе одного хлористого натрия слабо повяли листья; на растворах же, содержащих, кроме уксусной кислоты, и хлористый натрий, горчица была еще совершенно здорова; первые признаки страдания на этих растворах появились лишь к концу второго часа после постановки опыта; растения же на чистой уксусной кислоте к этому времени совершенно погибли; через 7 час. погибли и остальные растения.

Опыт 3. Семидневные всходы горчицы были высажены в банки: 1) с раствором 0,01 норм. уксусной кислоты; 2) с раствором, содержащим 0,01 норм. уксусной кислоты и 0,05 норм. хлористого натрия; 3) с раствором, содержащим 0,01 норм. уксусной кислоты и 0,1 норм. лимоннокислого натрия; 4) с раствором, содержащим 0,01 норм. уксусной кислоты и 0,01 норм. лимоннокислого натрия; 5) с раствором одного лимоннокислого натрия 0,1 норм. Через два часа появились признаки страдания на чистой уксусной кислоте; через некоторое время стали страдать растения и в банках 2 и 4; на растворе 0,01 норм. уксусной кислоты + 0,1 норм. лимоннокислого натрия страдание появилось лишь через 8 часов, и при этом проявилось оно не в увядании стебля, который, как и корни, оставался совершенно нормальным, а в усыхании листьев, т. е. оно носило совершенно такой же характер, как страдание от самого лимоннокислого натрия. Осмотр растений через 21 час после постановки опыта показал следующее: на чистой уксусной кислоте горчица погибла; на уксусной кислоте + 0,01 норм. лимоннокислого натрия и на уксусной кислоте + 0,05 норм. хлористого натрия горчица сильно страдала и страдания носили характер страдания от кислоты, но не от солей; на уксусной кислоте + 0,1 норм. лимоннокислого натрия страдания горчицы выражались только в том, что ряд листьев засох—специфического же страдания от кислоты вовсе не было заметно; засыхание листьев в растворе только одного лимоннокислого натрия 0,1 норм. к этому времени проявилось сильнее.

Опыт 4. Он был поставлен с 10-дневными всходами горчицы и 15-дневными всходами клевера; всходы эти были высажены в банки: 1) с 0,01 норм. раствором серной кислоты; 2) с 0,2 норм. раствором хлористого натрия, 3) с раствором, содержащим 0,01 норм. серную кислоту и 0,2 норм. хлористый натрий. Через 21 час из каждой банки было вынуто по одному растению и сфотографировано; рис. 5 (стр. 212) дает нам понятие о состоянии растений к этому времени: как видно, растения на серной кислоте с хлористым натрием страдали от хлористого натрия и вовсе не страдали от самой кислоты.

Мне кажется, что результаты этих опытов, недостаточные еще для подтверждения того, что страдания растений от кислоты обуславливаются приобретением коллоидальными веществами клетки сильной водопоглотительной способности, вполне определению, однако, показывают, что соли, по крайней мере исследованные мною, являются по своему действию на растение антагонистами кислот, что в присутствии первых ядовитые для растений свойства кислот сильно понижаются; укажу вместе с тем, что во всех вышеприведенных мною опытах страдание растений в растворах, в которых, кроме кислоты, присутствовала и соль, было также менее сильно, чем в растворах соответствующей концентрации одной только соли; таким образом, не только нейтральная соль понижала ядовитость кислоты, но и обратно; но последнее влияние проявлялось в моих опытах значительно слабее первого и мне не удалось ни найти соответ-

ствующего соотношения между концентрациями кислоты и соли, при котором бы это явление выступало более рельефно, ни убедиться в том, что такого соотношения найти нельзя; поэтому я его только отмечаю здесь, как вероятное, но как требующее дальнейшего исследования. Если указанное влияние подтвердится, то оно сможет послужить, между прочим, объяснением того, что в северных подзолистых почвах, часто содержащих довольно много хлора, последний не проявляет своего вредного действия на растительность в противоположность хлору в почвах с более или менее нейтральной реакцией (мокрые солонцы).

Быть может, в связи с указанным здесь влиянием солей на ядовитость для растений кислот стоит явление, довольно часто наблюдаемое при вегетационных опытах на сильнокислых подзолистых почвах; на таких почвах, с одной стороны, благоприятно действует известкование, а с другой стороны, даже в тех случаях, когда почвы эти богаты воднорастворимыми питательными веществами, урожаи на них несколько повышаются от внесения нейтральной удобрительной смеси.

II. ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ ЩЕЛОЧЕЙ

Как известно, щелочность почвенного раствора вызывается присутствием в почвах не свободных щелочей, а солей слабых кислот и сильных оснований; из таких солей самое большое распространение имеет в почвах углекислый кальций, но его растворимость, как такового, настолько мала, что о вредном действии его растворов на растения не может быть речи; значительно большая растворимость этого соединения в виде двууглекислой соли; но таковая не имеет щелочной реакции или, если и щелочна, то так слабо, что вред, причиняемый растениям концентрированными растворами двууглекислого кальция, будет обуславливаться преимущественно свойствами катиона и аниона этой соли, а не ее щелочностью. Другие щелочные соединения почвы могут быть разбиты на две группы: 1) гуминовокислые щелочи, кремневокислые щелочи и нормальные карбонаты щелочных металлов; 2) двууглекислые щелочные соли. Соли, входящие в первую группу, имеют то общее, что все они в водных растворах сильно гидролизуют с освобождением гидроксильного иона OH^- ; поэтому к действию их на растения как таковых присоединяется еще действие этого сильно ядовитого иона OH^- , или действие свободной щелочи; двууглекислые же щелочи, вследствие очень слабой своей гидролитической диссоциации, мало оказывают на растение этого побочного вредного влияния и этим приближаются к двууглекислому кальцию.

Из приведенного вытекает, как надо расчленить общий вопрос о влиянии «щелочности» на растение: 1) для того чтобы установить степень влияния гидроксильного иона при гидролизующих солях, нужно изучить отношение растений к растворам едких щелочей, а 2) затем к каждой из вышеуказанных солей и 3) наконец, к различным смесям этих солей между собой и с другими солями. В данном случае вопрос сильно усложняется непостоянством всех этих соединений: легкостью, с которой одни из них поглощают углекислоту и с которой другие, наоборот, отдают, ее, и тем, что корни растения выделяют углекислоту; вследствие этих причин трудно поставить опыт так, чтобы корневая система была все время в соприкосновении с раствором одного только вещества, а не смеси. Для получения ответа на первый вопрос я предполагал опыт поставить следующим образом. Исследовать, во-первых, влияние на растения растворов различной концентрации едкого калия или натрия при частой смене растворов

в банках с растениями; ввиду того что, как бы часто ни производилась смена растворов, все равно часть свободной щелочи будет успевать переходить в углекислую и корни растения будут соприкасаться не только с раствором свободной щелочи, но и с раствором большей или меньшей концентрации карбоната, я намечал повторить тот же опыт в растворах едкого барита при частой их смене; так как углекислый барий нерастворим в воде, то хотя часть едкого барита и переходила бы в это соединение, но последнее выпадало бы из раствора и корни растений все время находились бы в соприкосновении с растворами одного только исследуемого вещества; титрование до и после опыта давало бы указание на начальную и конечную концентрацию растворов. Далее пужно было бы сравнить влияние на растение ионов бария и щелочных металлов.

Из этой программы я выполнил лишь первую часть: исследовал действие на растение растворов различной концентрации едкого калия; к описанию этих опытов я и перехожу.

ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ РАСТВОРОВ ЕДКОГО КАЛИЯ

Опыты ставились со льном, горчицей, викой, люцерной, овсом и ячменем; изучалось влияние на эти растения растворов различной концентрации едкого калия. Постановка была совершенно та же, что и при опытах с кислотами, но ввиду того что едкий калий благодаря углекислоте, выделяемой корнями и находящейся в воздухе, довольно быстро переходит в углекислый, растворы в банках возобновлялись ежедневно; для большей определенности опыта отработавшие растворы испытывались титрованием соответствующей крепости серной кислоты в присутствии феволфталена и метил-оранжа; как известно, такое комбинированное титрование дает возможность достаточно точно определить в растворе количество свободной щелочи, нормального карбоната и двууглекислой соли. Не буду приводить большого цифрового материала, полученного при этих испытаниях, чтобы не загромождать статьи цифрами; ограничусь лишь указанием, что, сверх моего ожидания, за 24 часа мои растворы едкого калия связывали сравнительно мало углекислоты: только в очень редких случаях из содержащегося в растворе калия три четверти его давали нормальный карбонат, и только одна четверть оставалась в виде едкого калия; в большинстве же случаев на долю нормальных карбонатов приходилось по прошествии 24 часов менее половины калия; таким образом, в общем можно сказать, что наши растения во время всего периода, в течение которого производился опыт, прибывали в растворах, состав которых постепенно изменялся от чистого едкого калия до половины едкого калия + половина углекислого калия; двууглекислого калия в растворах никогда не было.

Предварительно был поставлен опыт при концентрациях едкого калия 0,01, 0,001 и 0,0002 норм., а затем при более дробных концентрациях: 0,06, 0,04, 0,02, 0,01, 0,005, 0,001, 0,0008, 0,0005 норм. На последних концентрациях опыт был повторен два раза и каждый из них продолжался около 24 дней.

Перехожу теперь к изложению полученных результатов для каждого растения в отдельности.

Г о р ч и ц а. Уже через 5 часов от начала опыта на концентрациях 0,06, 0,04 и 0,02 норм. горчица стала ясно страдать—корни потеряли свою упругость и при наклонении растения стали отвисать. В продолжение первых четырех суток видимые признаки страдания были только при этих

трех концентрациях; на них страдание постепенно усиливалось, перешло на стебель, который в нижней своей части потерял тургор, и растения легли. На концентрациях 0,01 и 0,005 норм. горчица отличалась от горчицы на чистой воде и на более низких концентрациях едкого калия только отсутствием новых корешков. На пятые сутки на 0,01 и 0,005 норм. также началось страдание корней. Затем начала страдать горчица при концентрации 0,001 норм.; при концентрациях же 0,0008 и 0,0005 норм. растения все время опыта оставались нормальными, дали новые листья и корни; при более же высоких концентрациях растения постепенно погибли на 0,06, 0,04, 0,02 и 0,01 норм.; при концентрации 0,005 норм. растения сильно страдали, но не погибли; таким образом, *минимальная концентрация смеси едкого калия и углекислого калия, губящая уже горчицу, лежит между 0,01 и 0,05 норм., а максимальная, переносимая горчицей без вреда, между 0,001 и 0,0008 норм.*

Л е н. Через 5 часов после постановки опыта страдание у льна проявилось только при концентрации 0,06 норм.; стебель у шейки утончился; при концентрации 0,04 норм. страдание появилось только на следующие сутки; затем постепенно стали страдать растения на более низких концентрациях и на 5-е сутки началось страдание при концентрации 0,0008 норм.; на 6-е сутки погиб лен на 0,06, а затем на 0,04, 0,02 и 0,01 (на 14-е сутки); при концентрации 0,005 норм. лен сильно страдал, но не погиб; при 0,0005 норм. лен вовсе не страдал. Таким образом, *минимальная концентрация щелочи для льна лежит между 0,01 и 0,005, а максимальная между 0,0008 и 0,0005 норм.*

Л ю ц е р н а. Через 5 часов после посадки растений в растворы появились ясные признаки страдания корней у люцерны при концентрациях 0,06 и 0,04 норм., затем постепенно стали страдать растения при более низких концентрациях, включительно до концентрации 0,0008 норм.; при 0,0005 норм. люцерна все время оставалась нормальной, дала новые листья и корешки. Погибла люцерна при концентрациях 0,06, 0,04 и 0,02 норм., при концентрации 0,01 норм. люцерна сильно страдала, но не погибла. Таким образом, *минимальная концентрация щелочи для люцерны лежит между 0,02 и 0,01 норм., а максимальная между 0,0008 и 0,0005 норм.* Корни страдающей люцерны бурели, листья желтели, и на них появились красные пятна.

О в е с и я ч м е н ь. Эти растения по своему отношению к щелочи оказались очень схожими. Первые признаки страдания появились лишь через 20 часов после постановки опыта при концентрациях 0,06 и 0,02 норм.: к этому времени корни и стебли несколько потеряли свою упругость; через 27 часов стебли этих растений уже сильно размякли, а листья повисли. С течением времени подобное же появилось на растениях при концентрациях 0,01, 0,005, 0,001 норм.; при концентрациях 0,0008 и 0,0005 норм. оба растения оставались все время вполне здоровыми, дали новые листья и корешки. Окончательно погиб овес и ячмень при концентрации 0,02 норм. и выше. Таким образом, *минимальной концентрацией исследовавшейся щелочи для ячменя и овса была концентрация между 0,02 и 0,01, а максимальной между 0,001 и 0,0008 норм.* У страдающего от щелочи ячменя листья на концах белели, а у овса краснели.

В и к а о б ы к н о в е н н а я. Через 5 часов после постановки опыта у вики при концентрациях 0,06, 0,04 и 0,02 норм. были уже ясные признаки страдания: боковые корешки потеряли свою упругость и опустились к главному корню; затем постепенно стали страдать растения при концентрациях 0,01 и 0,005; во все время опыта на этих пяти concentra-

циях растения вовсе не росли, корни имели окраску от желтой до бурой, жилки на листьях окрасились в красный цвет; на концентрациях 0,06, 0,04 норм. вика к концу опыта совсем погибла. На более низких концентрациях, начиная с 0,001 норм. и кончая самой низкой из бывших в опыте—0,0005, вика сильно росла; стебли и листья имели здоровый вид, но корни, видимо, страдали, цвет их был темножелтый. Таким образом, *минимальная концентрация щелочи, губящая вику, лежит между 0,04 и 0,02 норм., а максимальная, совершенно безвредная, ниже 0,0005 норм.*

Сводя все данные для всех шести растений вместе, получаем таблицу 2.

Таблица 2

	Минимальная концентрация (в норм.) KOH (в смеси с K_2CO_3), уже губящая растения	Максимальная концентрация (в норм.) KOH (в смеси с K_2CO_3), еще не вредящая вовсе растению
Лен	0,01—0,005	0,0008—0,0005
Белая горчица	0,01—0,005	0,001 —0,0008
Французская люцерна	0,02—0,01	0,0008—0,0005
Ячмень	0,02—0,01	0,001 —0,0008
Овес	0,02—0,01	0,001 —0,0008
Вика обыкновенная	0,04—0,02	Ниже 0,0005

В этой таблице растения расположены по возрастающей величине минимальной концентрации едкого калия. Самой низкой минимальной концентрацией, убивающей уже растение, обладают лен и горчица, в этом отношении эти растения из исследованных нами наиболее чувствительны к щелочности; затем идут люцерна, ячмень и овес, для которых те пределы, между которыми лежит минимальная концентрация, одинаковы; наконец, на последнем месте по величине минимальной концентрации стоят вика; гибель ее наступает при более высокой щелочности, нежели гибель остальных растений. По величине максимальной концентрации, переносимой растениями еще без вреда, исследованные растения располагаются в несколько ином порядке; в этом отношении наиболее чувствительной оказалась вика: она страдала при таких низких концентрациях щелочи, которые выносились остальными растениями без вреда; таким образом, вика обладает, с одной стороны, наиболее высокой минимальной концентрацией, а с другой стороны, наиболее низкой максимальной концентрацией по сравнению со льном, горчицей, ячменем и овсом: это растение при возрастающих концентрациях щелочи начинает страдать ранее других, а гибнет позже других. Второе место по величине минимальной концентрации занимают лен и люцерна, и последнее место занимают горчица, овес и ячмень; таким образом, горчица, в противоположность вике, обладает наиболее низкой минимальной концентрацией и наиболее высокой максимальной.

Обращаясь теперь к внешнему виду страдающих от щелочи растений. Страдание это у всех испытанных растений начиналось с потемнения и ослизнения корней; затем, совершенно подобно тому, что мы видели при кислотах, начиналось утонение стебля; последний, при сильном страдании, совершенно высыхал, превращался в тоненькую нитку (здесь, так же как и при кислотах, на злаках это явление было не резко выражено);

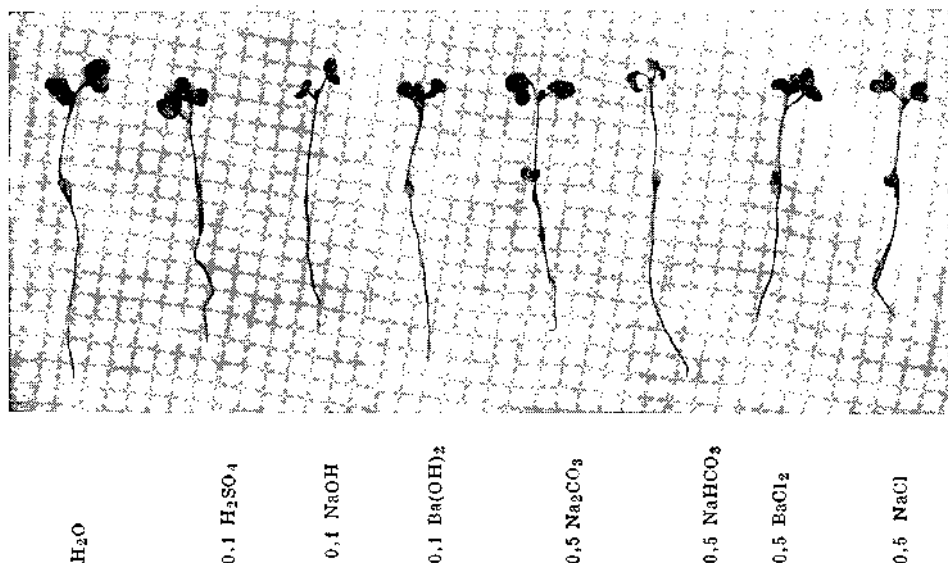


Рис. 6. Вид горчицы после трехчасового пребывания в растворах кислоты, щелочи и солей.

засыхание листьев начиналось лишь после гибели стеблей. Рис. 6 (снят через 3 часа после постановки опыта) дает понятие о характере страданий горчицы на серной кислоте (0,1 норм.), едком калии (0,1 норм.), едком барите (0,1 норм.), нормальном углекислом натрии (0,5 норм.), двууглекислом натрии (0,5 норм.), хлористом барии (0,5 норм.) и хлористом натрии (0,5 норм.); на ней видно, что у горчицы на кислоте, щелочах и щелочных солях стебель сильно утонился, тогда как на нейтральных солях он такой же, как и на воде; листья же повяли сильнее всего на двууглекислом натрии и нейтральных солях, затем на нормальном карбонате и едком натре и совершенно свежи на кислоте и едком барите; некоторое повядание листьев на щелочных солях и едком натре понятно: щелочные соли действовали и своей щелочностью (утонение стебля) и как соли; и особенно сильно в последнем отношении должен был действовать двууглекислый натрий; раствор едкого натра, приготовленный без особых предосторожностей и в банках не защищенный от проникновения углекислоты, также должен был содержать углекислый натрий и потому должен был действовать отчасти как раствор соли; едкий же барит вследствие нерастворимости углекислого бария, действовал лишь как щелочь, и, как показывает рисунок, листья горчицы на этом растворе совершенно свежи. Кстати, укажу на следующее интересное явление. В опыте с горчицей, о котором сейчас шла речь, на кислоте, щелочах и щелочных солях еще до начала утонения стебля на последнем в том месте, где начиналась зеленая окраска, цвет хлорофилла стал изменяться: на кислоте появлялся красный и на щелочах и щелочных солях интенсивно зелено-синий ободок; окраска эта постепенно распространялась вверх по стеблю, причем в нижней части его она отчасти исчезала; затем окраска переходила на листья, на которых она постепенно распространялась от места прикрепления черешка к краям листовой пластинки. На щелочах и щелочных солях сине-зеленая окраска, вызываемая ими, оставалась у горчицы и после полного увядания листьев, между тем как на кислоте красная

окраска еще при жизни листьев пропадала, а места окрашенные становились серыми.

Для того чтобы проследить это явление и на других растениях, я поставил водные культуры на растворах 0,1 норм. серной кислоты, 1,0, 0,5 и 0,1 норм. едкого натра с клевером, люцерной, льном, викой и ячменем. На кислоте у всех этих растений, исключая ячмень, появлялась красная окраска и совершенно так же, как и у горчицы; у ячменя же окраски этой вовсе не было заметно. На щелочах сине-зеленая окраска появилась только у вики, люцерны и ячменя, причем наиболее ясно явление это замечалось у вики и наименее ясно у ячменя; у клевера и льна изменения в цвете не было заметно.

III. ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

Я исследовал действие на горчицу, лен, люцерну, вику, овес и ячмень следующих неорганических солей:

KCl , $MgCl_2$, KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$, K_2SO_4 , $MgSO_4$ и $CaSO_4$

Мне удалось провести лишь предварительный опыт для установления тех границ концентраций растворов этих солей, между которыми в дальнейшем нужно было исследовать действие на растения более drobных концентраций для определения минимальной и максимальной концентрации.

Постановка опытов была совершенно та же, что и при изучении действия кислот и щелочей: действие каждой соли изучалось в чистых растворах, в отсутствие других веществ. Все опыты продолжались 26 дней.

Как и в предыдущем, я опишу сначала действие испытанных солей на каждое из изучавшихся растений, а затем сравню растения между собою по их чувствительности к соляным растворам.

ГОРЧИЦА

Действие растворов хлористого калия. Для опыта брались следующие концентрации этой соли: 0,1; 0,05 и 0,01 норм. На 3-и сутки после постановки опыта началось страдание горчицы при 0,1 концентрации хлористого калия; на 6-е сутки она погибла на этом растворе. На концентрации 0,05 норм. страдания горчицы проявились на 5-е сутки, но горчица не погибла на этом растворе; несмотря на интенсивное страдание, к концу опыта на ней стали появляться новые листочки и корешки; в росте она сильно отстала от горчицы в чистой воде. На 0,01 норм. растворе хлористого калия горчица вовсе не страдала; надземные ее части и корневая система несколько не отличались от таковых в чистой воде. Таким образом, *минимальная концентрация хлористого калия, уже губящая горчицу, лежит между 0,1 и 0,05 норм., а максимальная, еще переносимая горчицей без вреда между 0,05 и 0,01 норм.*

Действие растворов хлористого магния. Эта соль испытывалась над горчицей в концентрациях 0,5; 0,1; 0,05 и 0,01 норм. На концентрации 0,5 норм. горчица стала страдать уже через 2 часа после постановки опыта и через 5 часов она совсем легла и почти погибла. На концентрации 0,1 норм. страдания у горчицы стали проявляться в конце первых суток; окончательно погибла горчица при этой концентрации раствора хлористого магния через 4 суток. На концентрации 0,05 норм. горчица стала страдать на 3-и сутки и погибла на 10-е сутки. На концентрации 0,01 норм. страдания горчицы проявились на 7-е сутки в виде слабого помядания части листьев и слабого ослизнения корней;

го горчица не погибла и к концу опыта стала оправляться от первоначального страдания.

Таким образом, *минимальная концентрация хлористого магния в отношении горчицы лежит между 0,05 и 0,01, а максимальная ниже 0,01 норм.*

Действие растворов азотнокислого кальция. Испытывались концентрации 0,5, 0,1, 0,05 и 0,01 норм. На концентрации 0,5 норм. горчица почти погибла уже через 5 часов. На концентрации 0,1 норм. страдания проявились на 10-е сутки, погибла горчица на 16-е сутки. На концентрациях 0,05 и 0,01 норм. горчица не страдала вовсе и развивалась значительно лучше, чем на чистой воде. Таким образом, *минимальная концентрация азотнокислого кальция для горчицы лежит между 0,1 и 0,05 норм., между этими же величинами находится и максимальная концентрация.*

Действие растворов азотнокислого калия. Испытывались концентрации 0,5, 0,1, 0,05 и 0,01 норм.

На концентрации 0,5 норм. этой соли страдания горчицы, подобно тому как это имело место и для других испытанных солей, проявились уже часа через 2 после посадки, а через 5 часов горчица почти погибла. При той же концентрации, кроме азотнокислого кальция, испытывались еще азотнокислый калий и хлористый магний: при этой концентрации азотнокислый калий был по сравнению с остальными исследованными солями наиболее ядовитым для горчицы; после него в этом отношении может быть поставлен азотнокислый калий; таким образом, обе исследованные мною азотнокислые соли при высокой концентрации оказались более вредными для горчицы, нежели хлористый магний, при более же низких концентрациях, наоборот, хлористый магний был значительно ядовитее их. На растворе 0,1 норм. азотнокислого кальция горчица на 5-е сутки заметно отстала в росте от горчицы на чистой воде; на 7-е сутки начали повядать листья, а на 10-е сутки горчица погибла. [При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. горчица все время оставалась здоровой; на первой из указанных концентраций она не отличалась от горчицы на чистой воде, на растворе же 0,01 норм. она была значительно лучше. Таким образом, и *минимальная и максимальная концентрации азотнокислого кальция для горчицы лежат между 0,1 и 0,05 норм.*

Действие растворов сернокислого калия. Испытывались концентрации 0,2, 0,1, 0,05 и 0,01 норм.

На концентрации 0,2 норм. горчица проявила первые признаки страдания часа через 4 после постановки опыта; погибла она на 2-е сутки. При концентрации 0,1 норм. страдание горчицы началось через 20 часов, а погибла она на 8-е сутки. При концентрации 0,05 норм. страдания начались на 3-и сутки, а гибель последовала на 10-е сутки. На концентрации 0,01 норм. горчица не страдала и развивалась значительно лучше, нежели на чистой воде. Таким образом, *минимальная концентрация сернокислого калия для горчицы находится между 0,05 и 0,01 норм., между этими же пределами лежит и максимальная концентрация.*

Действие растворов сернокислого магния. Опыты ставились на концентрациях 0,1 и 0,01 норм.

При концентрации 0,1 норм. первые признаки страдания горчицы появились в конце первых суток; из всех исследованных солей этой концентрации сернокислый магний вредил горчице наиболее сильно; при всех наблюдениях страдание горчицы на растворе его было всегда более интенсивно, нежели на соответствующих растворах других солей; погибла

горчица на 0,01 норм. сернокислого магния на 7-е сутки. На концентрации 0,1 норм. горчица стала страдать на 3-и сутки; корни ее совершенно не развивались и имели больной вид; на 12-й день она погибла. Таким образом, минимальная и максимальная концентрации сернокислого магния для горчицы лежат ниже 0,01 норм.

Действие насыщенного раствора гипса. На этом растворе горчица все время развивалась совершенно так же, как и на чистой воде.

Сводя вместе данные для минимальной и максимальной концентраций исследованных солей в отношении горчицы, получаем.

	Серно- кислый магний	Хлористый магний	Сернокис- лый калий	Хлористый калий	Азотно- кислый кальций	Азотно- кислый калий
Минимальная концентра- ция	Ниже 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05	0,1—0,05
Максимальная концентра- ция	Ниже 0,01	Ниже 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05

Эти таблицы и приведенное выше описание показывают, что из испытанных мною солей для горчицы наиболее ядовитым является сернокислый магний; растение умирает в таких растворах этой соли, концентрация которых даже меньше 0,01 норм. или меньше 0,06% (считая на безводный $MgSO_4$). Следующая по ядовитости соль—хлористый магний. Далее идут сернокислый и хлористый калий; и здесь сернокислая соль оказалась вреднее хлористой соли. Наконец, последнее место по ядовитости занимают азотнокислые соли кальция и калия, особенно выделяются они среди других солей величиной своей максимальной концентрации: горчица выносит без всякого для себя вреда растворы этих солей при концентрации, находящейся между пределами 0,1 и 0,05 норм., или, перечисляя на проценты, получим, что для горчицы безвредным раствором азотнокислого кальция является раствор с процентным содержанием этой соли между 0,9—0,4 [на безводный $Ca(NO_3)_2$], а азотнокислый калий безвреден для горчицы еще при содержании его в растворе между 1,0 и 0,5%. Но если при этих сравнительно низких концентрациях исследованные азотнокислые соли были наименее вредными для горчицы, то при более высоких концентрациях замечалось обратное; по крайней мере, на хлористом магнии, единственной соли, испытанной мною вместе с азотнокислыми калием и кальцием при концентрации 0,5 норм., страдания горчицы были менее резко выражены, чем в то же самое время на этих азотнокислых солях. Я подчеркиваю это явление ввиду того, что если оно подтвердится дальнейшими исследованиями (свои исследования я считаю совершенно недостаточными для установления и обоснования этого факта), то и так очень сложный вопрос о действии солей на растения еще более усложнится: нельзя будет говорить вообще о действии соли на растение, а лишь о действии соли известной концентрации.

Насыщенный раствор гипса, содержащий около 0,2% $CaSO_4 + 2aq$ или 0,16% $CaSO_4$ (концентрация эта соответствует приблизительно 0,02 норм.), оказался совершенно безвредным горчице.

ЛЕН

С этим растением ставились опыты на тех же солях и при тех же концентрациях.

Действие растворов хлористого калия. На наивысшей из исследованных концентраций—на 0,1 норм. первые признаки страдания льна проявились на 5-е сутки; погиб лен при этой концентрации раствора на 10-е сутки. При концентрации 0,05 норм. лен стал заметно страдать на 7-е сутки; страдания его с течением времени постепенно усиливались, но вместо умирающих частей появлялись новые; лен до конца опыта не погиб, и по общему виду едва ли можно было ожидать гибели его в дальнейшем. Раствор хлористого калия 0,01 норм. лен выносил без всякого видимого для себя вреда. Отсюда следует, что *минимальная концентрация хлористого калия для льна лежит между 0,1 и 0,05, а максимальная между 0,05 и 0,01 норм.*

Действие растворов хлористого магния. При концентрации 0,5 норм. лен стал страдать через 4 часа после постановки опыта и погиб на 2-е сутки. При концентрации 0,1 норм. страдание у льна стало заметно на 2-е сутки; погиб лен при этой концентрации на 10-е сутки. При концентрации 0,05 норм. страдание льна началось на 7-е, а гибель имела место на 13-е сутки. При концентрации 0,01 норм. хлористый магний вредил льну; страдание началось на 10-е сутки, но проявлялось оно очень слабо: лен дал новые листья и корни и лишь немного отличался по развитию от льна в чистой воде. Таким образом, *минимальная концентрация этой соли для льна лежит в пределах 0,05 и 0,01 норм., а максимальная ниже 0,01 норм.*

Действие растворов азотнокислого калия. Через 4 часа после постановки опыта на 0,5 норм. растворе азотнокислого калия лен уже страдал чрезвычайно сильно и к концу первых суток погиб. При концентрации 0,1 на 8-е сутки лен ясно страдал: корневая система сильно отстала от таковой у льна в чистой воде, а листья стали сохнуть по краям; на 10-е сутки лен погиб на этом растворе. При концентрации 0,05 и 0,01 норм. лен развивался очень хорошо, пышнее, чем на чистой воде, и никаких признаков страдания не было заметно. Таким образом, *минимальная концентрация азотнокислого калия для льна лежит в пределах 0,1 и 0,05 норм., в тех же пределах находится и максимальная концентрация.*

Действие растворов азотнокислого кальция. 0,5 норм. раствор этой соли действовал на лен подобно тому, что мы видели и в опыте с горчицей,—сильнее, нежели растворы других солей, исследовавшихся при этой же концентрации (т. е. нежели $MgCl_2$ и KNO_3): через 4 часа после постановки опыта страдание льна на этом растворе было сильнее, нежели на растворах других солей; окончательная гибель его последовала в конце первых суток. При концентрации 0,1 норм. на 5-е сутки стало заметно некоторое отставание льна в росте сравнительно с ростом его на чистой воде; на 10-е сутки лен погиб на этом растворе. При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. лен не проявлял никаких признаков страдания и развивался, особенно при 0,01, лучше, чем на чистой воде. Таким образом, *и минимальная и максимальная концентрации азотнокислого кальция для льна лежат между 0,1 и 0,05 норм.*

Действие растворов сернокислого калия. При концентрации 0,2 норм. первые признаки страдания льна были обнаружены через 5 часов после его посадки; погиб лен в конце вторых суток. На

растворе концентрации 0,1 норм. в начале вторых суток у льна появилась слабая пожелтость; на 10-е сутки он погиб. При концентрации 0,05 норм. на 4-е сутки стало ясно заметно, что лен отстал в росте по сравнению со льном на чистой воде; погиб лен на этом растворе на 16-е сутки. На растворе сернокислого калия концентрации 0,01 норм. лен развивался очень хорошо и никаких признаков страдания не проявлял. Таким образом, и минимальная и максимальная концентрации сернокислого калия для льна лежат между 0,05 и 0,01 норм.

Действие растворов сернокислого магния. При концентрации 0,1 норм. лен обнаружил первые признаки страдания на вторые сутки; погиб лен на 10-е сутки. Относительно действия этого раствора сернокислого магния на лен можно сказать то же, что было сказано при описании опыта с горчицей: из всех изучавшихся солей при той же концентрации лен сильнее всего страдал на растворе сернокислого магния. При концентрации 0,01 норм. лен стал страдать на 6-е сутки, а погиб на 16-е. Таким образом, минимальная и максимальная концентрации сернокислого магния для льна лежат ниже 0,01 норм.

Действие насыщенного раствора гипса. Лен на этом растворе развивался совершенно так же, как и на чистой воде.

Таким образом, на основании предыдущего минимальная и максимальная концентрации изучавшихся солей для льна лежат между следующими пределами.

	Серно- кислый магний	Хлористый магний	Сернокис- лый калий	Хлористый калий	Азотно- кислый кальций	Азотно- кислый калий
Минимальная концентра- ция	Ниже 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05	0,1—0,05
Максимальная концентра- ция	Ниже 0,01	Ниже 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05

Мы видим,, что по своему действию на лен исследовавшиеся соли располагаются совершенно в таком же порядке, как и по их действию на горчицу.

ЛЮЦЕРНА

Под этим растением испытывались те же соли и в тех же концентрациях, как и под горчицей и льном.

Действие растворов хлористого калия. На растворе этой соли при концентрации 0,1 норм. люцерна начала страдать на 7-е сутки и погибла на 16-е. При концентрации 0,05 норм. на 10-е сутки появились первые признаки страдания люцерны в виде слабого отставания в росте и нездорового вида корней; к концу опыта страдание это уменьшилось, люцерна дала много новых листьев и корней и мало чем отличалась от люцерны на чистой воде. При концентрации 0,01 норм. люцерна была вполне нормальной. Таким образом, минимальная концентрация хлористого калия для люцерны лежит между 0,01 и 0,05, а максимальная почти совпадает с 0,05 норм.

Действие растворов хлористого магния. При концентрации 0,5 норм. хлористый магний погубил люцерну через сутки после постановки опыта. При концентрации 0,1 норм. страдания люцерны начались на 4-й день, а гибель ее на 10-й день. При концентрации 0,05 первые признаки страдания появились на 7-й день, а погибла люцерна на 16-е сутки. При концентрации 0,01 люцерна обнаруживала лишь очень слабые признаки страдания корней, надземные же части оставались все время здоровыми. Таким образом, *минимальная концентрация хлористого магния для люцерны лежит между 0,05 и 0,01, а максимальная очень близко к 0,01 норм.*

Действие растворов азотнокислого калия. При концентрации 0,5 норм. люцерна погибла в конце первых суток. При концентрации 0,1 люцерна стала страдать на 8-е сутки (повядание листьев по краям и отсутствие роста у корней), а на 10-е сутки она погибла. При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. люцерна все время в своем развитии не отставала от люцерны на чистой воде и вовсе не страдала. Таким образом, *и минимальная и максимальная концентрации азотнокислого калия для люцерны лежат между 0,1 и 0,05 норм.*

Действие растворов азотнокислого кальция. При концентрации 0,5 норм. этой соли люцерна погибла в конце первых суток. При концентрации 0,1 норм. первые признаки страдания люцерны проявила на 7-е сутки (слабое повядание листьев), затем она оправилась и к концу опыта мало отличалась от люцерны на чистой воде. При концентрациях 0,05 и 0,01 люцерна ничем не отличалась от люцерны в чистой воде. Таким образом, *минимальная концентрация азотнокислого кальция для люцерны лежит между 0,5 и 0,1, а максимальная несколько ниже 0,1 норм.*

Действие растворов сернокислого калия. При концентрации 0,2 норм. люцерна начала страдать на сернокислом калии через 5 часов, а погибла в конце вторых суток. При концентрации 0,1 норм. первые признаки страдания у люцерны были замечены на 5-е сутки (слабая повялость листьев и отсталость в росте), гибель ее наступила на 11-е сутки. При концентрации 0,05 норм. на 7-е сутки ясно проявилась отсталость в росте, а на 16-е сутки люцерна погибла. При концентрации 0,01 люцерна вовсе не страдала и развивалась вполне нормально. Таким образом, *и минимальная и максимальная концентрации сернокислого калия для люцерны лежат в пределах 0,05 и 0,01 норм.*

Действие растворов сернокислого магния. При концентрации 0,1 норм. сернокислый магний начинал вредить люцерне на 2-е сутки после постановки опыта (слабое повядание листьев), а на 11-е сутки люцерна погибла. При концентрации 0,01 люцерна обнаружила

	Сернокис- лый магний	Хлористый магний	Сернокис- лый калий	Хлори- стый калий	Азотно- кислый кальций	Азотно- кислый калий
Минимальная концентра- ция	Ниже 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,5—0,1	0,1—0,05
Максимальная концентра- ция	» 0,01	Близка к 0,01	0,05—0,01	Близка к 0,05	Близка к 0,1	0,1—0,05

первые признаки страдания на 7-е сутки (корни слабо страдали) и погибла на 22-е сутки. Таким образом, и *минимальная и максимальная концентрации сернокислого магния для люцерны лежат ниже 0,01 норм.*

Действие насыщенного раствора гипса. Этот раствор совершенно не вредил люцерне; на нем и на чистой воде люцерна развивалась совершенно одинаково.

Итак, для люцерны минимальные и максимальные концентрации исследованных солей представляются в следующем виде (см. табл. на стр. 225).

Как видно, по степени своей ядовитости для люцерны испытанные соли располагаются в том же порядке, как и для горчицы и льна.

ВИКА

Опыт производился с теми же солями и при тех же концентрациях, что и при описанных уже растениях.

Действие растворов хлористого калия. При концентрации 0,1 норм. этой соли первые признаки действия соли проявились на вике на 7-е сутки (отстала в росте, в дальнейшем стали сильно страдать корни вика), и погибла она на 16-е сутки. При концентрации 0,05 слабые признаки страдания появились у вика лишь на 10-е сутки в виде некоторого отставания в росте; к концу опыта вика эта отличалась от вика в чистой воде лишь серым цветом своих корней. При 0,01 норм. вика развивалась очень хорошо и нисколько не страдала. Таким образом, *минимальная концентрация хлористого калия для вика лежит между 0,1 и 0,05, а максимальная несколько ниже 0,05 норм.*

Действие растворов хлористого магния. При концентрации 0,5 норм. этой соли вика погибла в начале вторых суток. При концентрации 0,1 первые признаки страдания обнаружили на 3-и сутки; погибла вика на 10-е сутки. При концентрации 0,05 норм. вика стала страдать также на 3-и сутки, погибла же она на 16-е сутки. При концентрации 0,01 норм. вика обнаружила первые признаки страдания на 10-е сутки; но с течением времени вика оправилась, по развитию своему не уступала вике в чистой воде, и лишь по серому цвету корней можно было видеть, что испытывавшийся раствор хлористого магния несколько ядовит для растения. Таким образом, *минимальная концентрация хлористого магния для вика лежит между 0,05 и 0,01, а максимальная несколько ниже 0,01 норм.*

Действие растворов азотнокислого калия. При концентрации 0,5 норм. этой соли вика начала страдать через 4 часа после постановки опыта; погибла она в конце первых суток. При концентрации 0,1 норм. страдания начались на 9-е сутки, гибель наступила на 12-е. При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. вика развивалась так же, как и на чистой воде. Таким образом, и *минимальная и максимальная концентрации азотнокислого калия для вика лежат между 0,1 и 0,05 норм.*

Действие растворов азотнокислого кальция. При концентрации 0,5 норм. вика стала страдать через 4 часа и погибла в конце первых суток. При концентрации 0,1 вика стала страдать на 7-е сутки, но до конца опыта она не погибла, дала новые корешки и листочки. При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. вика развивалась очень роскошно. Таким образом, *минимальная концентрация азотнокислого кальция для вика находится между 0,5 и 0,1, а максимальная между 0,1 и 0,05 норм.*

Действие растворов сернокислого калия. На растворе этой соли концентрации 0,2 норм. вика стала страдать на 3-и

сутки (слабое помядание листочков) и погибла на 14-е сутки. При концентрации 0,05 страдания начались на 3-и, а гибель наступила на 22-е сутки. При концентрации 0,01 норм. вика развивалась совершенно нормально. Таким образом, и минимальная и максимальная концентрации сернокислого калия для вика лежат в пределах 0,05 и 0,01 норм.

Действие растворов сернокислого магния. При концентрации 0,1 норм. этой соли вика стала страдать на 2-е сутки и погибла на 10-е. При концентрации 0,01 норм. страдания начались на 7-е сутки; вика почти вовсе не развивалась за все время опыта, корни были бурого цвета, но до конца опыта (продолжался 26 дней) вика не погибла, растения оставались зелеными, не помятыми, поэтому минимальная концентрация сернокислого магния для вика лежит несколько выше 0,01, а максимальная ниже 0,01 норм.

Действие насыщенного раствора гипса. На этом растворе вика ничем не отличалась от вика на чистой воде.

На основании приведенного описания мы имеем для вика.

	Сернокис- лый магний	Хлористый магний	Сернокис- лый калий	Хлори- стый калий	Азотно- кислый натрий	Азотно- кислый калий
Минимальная концентра- ция	Немного выше 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,5—0,1	0,1—0,05
Максимальная концентра- ция	ниже 0,01	Немного ниже 0,01	0,05—0,01	Немного ниже 0,05	0,1—0,05	0,1—0,05

Табличка показывает, что и для вика испытанные соли по своей ядовитости располагаются в том же порядке, что и для ранее описанных растений.

ЯЧМЕНЬ

Испытывались те же соли и в тех же концентрациях.

Действие растворов хлористого калия. При концентрации 0,1 норм. этой соли ячмень стал страдать на 8-е сутки, но страдание его было очень слабое; растения росли, дали новые корни. При концентрации 0,05 норм. ячмень по внешнему виду и величине надземных частей несколько не отличался от ячменя на чистой воде; и только по цвету корней (серые) можно предполагать, что на этом растворе ячмень несколько страдал. При концентрации 0,01 норм. ячмень развивался совершенно нормально. Таким образом, минимальная концентрация хлористого калия для ячменя выше 0,1, а максимальная несколько ниже 0,05 норм.

Действие растворов хлористого магния. На этой соли при концентрации 0,5 норм. ячмень стал страдать через 5 час. после посадки и в начале вторых суток погиб. При концентрации 0,1 первые признаки страдания ячменя были замечены на 3-и сутки; ячмень погиб на 12-е сутки. При концентрации 0,05 норм. ячмень начал страдать на 7-е сутки и к концу опыта почти погиб. На растворах хлористого магния концентрации 0,01 ячмень обнаруживал лишь самые слабые признаки

страданий (темный цвет корней). Таким образом, минимальная концентрация хлористого магния для ячменя лишь немного выше 0,05, а максимальная лишь немного ниже 0,01 норм.

Действие растворов азотнокислого калия. Раствор азотнокислого калия концентрации 0,5 норм. погубил ячмень в конце первых суток. При концентрации 0,1 норм. ячмень стал заметно страдать на 7-е сутки, к концу опыта страдания были довольно сильны, но ячмень жил и давал новые листья и корни. При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. ячмень все время не отличался от ячменя на чистой воде. Таким образом, минимальная концентрация азотнокислого калия для ячменя лежит между 0,5 и 0,1, а максимальная между 0,1 и 0,05 норм.

Действие растворов азотнокислого кальция. На растворах этой соли концентрации 0,5 норм. ячмень погиб в конце первых суток. При концентрации 0,1 страдания ячменя началось на 7-е сутки, проявлялось оно в засыхании кончиков листьев, но вместе с тем ячмень все время рос и по развитию мало отличался от ячменя в чистой воде. При концентрациях 0,05 и 0,01 норм. ячмень был совершенно нормальным. Таким образом, минимальная концентрация азотнокислого кальция для ячменя находится между 0,5 и 0,1, а максимальная лишь немного ниже 0,1 норм.

Действие растворов сернокислого калия. На растворах этой соли концентрации 0,2 норм. ячмень погиб на 4-е сутки. При концентрации 0,1 первые признаки страдания ячменя отмечены через 3 суток после постановки опыта (засыхание верхушек листьев); погиб он на этом растворе на 10-е сутки. При концентрации 0,05 норм. ячмень стал страдать на 8-е сутки и погиб на 22-е. При концентрации 0,01 норм. ячмень все время развивался нормально. Таким образом, минимальная и максимальная концентрации сернокислого калия для ячменя находятся между 0,05 и 0,01 норм.

Действие растворов сернокислого магния. Ячмень на растворах этой соли при концентрации 0,1 норм. начал страдать на 3-и сутки, а погиб на 11-е. При концентрации 0,01 начало страдания ячменя отмечено на 7-е сутки после постановки опыта; погиб он на этом растворе на 22-е сутки. Таким образом, минимальная и максимальная концентрации сернокислого магния для ячменя лежат ниже 0,01 норм.

Действие насыщенного раствора гипса. Ячмень на этом растворе развивался совершенно так же, как и на чистой воде.

Сводя данные для минимальной и максимальной концентраций испытанных солей в отношении ячменя, получим следующую табличку.

	Сернокис- лый магний	Хлористый магний	Сернокис- лый калий	Хлори- стый калий	Азотно- кислый натрий	Азотно- кислый калий
Минимальная концентра- ция	Ниже 0,01	Немного выше 0,05	0,05—0,01	Выше 0,1	0,5—0,1	0,5—0,1
Максимальная концентра- ция	» 0,01	Немного ниже 0,01	0,05—0,01	Немного ниже 0,05	Немного ниже 0,1	0,1—0,0

Порядок солей по степени их ядовитости для ячменя остается, как показывают эти данные, тот же, что и для ранее описанных растений.

ОВЕС

Во всех опытах отношение овса к различным растворам всех выше-названных солей было одинаково с отношением к ним ячменя. Мне удалось уловить лишь ничтожные различия, не выходящие за пределы точности исследования; поэтому я не стану здесь повторять для овса того же, что было сказано для ячменя. Возможно, конечно, что при более подробных концентрациях различие между ячменем и овсом проявилось бы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ДЕЙСТВИИ ИСПЫТАННЫХ СОЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ

Все полученные данные для минимальной и максимальной концентраций растворов шести бывших в опытах солей в отношении шести исследованных мною растений сведены в таблицы 3 и 4.

Таблицы показывают, что те пределы, между которыми лежат минимальная и максимальная концентрации каждой из исследованных солей, почти совершенно одни и те же для всех шести растений; причина такого результата заключается, конечно, в том, что мною были взяты слишком широкие пределы; если бы мне удалось выполнить весь намеченный план исследования над действием этих солей и изучить влияние концентраций между этими пределами, то картина получилась бы иная. На это указывает приведенное мною описание действия солей; уже на основании его (а отчасти и данных таблицы) можно видеть, что все исследованные мною растения по отношению своему к высоте концентрации различных солей распадаются на две группы: на более чувствительные к концентрации—горчица и лен и менее чувствительные—вика, люцерна, ячмень и овес; причем первое место по своей чувствительности занимает горчица, а затем идет уже лен; во второй же группе вика близка к люцерне, а ячмень к овсу; оба последние растения вместе с тем являются наименее чувствительными к величине концентрации. Приводимые данные показывают далее, что такой порядок растений сохраняется в общем в отношении всех исследованных солей; частные исключения есть, но они, во-первых, несущественны, а во-вторых, для каких-либо выводов из них необходимы дальнейшие более систематические и подробные исследования.

С другой стороны, и соли по степени их ядовитости в общем для всех исследованных растений распределяются одинаково. Первое место в этом отношении принадлежит сернокислому магнию: он и по величине минимальной и максимальной концентраций и по продолжительности жизни растений на его растворах из исследованных мною солей наиболее ядовит для всех шести растений; за ним следует хлористый магний, далее сернокислый калий, хлористый калий; последнее место занимают азотнокислый кальций и калий; последние две соли в рассматриваемом отношении схожи между собою; в тех же различиях, какие они проявляют между собою, то одна из них более ядовита, то другая.

В описываемых опытах исследовались три сернокислые соли: сернокислый магний, калий и кальций (насыщенный раствор гипса, т. е. раствор приблизительно 0,02 норм.); результаты совершенно определенно показывают, что из трех этих солей наиболее ядовитым, и для всех исследованных растений, оказался сернокислый магний: при концентрации 0,01 норм. все растения на этой соли не только страдали, но и гибли, тогда как на

0,01 норм. сернокислого калия и на 0,02 норм. сернокислого кальция они вовсе не страдали. Относительно же сравнительной ядовитости сернокислого калия и кальция мои опыты не дают возможности сделать какое-либо заключение, так как они только показывают, что сернокислый калий

Таблица 3

Концентрации (в норм.) солей, между которыми лежит минимальная их концентрация, уже совершенно губящая растения

	MgSO ₄	MgCl ₂	K ₂ SO ₄	KCl	Ca(NO ₃) ₂	KNO ₃	CaSO ₄ . Насы- щен- ный раствор
Белая гор- чица . . .	Ниже 0,01 » 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05	0,1—0,05	Без- вре- ден
Лен		0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05	0,1—0,05	
Обыкновен- ная вика	Немного ниже 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,5—0,1	0,1—0,05	
Француз- ская лю- церна . . .		Ниже 0,01 » 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,5—0,1	
Ячмень . . .	Немного выше 0,05		0,05—0,01	Выше 0,1	0,5—0,1	0,5—0,1	
Овес							

Таблица 4

Концентрация (в норм.) солей, между которыми лежит максимальная их концентрация, переносимая еще растениями без вреда

	MgSO ₄	MgCl ₂	K ₂ SO ₄	KCl	Ca(NO ₃) ₂	KNO ₃	CaSO ₄ Насы- щен- ный раствор
Белая гор- чица . . .	Ниже 0,01	Ниж 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05	Без- вре- ден
Лен	» 0,01	» 0,01	0,05—0,01	0,05—0,01	0,1—0,05	0,1—0,05	
Обыкновен- ная вика	» 0,01	Немного ниже 0,01	0,05—0,01	Немного ниже 0,05	0,1—0,05	0,1—0,05	
Француз- ская лю- церна . . .	» 0,01	Немного ниже 0,01	0,05—0,01	Немного ниже 0,05	Немного ниже 0,1	0,1—0,05	
Ячмень . . .	» 0,01	Немного ниже 0,01	0,05—0,01	Немного ниже 0,05	Немного ниже 0,1	0,1—0,05	
Овес							

безвреден при концентрациях, находящихся в пределах 0,05—0,01 норм., а сернокислый кальций безвреден при концентрации 0,02 норм.

Если мы далее сравним испытанные мною хлористые соли, т. е. хлористый магний и хлористый калий, то опять увидим, по их действию на растения, что по ядовитости для растений хлористый магний стоит впереди хлористого калия. Отсюда с большой вероятностью можно заключить, что из бывших в моих опытах катионов Mg⁺⁺, K⁺ и Ca⁺⁺ наиболее ядовитым для растений является Mg⁺⁺, относительно сравнительной ядови-

тости ионов калия и кальция опыты с сернокислыми их солями, как я указывал, не дают указаний, но на основании сравнительного действия на растения азотнокислого кальция и калия можно заключить, что эти катионы или одинаково ядовиты или же ион калия более ядовит, чем ион кальция (см. табл. минимальных и максимальных концентраций). Такой вывод о сравнительной ядовитости ионов на основании непосредственных данных опыта о сравнительной ядовитости солей я делаю на основании следующих соображений.

Как показывают нижеследующие данные о степени электролитической диссоциации исследовавшихся мною солей, в водных растворах при концентрации 0,1 и особенно при концентрации 0,01 норм. значительная часть молекул этих солей, исключая сернокислого кальция и магния, распалась на отдельные ионы; сернокислые же магний и кальций диссоциированы значительно слабее; на основании лишь этих данных большую ядовитость сернокислого магния можно было бы отнести не только на сильную ядовитость Mg^{++} , но также на присутствие в растворах его меньшего количества аниона SO_4^{--} и большего количества недиссоциированных

Степень электролитической диссоциации¹

Концентрация (в норм.)	$MgSO_4$	K_2SO_4	$CaSO_4$	$MgCl_2$	KCl	KNO_3	$Ca(NO_3)_2$
0,1	42	71	—	74	85	83	72
0,01	65	87	63	87	93	94	87

молекул $MgSO_4$, нежели в растворах K_2SO_4 ; но эти соображения опровергаются сравнением $MgCl_2$ с KCl: таблица показывает, что при концентрации 0,01 норм. диссоциация этих двух солей очень значительна и приблизительно одна и та же, а между тем и здесь хлористый магний значительно ядовитее хлористого калия; отсюда правдоподобный вывод тот, что разное действие солей с общим анионом обуславливается различной ядовитостью их катионов.

В испытывавшихся солях мы имеем три различных аниона: SO_4^{--} и Cl^- и NO_3^- . Калийные соли этих анионов по своему действию на растения располагаются таким образом: наиболее ядовитым оказался сернокислый калий, наименее — азотнокислый калий; хлористый калий занимает среднее место. Далее опыты показывают, что две исследовавшиеся магниевые соли этих анионов, а именно сернокислый и хлористый магний, по ядовитости располагаются так же, как и калийные соли этих анионов; таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что из трех указанных анионов наиболее ядовитым для растений является SO_4^{--} , затем Cl^- и наименее NO_3^- .

Относительно характера внешних признаков страдания растений на растворах одиночных солей можно сказать следующее.

У всех исследовавшихся растений на всех солях прежде всего начинали страдать корни: они теряли свою упругость, ослизнялись и приобретали темную окраску; затем начинали сохнуть листья, после чего растение

¹ Вычислена мною на основании молекулярной электропроводности (см. Kohlrausch и Holboell. Die Leitvermögen der Elektrolyte, стр. 159, 160 и 161) и подвижности ионов (Там же, стр. 200).

погибало: стебель же повядал и сох лишь после совершенного повядания листьев. Описанный характер страдания виден на рис. 5 и 6 для клевера и горчицы.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из числа растений, бывших в моих опытах, четыре, а именно лен, горчица, вика и ячмень, исследовались на растворах всех трех рядов солеобразных веществ; поэтому возможно сравнить растения между собой по отношению их к этим веществам, а также сравнить степень ядовитости кислот, щелочей и солей для этих растений.

По чувствительности к кислотности из указанных четырех растений на первом месте стоит лен, то же место он занимает по своей чувствительности к щелочности и только по чувствительности к солям лишь несколько уступает горчице. *Горчица* по чувствительности к кислотности и щелочности занимает второе место, а по чувствительности к солям первое. *Вика* по чувствительности к кислотам и солям может быть поставлена на третьем месте; к щелочности же она относится таким образом, что по минимальной концентрации щелочи она занимает среди рассматриваемых здесь растений последнее место, а по максимальной первое. Наконец, *ячмень* по чувствительности к кислотам и солям занимает последнее, четвертое место, а по чувствительности к щелочам только в отношении минимальной концентрации стоит на третьем месте.

Для сравнения между собой кислот, щелочей и солей по относительной их ядовитости для каждого из рассматриваемых здесь четырех растений я привожу таблицы 5 и 6, содержащие минимальные и максимальные концентрации для этих растений наиболее и наименее ядовитой кислоты, щелочи и наиболее ядовитой, следующей за ней по степени ядовитости и наименее ядовитой из бывших в моих опытах солей.

Сравним сначала кислоты, щелочь и соли по величине их минимальных концентраций. Таблица 5 показывает, что в отношении льна и горчицы минимальная концентрация самой слабой кислоты меньше таковой щелочи и значительно меньше минимальной концентрации самой ядовитой соли; щелочь занимает, таким образом, в этом случае среднее место. Несколько иное получается для вики и ячменя: для них наиболее ядовитая из наших солей, $MgSO_4$, обладает более низкой минимальной концентрацией, чем едкий калий и чем лимонная кислота; таким образом, сернокислый магний оказывается по величине той концентрации, которая достаточна уже для умертвления растения, более ядовит для ячменя и вики, нежели едкий калий и очень слабо действующая лимонная кислота; ядовитость же лимонной кислоты и едкого калия в этом случае почти одинаковы; но сильные кислоты и в отношении своей минимальной концентрации для ячменя и вики значительно ядовитее щелочей и сернокислого магния.

Обратимся теперь к максимальным концентрациям, выносимым растением без вреда. Таблица 6 показывает, что в отношении этой концентрации все четыре растения оказываются гораздо более чувствительными к слабым кислотам и щелочам, нежели к солям; щелочь же сильнее действует, чем слабая кислота; что же касается сильных кислот, то на горчицу и лен они действуют значительно сильнее, нежели щелочь, а на ячмень и вику действие их приблизительно такое же, как и действие щелочи.

Серная кислота и сернокислый магний при концентрациях 0,01 норм. почти одинаково диссоциированы (степень диссоциации первой в этом

Таблица 5

Минимальная концентрация (в норм.), уже убивающая растение

	Кислот		Щелочей	Солей		
	сильных	лимонной	KOH	MgSO ₄	MgCl ₂	Ca(NO ₃) ₂
Лен	0,001	0,003	0,01—0,005	Ниже 0,01	0,05—0,01	0,1—0,05
Белая горчица	0,002—0,001	0,004	0,01—0,005	» 0,01	0,05—0,01	0,1—0,05
Обыкновенная вика	0,004—0,001	Немного выше 0,01	0,02—0,01	» 0,01	0,05—0,01	0,5—0,1
Ячмень	0,004—0,002	Немного выше 0,015	0,02—0,01	» 0,01	Немного выше 0,05	0,5—0,1

Таблица 6

Максимальная концентрация (в норм.), еще переносимая растением без вреда

	Кислот		Щелочей	Солей		
	сильных	лимонной	KOH	MgSO ₄	MgCl ₂	Ca(NO ₃) ₂
Лен	0,0002	0,001	0,0008— —0,0005	Ниже 0,01	Ниже 0,01	0,1—0,05
Белая горчица . .	0,0004	0,0015	0,001— —0,0008	» 0,01	» 0,01	0,1—0,05
Обыкновенная ви- ка	0,0006— —0,0004	0,002— —0,001	Ниже 0,0005	» 0,01	Немного ниже 0,01	0,1—0,05
Ячмень	0,001— —0,0008	0,006— —0,004	0,001— —0,0008	» 0,01	Немного ниже 0,01	Немного ниже 0,1

случае 73, а второго 65), так что при этой концентрации раствор серной кислоты содержит почти столько же ионов водорода, сколько раствор сернокислого магния ионов магния; между тем, как видно из той же таблицы, серная кислота во много раз ядовитее сернокислого магния; отсюда надо заключить, что из положительных ионов ион водорода значительно ядовитее для растений, чем ион магния, самый ядовитый из положительных ионов исследованных мною солей. Далее при концентрации 0,01 норм. степень диссоциации едкого калия 95, сернокислого 87, а азотнокислого калия 94, т. е. почти одинакова; итак, эти три вещества с одним и тем же катионом в эквимолекулярных растворах содержат почти одинаковые количества отрицательных ионов, т. е. OH', SO₄'', NO₃', по ядовитости же едкий калий значительно превосходит сернокислый и азотнокислый калий; таким образом, ядовитое действие на растения аниона OH' значительно сильнее, нежели действие SO₄'', т. е. чем действие самого ядовитого из исследованных мною анионов солей.

Подобное сравнение ядовитости H' и OH' невозможно вследствие неодинаковости вторых ионов: различие в действии едкого калия, и, например, почти одинаково с ним диссоциированной азотной кислоты можно отчасти относить на присутствие в первом случае иона калия, а во втором аниона азотной кислоты; влияния этого нельзя учесть, и по-

тому на основании большей ядовитости азотной кислоты, нежели едкого калия, только с некоторой вероятностью можно заключать о том, что водородный ион ядовитее для растений, нежели гидроксильный ион.

В заключение скажу несколько слов о причинах различного действия различных соединений. Говоря о причине сильного действия на растение кислот, я уже упоминал о теории отеков в тканях M. Fischer'a, которая, может быть, даст что-либо для объяснения сильной ядовитости этих соединений; а так как причиной отеков по M. Fischer'у может быть и щелочность, то возможно, что теория эта даст основание и для объяснения сильной ядовитости щелочей. Мне также уже приходилось упоминать об «адсорбционной теории» ядовитого действия солей на организмы, развиваемой в животной физиологии Wo. Ostwald'ом, Morawitz'ем и др.; по этой теории между ядовитостью растворов различной концентрации данного соединения и величиной поглощения этого вещества из растворов существует тесная зависимость: возможно, что теория эта окажется справедливой и в отношении действия на растения растворов одного и того же вещества в различных концентрациях; но она как там, так и тут недостаточна, конечно, для объяснения различного действия различных веществ: более сильное поглощение протоплазмой одного вещества сравнительно с другим будет лишь одним из моментов, обуславливающих тот или иной эффект действия первого вещества, но моментом, увеличивающим его ядовитость.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА УСВОЯЕМОСТЬ РАСТЕНИЯМИ И НА РАСТВОРИМОСТЬ ВОДНОРАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ

В настоящей статье мы имеем в виду изложить результаты вегетационных опытов по влиянию значительных количеств осаждаемого углекислого кальция на действие фосфорноодноватриевой соли и монокальциевого фосфата под растениями различной усвояющей способности, а также лабораторного исследования действий CaCO_3 на растворимые фосфаты.

Этот вопрос затрагивался нами уже не раз в различных статьях, но лишь мимоходом; так, относительно влияния углекислого кальция на монокальциевый (и двухкальциевый) фосфат на основании теоретических соображений в статье «Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений»¹ мы пришли к выводу, что «в присутствии его (CaCO_3) переход в раствор фосфорной кислоты (этих фосфатов) должен значительно уменьшиться...»

Понижающее влияние углекислого кальция на действие NaH_2PO_4 нам приходилось не раз констатировать в опытах по изучению потребности почв в удобрениях, действия фосфоритов на различных почвах и т. д.² Таким образом, и теоретические соображения и данные вегетационного опыта приводили нас к выводу, что углекислый кальций при известных условиях может понижать усвояемость фосфорной кислоты не только труднорастворимых фосфатов, но и воднорастворимых. Между тем имеющиеся в литературе данные, или, вернее, те заключения, которые делались исследователями из полученных ими результатов, как бы противоречат этому выводу.

Относительно действия углекислого кальция на трехкальциевый фосфат и на фосфорнокислые туки, содержащие этот фосфат, в настоящее время, кажется, разногласий нет: и теоретические соображения и непосредственные исследования показывают, что растворимость фосфорно-трехкальциевой соли понижается в присутствии углекислого кальция; опыты с растениями показывают, что это понижение растворимости отзывается и на доступности растениям фосфорной кислоты: усвояемость фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата и удобрений, содержащих этот фосфат, понижается в присутствии углекислого кальция, причем это понижающее влияние углекислого кальция на различных растениях

¹ «Журнал опытной агрономии», 1905, стр. 695.

² Труды Сельскохозяйственной химической лаборатории, вып. 4 и 6.

сказывается не одинаково; интересно отметить, что по степени использования фосфорной кислоты, например фосфорита, в присутствии углекислого кальция растений располагаются в ином порядке, нежели по степени использования фосфорной кислоты того же фосфорита, но без прибавки углекислого кальция. Так, например, в наших опытах 1905 г.¹ на слабооподзоленной почве горчица по одному фосфориту дала урожай 71,4 г на сосуд (при урожае по фосфорнокислому натрию 72,4 г), по фосфориту же плюс углекислый кальций—лишь немного меньше—68,8 г; таким образом, горчица сильно использовала фосфорную кислоту фосфорита и в отсутствие и в присутствии углекислого кальция; у гречихи же, которая в присутствии углекислого кальция также очень сильно использовала фосфорную кислоту фосфорита (урожай по фосфориту 77,2 г, при урожае по фосфорнокислому натрию 88,4 г), эта способность понизилась в присутствии углекислого кальция очень сильно (урожай по фосфориту 54,7 г, по фосфорнокислому натрию 85,3 г).

Слабое использование гречихой фосфорной кислоты фосфорита в присутствии углекислого кальция мы видим и в опытах (песчаные культуры) Московского сельскохозяйственного института².

Укажем далее, что по опытам нашей лаборатории влияние CaCO_3 , понижающее доступность фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата, оказывается неодинаковым для фосфата свежесажженного, просушенного и прокаленного. Так, в песчаных культурах³ на свежесажженном фосфате кальция горчица дала одинаковый урожай и в присутствии и в отсутствие CaCO_3 , а именно 34,8 и 34,2 г воздушносухой надземной массы на сосуд, т. е. усвояемость фосфорной кислоты свежесажженного трехкальциевого фосфата для горчицы несколько не понизилась от CaCO_3 ; при том же фосфате, но просушенном при 105° , углекислый кальций уже заметно понизил усвояемость горчицей его фосфорной кислоты (урожай без углекислого кальция 24,4 г, в присутствии же CaCO_3 18,4 г); еще сильнее понизилась от прибавления углекислого кальция усвояемость горчицей прокаленного трехкальциевого фосфата (урожай упал с 21,0 до 13,2 г). То же повторяется и для льна, только в этом случае в присутствии углекислого кальция понизилась и усвояемость льном фосфорной кислоты свежесажженного фосфата.

Вопрос о влиянии углекислого кальция на действие воднорастворимых фосфатов исследован гораздо менее. Нам известны лишь исследования, производившиеся при кабинете частного земледелия Московского сельскохозяйственного института, и работа W. Simmermacher'a. На основании первых исследований Д. Н. Прянишников приходит к следующему выводу: «Из всех приведенных выше опытных данных приходится заключить, что внесение углекислой извести оказывает неодинаковое действие на разные фосфаты кальция, а именно наибольшую чувствительность проявляет трехкальциевый фосфат и те из фосфорнокислых удобрений, в состав которых входит или именно этот фосфат (кость), или же близкие к нему формы (фосфориты); что же касается других фосфатов

¹ К. Гедройц. О сравнительной способности сельскохозяйственных растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита. «Труды Сельхоз. хим. лаборатории», вып. VI, стр. 4.

² Д. Н. Прянишников. Опыты по влиянию CaCO_3 на усвояемость различных фосфатов кальция. Из результатов вегетационных опытов и лабор. работ за 1904, 1906 и 1907 гг., стр. 4.

³ К. Гедройц. Доступность растениям фосфорной кислоты различных фосфорнокислых солей. «Труды Сельхоз. хим. лаборатории», вып. VI, стр. 346 и 348.

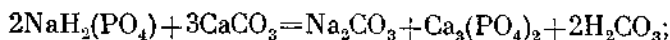
«одно-двухкальциевый, фосфаты томашлака), то для них не наблюдалось в пределах произведенных опытов такого подавляющего влияния углекислой извести на урожай; возможно, конечно, что при внесении еще больших количеств¹ CaCO_3 будет и в этих случаях наблюдаться падение урожая»². К этой второй группе фосфатов, действие которых почти не изменяется от прибавления углекислого кальция, проф. П р я н и ш н и к о в относит и фосфорнооднокалиевую соль³. W. Simmermacher⁴ производил опыты в песчаных культурах с овсом; испытывалось влияние различных количеств CaCO_3 на действие монокальциевого фосфата (и двукальциевого); фосфат брался в различных количествах. Результаты показали, что урожай овса по монокальциевому фосфату не понижался в присутствии углекислого кальция, содержание же фосфорной кислоты в полученных урожаях в присутствии углекислого кальция было ниже, нежели в отсутствие его.

А. ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ 1911 г.

В настоящей статье я остановлюсь на двух опытах, произведенных Сельскохозяйственной химической лабораторией по интересующему вопросу в 1911 г.: один был поставлен на песчаном черноземе, не содержащем углесолей, а другой на подпочве суглинистого чернозема, богатой углесолями.

1. ОПЫТЫ НА ПЕСЧАНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ

Цель этого опыта была проследить влияние большого количества осажженного углекислого кальция на действие фосфорнокислого натрия (NaH_2PO_4) и однокальциевого фосфата [$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$] под льном, овсом и горчицей; кроме того, при постановке этого опыта имелась в виду и другая цель. Дело в том, что при полном удобрении с фосфорнокислым натрием в качестве фосфорнокислого удобрения очень часто у нас в сосудах наблюдается понижающее действие углекислого кальция; одной из причин вредного действия мела в данном случае могла являться сода, быть может образующаяся реакцией взаимного обмена между фосфорнокислым натрием и углекислым кальцием:



наш опыт, поставленный по нижеприводимой схеме, должен был дать ответ и на этот вопрос.

Почвою служил песчаный чернозем из имения В. А. Резцова (под селом Хреновым, Воронежской губернии, Бобровского уезда); химический и механический состав этой почвы, а также потребность ее в удобрениях под ячменем и викой интересующиеся могут найти в IV вып. «Трудов лаборатории» (стр. 32); отметим здесь, что реакция этой почвы слабощелая.

¹ В опытах, из результатов которых делается этот вывод, вносилось до 1% CaCO_3 от веса песка (песчаные культуры).

² Там же, стр. 11, 12.

³ Там же, стр. 15.

⁴ W. Simmermacher. Einwirkung des kohlensauren Kalkes bei der Düngung von Haferkulturen mit Mono- und, Dicalciumphosphat. Landw. Vers.-St., Bd. 77, 1912, стр. 441; реф. в «Журнале опытной агрономии», 1913, стр. 383.

1. **ВВЕДЕНИЕ**

Основное удобрение																									
Фосфорнокислый натрий, NaH_2PO_4				Монокальциевый фосфат $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$																					
1,50 г P_2O_5				0,75 г P_2O_5				1,5 г P_2O_5																	
50 г CaCO_3				50 г CaCO_3																					
Урожай (в граммах на сосуд)																									
	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего	№ сосуда	зерно	солома	всего									
Лен	1-й сосуд	484	14,8	48,6	63,4	486	15,7	42,7	58,4	488	16,0	47,2	63,2	490	8,5	31,8	40,3	492	15,2	47,0	62,2	494	13,0	42,0	55,0
	2-й »	485	16,6	46,2	62,8	487	15,0	43,5	58,5	489	16,2	48,5	64,7	491	8,8	30,3	39,1	493	16,0	48,0	64,0	495	14,9	43,2	58,1
	Среднее	—	15,7	47,4	63,1	—	15,4	43,1	58,5	—	16,1	47,9	64,0	—	8,7	31,0	39,7	—	15,6	47,5	63,1	—	14,0	42,6	56,6
Овес	1-й сосуд	449	36,3	38,6	74,9	451	30,7	37,1	67,8	453	31,0	40,8	71,8	455	25,5	36,3	61,8	457	33,8	38,9	72,7	459	28,7	36,8	65,5
	2-й »	450	37,3	37,6	74,9	452	32,0	37,8	69,8	454	32,0	41,6	73,6	456	26,8	37,8	64,6	458	33,0	38,5	71,5	460	27,7	38,9	66,6
	Среднее	—	36,8	38,1	74,9	—	31,4	37,4	68,8	—	31,5	41,2	72,7	—	26,2	37,0	63,2	—	33,4	38,7	72,1	—	28,2	37,9	66,1
Горчица	1-й сосуд	466	16,2	57,4	73,6	468	17,5	67,2	84,7	472	15,3	59,5	74,8	474	17,7	62,5	80,2	476	16,0	61,2	77,2	478	18,2	68,7	86,9
	2-й »	467	16,9	58,9	75,8	469	17,4	67,1	84,5	473	15,1	60,4	75,5	475	17,9	65,4	83,3	477	15,8	59,9	75,7	479	17,0	69,2	86,2
	Среднее	—	16,6	58,1	74,7	—	17,5	67,1	84,6	—	15,2	60,0	75,2	—	17,8	64,0	81,8	—	15,9	60,6	76,5	—	17,6	69,0	86,6

Схема опыта была такова:

2	сосуда с основным удобрением без P_2O_5	{0,7 г N в $Ca(NO_3)_2$; 0,3 г K_2O в K_2SO_4 }
2	»	» P_2O_5 +50 г $CaCO_3$
2	»	» +0,75 г P_2O_5 в NaH_2PO_4
2	»	» +0,75 » P_2O_5 » NaH_2PO_4 +50 г $CaCO_3$
2	»	» +1,50 » P_2O_5 » NaH_2PO_4
2	»	» +1,50 » P_2O_5 » NaH_2PO_4 +50 г $CaCO_3$
2	»	» +0,75 » P_2O_5 » $CaH_4(PO_4)_2$
2	»	» +0,75 » P_2O_5 » $CaH_4(PO_4)_2$ +50 г $CaCO_3$
2	»	» +1,50 » P_2O_5 » $CaH_4(PO_4)_2$
2	»	» +1,50 » P_2O_5 » $CaH_4(PO_4)_2$ +50 г $CaCO_3$

Однокальциевый фосфат был выписан от Kahlbaum'a и по анализу соответствовал формуле $CaH_4(PO_4)_2$; вносился в почву в растворе. Углекислый кальций всюду употреблялся осажденный.

В сосуды (цинковые, 20 см в диаметре, 20 см высотой) помещалось около 2 кг промытой гальки (вес сосуда с галькой всюду доводился до 3,5 кг) и 5 кг почвы (по перечислению на сухую); таким образом, количество $CaCO_3$ на сосуд составляло 1% от веса сухой почвы.

Посев льна, овса и горчицы был произведен 6 мая; льна было оставлено по 50 растений на сосуд, овса и горчицы по 15; во время вегетации сосуды поддерживались при влажности 27,3 от веса сухой почвы (наибольшая гигроскопичность почвы 6,4%, влагоемкость почвы 41,9%, оптимальная влажность 27,3).

Таблица 2

Процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях на песчаном черноземе

	Основное удобрение									
	Без фосфорной кислоты		Фосфорнокислый натрий				Монокальциевый фосфат			
			0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5	
		50 г $CaCO_3$		50 г $CaCO_3$		50 г $CaCO_3$		50 г $CaCO_3$		50 г $CaCO_3$
Лен										
Зерно	0,701	0,682	1,592	1,392	2,081	1,811	0,573	1,217	2,111	1,819
Солома	0,091	0,082	0,141	0,123	0,413	0,221	0,148	0,099	0,409	0,234
Общий урожай	0,212	0,207	0,517	0,415	0,829	0,637	0,507	0,348	0,828	0,645
Овес										
Зерно	0,451	0,422	0,810	0,733	0,931	0,877	0,814	0,718	0,941	0,901
Солома	0,080	0,083	0,095	0,087	0,107	0,090	0,091	0,080	0,102	0,113
Общий урожай	0,214	0,193	0,415	0,369	0,511	0,449	0,404	0,345	0,493	0,422
Горчица										
Зерно	0,714	0,710	2,411	2,451	2,473	2,411	2,409	2,163	2,451	2,399
Солома	0,061	0,062	0,123	0,101	0,294	0,251	0,125	0,097	0,281	0,272
Общий урожай	0,290	0,299	0,569	0,553	0,724	0,698	0,525	0,532	0,732	0,701

Уже вскоре после появления всходов стала замечаться разница в сосудах, получивших фосфорнокислосое удобрение, между растениями известковавшимися и неизвестковавшимися; разница эта постепенно все увеличивалась, а незадолго до 6 июня стала у горчицы и овса несколько уменьшаться; 6 июня все три растения были сфотографированы (см. рис. 1, 3 и 5); до означенного времени, как это видно и на рисунках, углекислый каль-

Таблица 3

Абсолютное содержание фосфорной кислоты (в граммах на сосуд) в урожае на песчаном черноземе

	Основное удобрение									
	Без фосфорной кислоты		Фосфорнокислый натрий				Монокальцевый фосфат			
			0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5	
	50 г CaCO_3		50 г CaCO_3		50 г CaCO_3		50 г CaCO_3		50 г CaCO_3	
Лен										
Зерно	0,034	0,027	0,259	0,150	0,328	0,278	0,253	0,107	0,329	0,265
Солома	0,018	0,013	0,065	0,044	0,196	0,095	0,071	0,031	0,194	0,100
Общий урожай	0,052	0,040	0,324	0,194	0,524	0,373	0,324	0,138	0,523	0,365
Овес										
Зерно	0,034	0,020	0,267	0,211	0,342	0,275	0,256	0,188	0,319	0,254
Солома	0,011	0,009	0,036	0,032	0,041	0,034	0,038	0,030	0,039	0,045
Общий урожай	0,045	0,029	0,303	0,243	0,383	0,309	0,294	0,218	0,358	0,299
Горчица										
Зерно	0,048	0,051	0,357	0,381	0,411	0,422	0,320	0,385	0,390	0,420
Солома	0,007	0,008	0,074	0,063	0,171	0,168	0,075	0,062	0,170	0,187
Общий урожай	0,055	0,059	0,431	0,444	0,582	0,590	0,395	0,447	0,560	0,607

ций сильнее всего понижал развитие льна, затем горчицы; слабее всего, но в том же направлении он действовал на овес; отрицательное влияние углекислого кальция для всех трех растений сильнее выражалось в присутствии однокальцевого фосфата, нежели в присутствии фосфорнокислого натра, причем и в случае фосфорнокислого кальция и в случае фосфорнокислого натрия понижение урожая при двойной дозе фосфорной кислоты (1,5 г P_2O_5 на сосуд) всюду было меньше, нежели при ordinarilyном ее количестве,—ясное указание на то, что более слабое развитие растений при углекислом кальции вызывалось уменьшением доступности им фосфорной кислоты.

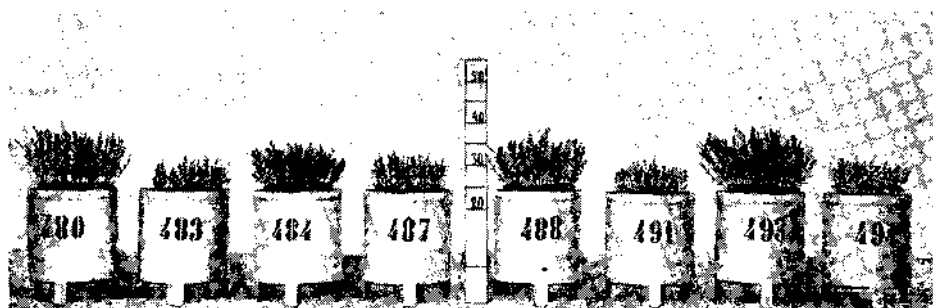
Около 6 июня указанные различия во внешнем виде горчицы и овса стали постепенно сглаживаться; быстрее выравнивалась горчица, и ко времени цветения уже нельзя было подметить какого-либо различия между сосудами, получившими фосфорную кислоту с известью и без извести (рис. 6, горчица в полном цвету); выравнивание овса происходило очень медленно и мало заметно: разница между растениями в отсутствие и присутствии CaCO_3 оставалась до полного созревания так же мало заметной, как и в начале вегетации (сравни. рис. 3 и 4).

Что касается льна, то здесь разница между известкованными и не известкованными растениями с ростом растений оставалась во всяком случае такой же резкой, как и в первые стадии развития, и даже как будто бы увеличивалась (сравни. рис. 1 и 2). Интересно отметить, что углекислый кальций очень сильно задерживал созревание льна: в сосудах с фосфорной кислотой лен в отсутствие углекислого кальция созрел уже в начале августа, между тем как по углекислому кальцию лишь в начале сентября¹.

¹ Этим объясняется, что на фот. 2 разница между известкованными и не известкованными растениями значительно больше, чем по результатам взвешивания.

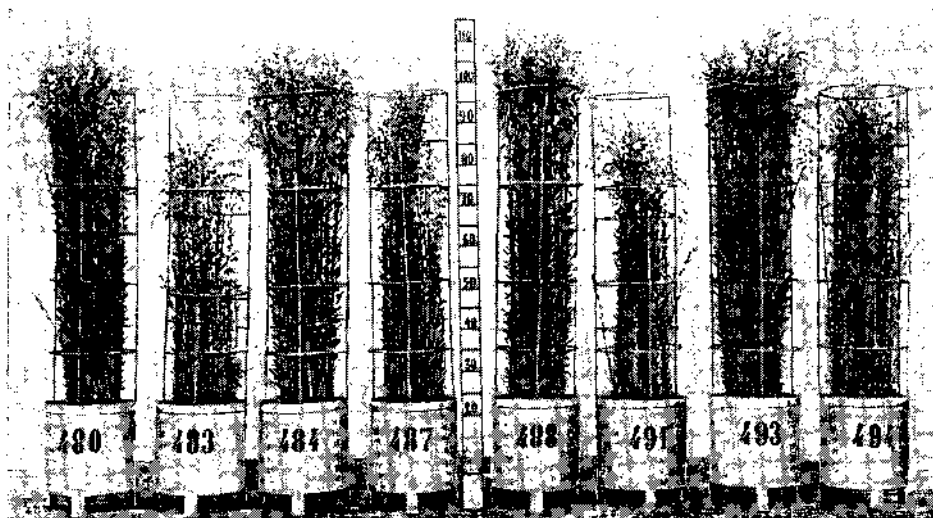
ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСТОГО КАЛЬЦИЯ НА ДЕЙСТВИЕ РАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ
ПОД ЛЬНОМ

Рис. 1. Снимок 6 июня



Основное удобрение							
Однонатриевый фосфат				Однокальциевый фосфат			
0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5	
$CaCO_3$ в г на сосуд							
0	50	0	50	0	50	0	50

Рис. 2. Снимок 18 июля



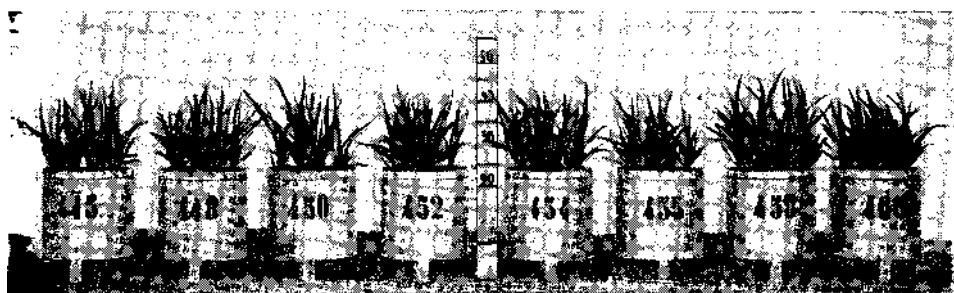
P_2O_5 в г на сосуд							
0,75 в NaH_2PO_4		1,50 в NaH_2PO_4		0,75 в $Ca(H_2PO_4)_2$		1,50 в $Ca(H_2PO_4)_2$	
$CaCO_3$ в г на сосуд							
0		50		0		50	
Урожай в г на сосуд							
Зерно	16,3	10,8	15,7	15,4	16,1	8,7	15,6
Солома	46,4	36,0	47,4	43,1	47,9	31,0	47,5
Всего	62,7	46,8	63,1	58,5	64,0	39,7	63,1

Вес урожаев этого опыта приведем в таблице 1: процентное содержание фосфорной кислоты—в таблице 2, а абсолютное содержание ее—в таблице 3.

Укажем прежде всего, что, согласно таблице 1 ни в одном случае $Ca(H_2PO_4)_2 + CaCO_3$ не действовал лучше $NaH_2PO_4 + CaCO_3$, так что если

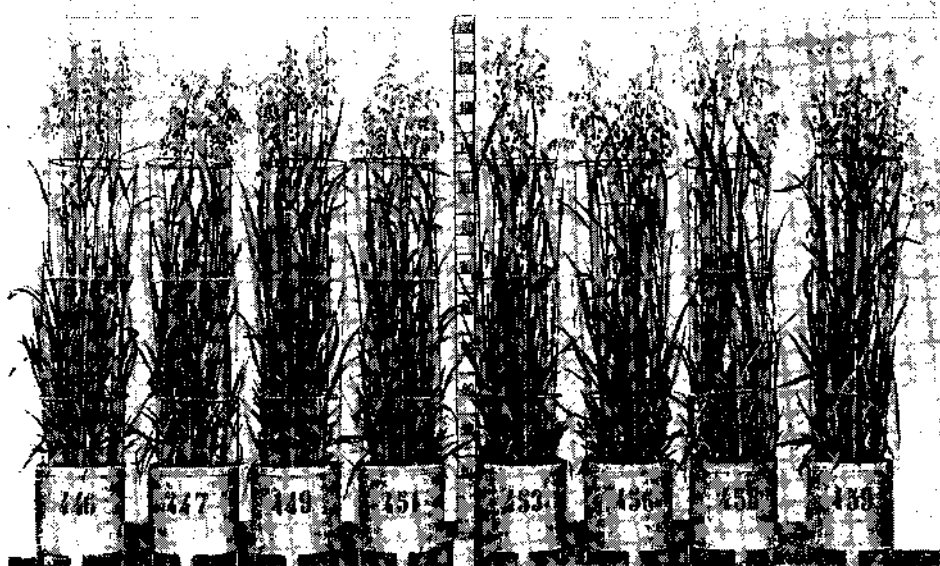
ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА ДЕЙСТВИЕ РАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ
ПОД ОВСОМ

Рис. 3. Снимок 6 июня



Основное удобрение							
Однонатриевый фосфат				Однокальциевый фосфат			
0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5	
CaCO_3 в г на сосуд							
0	50	0	50	0	50	0	50

Рис. 4. Снимок 13 июля



	P_2O_5 в г на сосуд							
	0,75 в NaH_2PO_4		1,50 в NaH_2PO_4		0,75 в $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$		1,50 в $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	
	0	50	0	50	0	50	0	50
Урожай в г на сосуд								
Зерно	33,0	28,8	36,8	31,4	31,5	26,2	33,4	28,2
Солома	40,0	37,0	38,1	37,4	41,2	37,0	38,7	37,9
Всего	73,3	65,8	74,9	67,8	72,7	63,2	72,1	66,1

сода и образовывалась в последней системе, то лишь в количествах, не вредных растениям; а затем перейдем к рассмотрению результатов, полученных для каждого из растений в отдельности.

1. ЛЕН

Таблица 1 показывает, что величина урожая льна при всех комбинациях удобрений в присутствии извести выше, нежели в соответствующих сосудах без углекислого кальция; в сосудах без фосфорнокислого удобрения урожай зерна льна под влиянием CaCO_3 понизился на 1,1 г, а общий урожай (зерно + треста) на 5,2 г. При фосфорнокислом удобрении величина общего урожая в зависимости от присутствия мела и количества P_2O_5 изменялась таким образом:

NaH_2PO_4 :	0,50 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$:	0,50 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Без CaCO_3	62,7 г	63,1 г		64,0 г	63,1 г
С CaCO_3	46,8 »	58,5 »		39,7 »	56,6 »

Так как углекислый кальций влиял на урожай льна и в отсутствие фосфорнокислого удобрения, то для учета влияния мела на действие фосфорнокислого натрия и однокальцевого фосфата мы сравним разность между урожаем льна в сосудах с фосфорной кислотой без мела и урожаем льна в сосудах без фосфорной кислоты и без мела с соответствующей разностью между урожаем льна в сосудах с фосфорной кислотой + CaCO_3 и урожаем льна в сосудах с CaCO_3 без фосфорной кислоты; получаем при этом следующие данные.

Влияние CaCO_3 на действие NaH_2PO_4 и $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ под льном
Увеличение общего урожая и урожай зерна льна (в граммах на сосуд)

	Фосфорнокислый натрий			Монокальцевый фосфат		
	P_2O_5 (в г на сосуд)	без CaCO_3	с CaCO_3	P_2O_5	без CaCO_3	с CaCO_3
Общий урожай {	0,75	38,2	27,5	0,75	39,6	20,4
	1,50	38,6	39,2	1,50	38,6	37,3
Зерно {	0,75	11,4	6,8	0,75	11,2	4,7
	1,50	10,8	11,4	1,50	10,7	10,0

Мы видим, что при 0,75 г фосфорной кислоты в отсутствие углекислой извести при обоих фосфатах фосфорная кислота в сосудах была в оптимуме; дальнейшее увеличение дозы ее уже не повышало урожая; в присутствии 50 г CaCO_3 действие этого количества фосфорной кислоты понизилось в случае фосфорнокислого натрия с 38,2 г общего урожая льна до 27,5 г, а в случае монокальцевого фосфата еще сильнее — с 39,6 до 20,6 г, т. е. почти на 50%; при повышении количества фосфорной кислоты с 0,75 до 1,50 г на сосуд прирост урожая льна по обоим фосфатам в отсутствие извести не изменился, а в присутствии ее повысился и достиг той же величины, как и в соответствующих сосудах без углекислого кальция. Итак, присутствие в почве 1% углекислого кальция в условиях нашего вегетационного опыта и при нормальном количестве фосфорной кислоты очень сильно понизило удобрительное действие подо льном и фосфорнокислого натрия и монокальцевого фосфата, причем это отрицательное влияние сильнее сказалось на монокальцевом фосфате, нежели на фосфорнокислом натрии; при увеличении количества фосфорной кислоты вдвое сравнительно с нормальным отрицательное действие углекислого кальция исчезло и прирост урожая льна в его присутствии оказывался таким же, как в сосудах, не получавших CaCO_3 .

Та же картина получается и для урожаев одного зерна.

Обращаемся теперь к данным содержания в урожаях льна фосфорной кислоты.

Таблица 2 показывает, что процентное содержание этого вещества в общем урожае льна под влиянием известкования понизилось, а именно.

Процентное содержание P_2O_5 в общем урожае льна в присутствии и в отсутствие углекислого кальция

	Без фосфорнокислого удобрения	NaH_2PO_4		$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	
		0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Сосуды без CaCO_3	0,212	0,517	0,829	0,507	0,828
Сосуды с CaCO_3	0,207	0,415	0,637	0,348	0,645

В отсутствие фосфорнокислого удобрения углекислый кальций слабо понизил процентное содержание фосфорной кислоты, по фосфорнокислому же натрию и монокальциевому фосфату процентное содержание понизил сильно; понижение процентного содержания P_2O_5 имело место и в том случае, когда урожай не падал под влиянием CaCO_3 , т. е. при сильно избыточном количестве фосфорнокислого удобрения; оно даже в этом случае было относительно больше, чем при нормальной дозе фосфатов.

Совершенно такое же влияние углекислого кальция имеет место и в отношении процентного содержания фосфорной кислоты отдельно в зерне и тресте.

Отметим еще, что указанное влияние углекислого кальция при нормальной дозе фосфатов сильнее сказалось при монокальциевом фосфате, нежели при фосфорнокислом натрии, при внесении же двойного количества фосфорной кислоты оно оказалось почти одинаковым в обоих случаях, что видно из нижеследующей таблицы, в которой приведено процентное содержание P_2O_5 в зерне, тресте и общем урожае льна по фосфорнокислому удобрению плюс углекислый кальций (в процентах от соответствующих величин без углекислого кальция).

	Фосфорнокислый натрий		Монокальциевый фосфат	
	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Зерно	88	87	77	86
Треста	87	57	67	57
Общий урожай	80	77	69	78

Так как в присутствии углекислого кальция урожай льна уменьшался или не изменялся, а процентное содержание фосфорной кислоты во всех случаях понижалось, то абсолютное содержание фосфорной кислоты в урожае льна при всех комбинациях удобрений при внесении углекислого кальция было ниже, чем в сосудах без мела: CaCO_3 понижал использование льном фосфорной кислоты почвы и внесенных фосфатов. Для общего урожая льна абсолютное содержание P_2O_5 (в граммах на сосуд) выражается следующими цифрами.

Без фосфорной кислоты		Фосфорнокислый натрий				Монокальциевый фосфат			
		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5	
	+CaCO ₃		+CaCO ₃		+CaCO ₃		+CaCO ₃		+CaCO ₃
0,052	0,040	0,324	0,194	0,524	0,373	0,324	0,138	0,523	0,365

Вычитая из количеств фосфорной кислоты, воспринятой льном из почвы + фосфорнокислое удобрение, количество ее, извлеченное растениями из почвы без фосфорнокислого удобрения, получим, что при исследовавшихся нами комбинациях растения взяли из фосфатов следующие количества P_2O_5 (в граммах на сосуд).

Количество P_2O_5 , взятой льном из данного ему фосфата

	Фосфорнокислый натрий				Монокальциевый фосфат			
	0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,50 г P_2O_5	
		CaCO ₃		CaCO ₃		CaCO ₃		CaCO ₃
Зерно	0,225	0,123	0,294	0,251	0,219	0,080	0,295	0,238
Треста	0,047	0,031	0,178	0,082	0,053	0,018	0,176	0,087
Общий урожай	0,272	0,154	0,472	0,333	0,272	0,098	0,471	0,325

Количество фосфорной кислоты, взятой льном из данных ему растворимых фосфатов, под влиянием мела понизилось, таким образом, во всех случаях; если принять за 100 количество фосфорной кислоты, воспринятой зерном, трестой и общим урожаем льна в отсутствие углекислой извести, то для соответствующих количеств в присутствии CaCO₃ получим.

	NaH ₂ PO ₄		CaH ₂ (PO ₄) ₂	
	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Зерно	55	85	37	81
Треста	66	46	35	50
Общий урожай	57	70	36	69

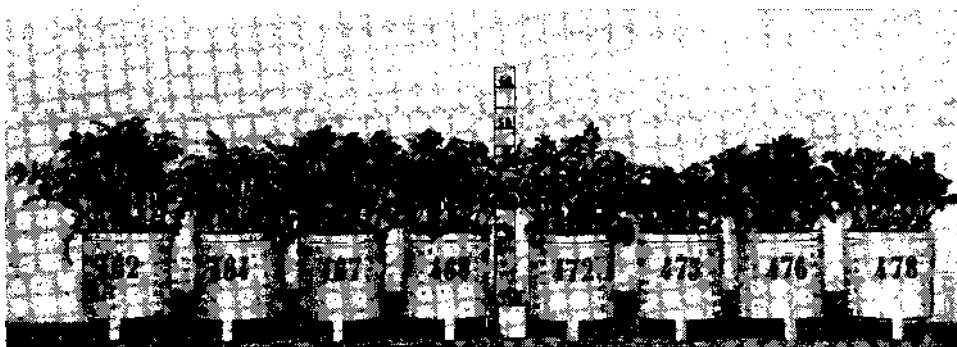
При одинаковых количествах фосфорной кислоты фосфорнокислый натрий и монокальциевый фосфат использовались льном в отсутствие CaCO₃ почти одинаково; в присутствии же углекислого кальция восприятие фосфорной кислоты при дозе 0,75 г на сосуд из монокальцевого фосфата уменьшилось, как показывают вышеприведенные данные, гораздо сильнее, нежели из фосфорнокислого натрия; при большой дозе фосфорной кислоты (1,5 г на сосуд) влияние углекислого кальция на восприятие ее из этих фосфатов почти сравнялось. Отметим еще, что при ординарной дозе фосфорной кислоты углекислый кальций и при том и при другом

фосфате понижал содержание фосфорной кислоты в зерне и тресте относительно одинаково (55 и 66 при фосфорнокислом натрии и 37 и 35 при монокальциевом фосфате), при двойной же дозе фосфорной кислоты содержание ее в тресте понижалось значительно сильнее нежели содержание в зерне (85 и 46 при фосфорнокислом натрии и 81 и 50 при монокальциевом фосфате).

Итак, в присутствии углекислого кальция при нормальных дозах фосфорной кислоты в виде растворимых фосфатов натрия и кальция урожай льна очень сильно понижался. Понижение это могло быть вызвано двумя причинами. Во-первых, углекислый кальций может быть сам по себе вреден льну, т. е. лен, может быть, относится к растениям, чувствительным к этому веществу; если это так, то лен в присутствии мела будет страдать и, конечно, урожай его должен понижаться. Во-вторых, углекислый кальций может действовать на лен не непосредственно, а уменьшая доступность ему фосфорной кислоты фосфатов. Мы думаем, что если не единственной, то во всяком случае главной причиной понижения урожая была именно вторая из перечисленных. Мы не имеем данных для отрицания вредного действия мела на лен, но вся совокупность приведенных выше результатов говорит, что это влияние мела, принимая во внимание очень сильное понижение урожая, могло играть лишь второстепенную роль. Прежде всего укажем, что постоянное наблюдение за развитием льна за все время вегетации не обнаруживало каких-либо страданий в присутствии мела: лен по углекислому кальцию был ниже, развивался медленнее, нежели без мела, но растения как там, так и здесь были нормальны и совершенно здоровы; само замедление в развитии и созревании льна напоминало совершенно то же явление, например, в опытах с потребностью льна в удобрениях в сосудах, получавших полное удобрение без фосфорной кислоты, т. е. при относительном избытке азота. Далее мы видели, что увеличение количества вносимой фосфорной кислоты понижает отрицательное действие углекислого кальция, а при двойной дозе фосфатов отрицательное действие углекислого кальция на величину урожая совершенно исчезало; конечно, можно допустить, что прибавление фосфорнокислого удобрения могло благоприятно влиять и в том случае, когда урожай понижался вследствие вредного действия мела непосредственно на самое растение; но при избытке питательных веществ и в том числе фосфорной кислоты страдание это могло проявиться слабее, совершенно же исчезнуть оно не должно было. Особенно ясно говорит за то, что мел здесь влиял неблагоприятно, понижая усвояемость фосфатов, а не вызывая страдание льна каким-либо другим способом, процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях льна: мы видели, что всюду, где присутствовал углекислый кальций, процентное содержание фосфорной кислоты во льне было понижено; если бы урожай льна понижался в сосудах с углекислым кальцием не вследствие уменьшения количества усвояемой фосфорной кислоты, а по другой какой-нибудь причине, то растение это в последнем случае имело бы в своем распоряжении относительно больше фосфорной кислоты, нежели лучше развившийся лен без углекислого кальция и процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях должно было быть как раз обратно тому, что было на самом деле: не понижаться, а повышаться; раз же с понижением урожая процентное содержание питательного вещества в растении понижается, это служит надежным признаком того, что понижение вызывалось главным образом уменьшением количества питательного вещества, доступного растению.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА ДЕЙСТВИЕ РАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ
ПОД ГОРЧИЦЕЙ

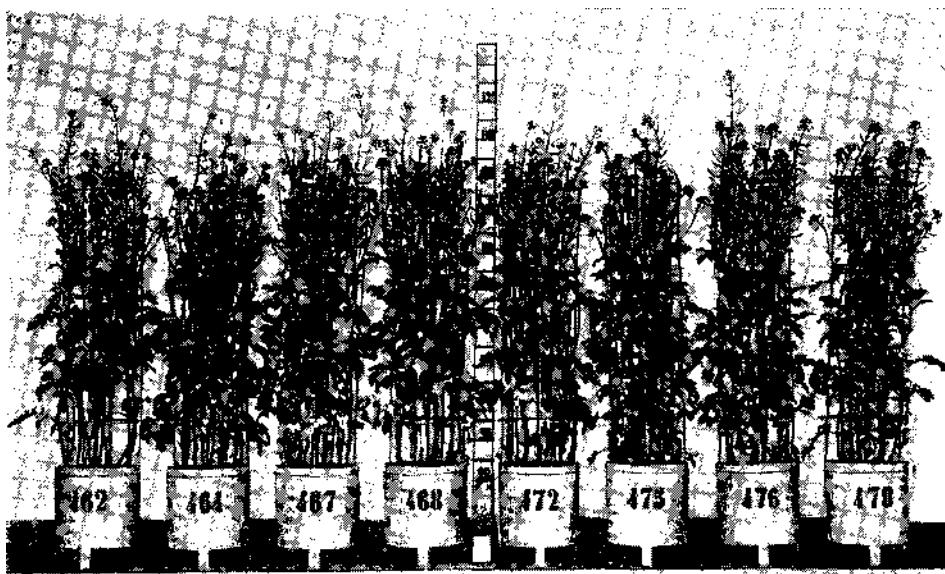
Рис. 5. Снимок 6 июня



Основное удобрение

Одноматриевый фосфат		Однокальциевый фосфат	
0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
CaCO ₃ в г на сосуд			
50	0	50	0
			50

Рис. 6. Снимок 24 июня



0,75 в NaH_2PO_4		1,50 в NaH_2PO_4		0,75 в $Ca(H_2PO_4)_2$		1,50 в $Ca(H_2PO_4)_2$	
CaCO ₃ в г на сосуд		CaCO ₃ в г на сосуд		CaCO ₃ в г на сосуд		CaCO ₃ в г на сосуд	
0	50	0	50	0	50	0	50
Урожай в г на сосуд							
Зерно	15,9	17,7	16,6	17,5	15,2	17,8	15,9
Солома	59,9	62,6	58,1	67,1	60,0	64,0	60,6
Всего	75,8	80,3	74,7	84,6	75,2	81,8	76,5

2. ОВЕС

Обращаемся теперь к результатам, полученным в опыте с овсом.

Мы выше указывали, что в начале вегетации овес по углекислому кальцию лишь немного отставал в росте от овса без этого вещества (рис. 3) и окончательный результат опыта показывает (см. табл. 1 и рис. 4), что общий урожай овса по CaCO_3 сравнительно мало отличается от урожая без углекислой извести.

P_2O_5 (в граммах на сосуд)	Фосфорнокислый натрий		Одновалцевый фосфат	
	без CaCO_3	с CaCO_3	без CaCO_3	с CaCO_3
0,75	73,0 г	65,8 г	72,7 г	63,2 г
1,50	74,9 »	68,8 »	72,6 »	66,1 »

Во всех случаях по углекислому кальцию относительно сильнее понижился урожай зерна, нежели урожай соломы. Принимая во внимание понижение урожая в присутствии углекислого кальция в сосудах, не получивших фосфорнокислого удобрения (без CaCO_3 7,6 г зерна и 13,4 г соломы, а по CaCO_3 4,7 г зерна и 10,3 г соломы), получим, что применявшиеся фосфаты в отсутствие и в присутствии углекислого кальция дали следующее повышение урожая овса (в граммах на сосуд).

	Количество P_2O_5 (в г на сосуд)	Фосфорнокислый натрий		Одновалцевый фосфат	
		без CaCO_3	с CaCO_3	без CaCO_3	с CaCO_3
Общий урожай . . . {	0,75	52,0	50,8	51,7	48,2
	1,50	53,9	53,8	51,6	51,1
Зерно {	0,75	25,4	24,1	23,9	21,5
	1,50	29,2	26,7	26,3	23,5

Таким образом, если принять во внимание действие углекислого кальция на самую почву, то оказывается, что действие исследовавшихся растворимых фосфатов на урожай овса вовсе не изменилось под влиянием внесенного углекислого кальция.

Однако хотя прирост урожая овса от фосфорнокислого натрия и кальция под влиянием углекислого кальция и не уменьшился, но процентное и абсолютное содержание фосфорной кислоты в урожаях в присутствии мела понизилось; так, для процентного содержания P_2O_5 в общем урожае овса мы имеем

	Без фосфорнокислого удобрения	NaH_2PO_4		$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	
		0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Сосуды без CaCO_3	0,214	0,415	0,511	0,404	0,493
Сосуды с CaCO_3 . .	0,193	0,369	0,419	0,345	0,422

На абсолютные количества фосфорной кислоты (в граммах на урожае сосуда), взятой общим урожаем овса из данных ему фосфатов, присутствие углекислой извести отразилось таким образом.

Количество P_2O_5 , взятой урожаем овса из данного ему фосфата

	Фосфорнокислый натрий		Однокальциевый фосфат	
	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Сосуды без $CaCO_3$	0,258 г	0,338 г	0,249 г	0,313 г
Сосуды с $CaCO_3$	0,214 »	0,280 »	0,189 »	0,270 »

Мы видим, что хотя понижение использования овсом фосфорной кислоты растворимых фосфатов под влиянием углекислого кальция в условиях нашего опыта несомненно имело место, но оно значительно слабее проявилось, нежели у льна.

Таким образом, наши опыты показывают, что углекислый кальций понижает на столько растворимость фосфорнокислого натрия и монокальциевого фосфата, что это уже может при известных условиях опыта сказываться уменьшением доступности овсу фосфорной кислоты; уменьшение это не отозвалось в данном случае на величине прироста урожая, но заметно сказалось на использовании овсом фосфорной кислоты фосфатов.

3. ГОРЧИЦА

Нам остается рассмотреть еще, как повлиял углекислый кальций на действие фосфорнокислого натрия и монокальциевого фосфата под горчицей.

В начале развития горчицы влияние мела, как показывает рис. 5, сказывалось в задержке роста горчицы: во всех случаях в сосудах с $CaCO_3$ горчица была слабее развита, чем в сосудах без $CaCO_3$, затем она постепенно сравнялась во всех сосудах с фосфорной кислотой, и в окончательном опыте по углекислому кальцию получился даже несколько больший урожай (рис. 6), нежели без извести.

Общий урожай горчицы (в граммах на сосуд)

	Фосфорнокислый натрий		Однокальциевый фосфат	
	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Без $CaCO_3$	75,8	74,7	75,2	76,5
С $CaCO_3$	80,3	84,6	81,8	86,6

Если мы теперь обратимся к содержанию фосфорной кислоты в урожае горчицы, то увидим, что хотя процентное содержание этого вещества под влиянием известкования всюду (исключая сосуды с 0,75 г P_2O_5 в монокальциевом фосфате) несколько понизилось, но абсолютное содержание в зерне и соломе повысилось и растения из фосфатов в этом случае взяли больше фосфорной кислоты, нежели без углекислого кальция, а именно.

Количество P_2O_5 , взятой урожаем горчицы из данного ей фосфата

	Фосфорнокислый натрий		Однокальцевый фосфат	
	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,50 г P_2O_5
Без CaCO_3	0,376 г	0,527 г	0,340 г	0,505 г
+ CaCO_3	0,385 »	0,531 »	0,488 »	0,548 »

Повышение урожая под влиянием углекислого кальция вызывалось, очевидно, тем обстоятельством, что почва, бывшая в этом опыте, слабо-кислая; кислы, кроме того, и растворы фосфорнокислого натрия и монокальцевого фосфата, горчица же очень чувствительна к кислотности; как естественное следствие повышения урожая было небольшое уменьшение процентного содержания и повышение общего содержания фосфорной кислоты в урожаях.

Таким образом, то уменьшение растворимости фосфорнокислого натрия и монокальцевого фосфата, которое было вызвано присутствием углекислого кальция, повлияло на доступность горчице фосфорной кислоты этих фосфатов лишь в первые стадии ее развития, когда корневая система этого растения была недостаточно сильна для использования труднорастворимых фосфатов; с развитием же растения, с усилением растворяющей деятельности корней, горчица оказалась в состоянии так же хорошо использовать данные ей фосфаты в присутствии углекислого кальция, как и в его отсутствие.

II. ОПЫТЫ НА ПОДПОЧВЕ СУГЛИНИСТОГО ЧЕРНОЗЕМА ТУЛЬСКОЙ ГУБЕРНИИ

Цель этого опыта заключалась в изучении влияния углесолей, не искусственно внесенных в почву, а уже присутствующих в самом субстрате, на действие тех же растворимых фосфатов, которые исследовались в предшествующих опытах. Исследование это казалось нам интересным, во-первых, потому, что степень влияния углесолей, в частности углекислого кальция, не может не находиться в зависимости от его физических свойств и от более или менее тесного смешения его с почвой; во-вторых, потому, что эти опыты непосредственно затрагивают практически интересный вопрос о применении и действии фосфорнокислых удобрений на почвах, богатых углесолями и бедных доступной фосфорной кислотой.

Вместе с выяснением вопроса о влиянии углесолей на действие растворимых фосфатов эти опыты, как и ранее описанные на песчаном черноземе, должны были выяснить вопрос: может ли в условиях нашего вегетационного опыта образоваться из внесенного фосфорнокислого натрия и углекислого кальция сода в таких количествах, при которых растения уже страдают?

Субстратом для этих опытов послужила подпочва суглинистого чернозема из имения Кроткое, Тульской губернии, Ефремовского уезда. Этот жессовидный суглинок содержал 5,460% CO_2 (т. е. 12,42% CaCO_3), 1,11% гумуса, 0,055% азота, 0,0066% P_2O_5 , растворимой в 2% лимонной кислоте, и 0,0005% P_2O_5 , растворимой в 2% уксусной кислоте.

Таблица 1

Действие растворимых фосфатов на подпочве чернозема, богатой карбонатами

	Основное удобрение													
	Без фосфорной кислоты				Фосфорнокислый натрий, NaH_2PO_4									
	0,25 г P_2O_5				0,50 г P_2O_5		0,75 г P_2O_5		1,0 г P_2O_5		2,0 г P_2O_5			
	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома
Урожай (в граммах на сосуд)														
Ден														
1-й сосуд . .	0	1,9	4,9	—	—	—	1,8	7,5	9,3	2,8	40,5	43,3	3,4	13,5
2-й » . .	0	2,0	2,0	—	—	—	2,1	7,3	9,4	2,9	41,0	43,9	3,6	42,4
Среднее . .	0	2,0	2,0	—	—	—	2,0	7,4	9,4	2,9	40,7	43,6	3,5	13,0
Овес														
1-й сосуд . .	1,8	5,3	7,1	19,3	28,2	47,5	28,9	34,5	63,4	32,6	36,5	69,1	34,6	37,6
2-й » . .	1,6	4,0	5,6	21,8	29,2	51,0	29,7	34,0	63,7	30,6	34,8	65,4	33,1	36,9
Среднее . .	1,7	4,7	6,4	20,6	28,7	49,3	29,3	34,3	63,6	31,6	35,7	67,3	33,9	37,2
Горчича														
1-й сосуд . .	0,1	4,2	4,3	11,9	43,1	55,0	14,7	49,0	63,7	15,2	51,0	66,2	15,6	56,7
2-й » . .	0,3	3,1	3,4	11,0	45,8	56,8	15,2	49,7	64,9	15,8	51,9	67,7	15,1	54,6
Среднее . .	0,2	3,7	3,9	11,5	44,4	55,9	15,0	49,3	64,3	15,5	51,5	67,0	15,4	55,6

Таблица 4 (продолжение)

Основное удобрение																																		
Фосфорнокальциевая соль, $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$																																		
0,25 г P_2O_5					0,50 г P_2O_5					0,75 г P_2O_5					1,0 г P_2O_5					2,0 г P_2O_5					1,0 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 + +50 г CaSO_3					1,0 г P_2O_5 в $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ + +50 г CaSO_3				
сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего	сено	солома	всего					
Урожай (в граммах на сосуд)																																		
Пен																																		
1-й сосуд . .	—	—	—	—	1,9	7,0	8,9	2,7	10,8	13,5	3,6	13,6	17,2	7,7	18,0	25,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
2-й » . .	—	—	—	—	2,0	8,4	10,4	2,9	10,3	13,2	3,8	12,9	16,7	7,8	19,5	27,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
Среднее . .	—	—	—	—	2,0	7,5	9,5	2,8	10,6	13,4	3,7	13,3	17,0	7,8	18,7	26,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
Овес																																		
1-й сосуд . .	17,2	22,5	39,7	27,6	33,9	61,5	29,6	36,4	66,0	31,6	36,9	68,5	32,9	38,0	70,9	25,2	32,5	57,7	21,7	26,8	48,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
2-й » . .	48,8	24,5	43,3	27,5	32,5	60,0	27,9	36,3	64,2	31,4	37,6	69,0	33,5	38,4	71,9	23,0	35,7	58,7	20,5	26,4	46,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
Среднее . .	48,0	23,5	41,5	27,6	33,2	60,8	28,8	36,3	65,1	31,5	37,3	68,8	33,2	38,2	71,4	24,1	34,1	58,2	21,1	26,6	47,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
Горчица																																		
1-й сосуд . .	13,0	42,4	55,4	14,9	48,2	63,1	15,6	53,1	68,7	16,2	55,6	72,0	16,7	56,2	72,9	15,9	57,0	72,9	15,7	57,9	73,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
2-й » . .	42,3	41,4	53,7	14,4	48,5	62,9	15,6	52,5	68,1	17,5	56,0	73,5	15,7	55,2	70,9	16,5	54,9	71,4	15,9	56,4	72,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
Среднее . .	42,7	41,9	54,6	14,7	48,3	63,0	15,6	52,8	68,4	16,9	55,9	72,8	16,2	55,7	71,9	16,2	56,0	72,2	15,8	57,2	73,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

Опыты были поставлены со льном, овсом и горчицей по следующей схеме.

2-сосуда с основным удобрением		(1 г ¹ N в (NO ₃) ₂ Ca и 0,5 г K ₂ O в K ₂ SO ₄)	
2	»	»	+ 0,25 г P ₂ O ₅ в NaH ₂ PO ₄
2	»	»	+ 0,50 » P ₂ O ₅ » NaH ₂ PO ₄
2	»	»	+ 0,75 » P ₂ O ₅ » NaH ₂ PO ₄
2	»	»	+ 1,00 » P ₂ O ₅ » NaH ₂ PO ₄
2	»	»	+ 2,00 » P ₂ O ₅ » NaH ₂ PO ₄
2	»	»	+ 0,25 » P ₂ O ₅ » CaH ₄ (PO ₄) ₂
2	»	»	+ 0,50 » P ₂ O ₅ » CaH ₄ (PO ₄) ₂
2	»	»	+ 0,75 » P ₂ O ₅ » CaH ₄ (PO ₄) ₂
2	»	»	+ 1,00 » P ₂ O ₅ » CaH ₄ (PO ₄) ₂
2	»	»	+ 2,00 » P ₂ O ₅ » CaH ₄ (PO ₄) ₂
2	»	»	+ 1,00 » P ₂ O ₅ » NaH ₂ PO ₄ + 50 г CaCO ₃
2	»	»	+ 2,00 » P ₂ O ₅ » NaH ₂ PO ₄ + 50 » CaCO ₃

В опыте со льном были исключены из этой схемы сосуды с 0,25 г P₂O₅ в NaH₂PO₄ и в CaH₄(PO₄)₂ и сосуды с 50 г CaCO₃.

В каждый сосуд (цинковые, 20 см высоты и 20 см в диаметре) помещалось по 4,898 г подпочвы (по перечислению на сухую). Посев всех трех растений был произведен 6 мая. Во время вегетации влажность почвы в сосудах поддерживалась на высоте 25,3% (влагоемкость 36,4%, наибольшая гигроскопичность 7,1%) от веса сухой почвы.

Растения были убраны в зрелом состоянии. Результаты этого опыта собраны в таблице 4 (см. стр. 252—253).

Из этой таблицы (см. стр. 252) мы видим, что общий урожай растений под влиянием вносимой фосфорной кислоты повышался следующим образом.

Количество P ₂ O ₅ (в граммах на сосуд)	0	0,25	0,50	0,75	1,0	2,0
Л е н						
в NaH ₂ PO ₄	2,0	-	9,4	13,6	16,5	27,6
в CaH ₄ (PO ₄) ₂	2,0	-	9,5	13,4	17,0	26,5
О в е с						
в NaH ₂ PO ₄	6,4	49,3	63,6	67,3	71,1	60,9
в CaH ₄ (PO ₄) ₂	6,4	41,5	60,8	65,4	68,8	71,4
Г о р ч и ц а						
в NaH ₂ PO ₄	3,9	55,9	64,3	67,0	71,0	68,2
в CaH ₄ (PO ₄) ₂	3,9	54,6	63,0	68,4	72,8	71,9

Как показывают эти данные, в общем фосфорнокислый натрий и монокальциевый фосфат при одних и тех же количествах фосфорной кислоты всюду действовали почти одинаково; таким образом, и этот опыт показывает, что если при взаимном воздействии между углекислым кальцием и фосфорнокислым натрием и возникает нормальная сода, то в самых ничтожных количествах, не влияющих вовсе даже на такое чувствительное в этом отношении растение, как горчица.

Далее результаты показывают, что овес и горчица дали максимальный урожай при внесении фосфорной кислоты в количестве между 0,75—1,0 г на сосуд (одинаково для обоих фосфатов); дальнейшее повышение

¹ Вносятся в 3 приема: при наполнении 0,70 г, затем во время вегетации с поливкой два раза по 0,15 г.

этого количества в монокальциевом фосфате не отражалось на величине урожая, дальнейшее же внесение ее в виде фосфорнокислого натрия даже понижало урожай (особенно сильно у овса); такая разница между этими двумя фосфатами может быть объяснена тем, что углекислый кальций при осаждении фосфорной кислоты из монокальциевого фосфата не дает растворимого продукта и потому концентрация почвенного раствора в присутствии фосфорнокислого натрия была выше, чем в присутствии фосфорнокальциевой соли. В общем максимальный урожай горчицы и овса, полученный в этом опыте, почти такой же величины, что и в описанном раньше опыте на песчанистом черноземе. Не то мы видим у льна. И здесь также с увеличением количества фосфорной кислоты урожай поднимается, но даже при максимальном количестве фосфорной кислоты, при котором у овса и горчицы наблюдалось уже понижение урожая, лен дал еще очень небольшой урожай (всего около 27 г, тогда как на песчанистом черноземе мы получили около 64 г). Как влияло бы на урожай льна дальнейшее увеличение количества внесенных фосфатов, мы не можем решить непосредственно, так как опыта с большими количествами фосфатов мы не ставили; но косвенные соображения позволяют утверждать, что урожай льна при этом должен был повышаться. В самом деле, первые 0,25 г фосфорной кислоты очень сильно подняли урожай овса и горчицы, дальнейшее повышение P_2O_5 подымало урожай, но уже значительно меньше; отсюда ясно, что уже от внесения 0,25 г P_2O_5 урожай овса и горчицы был близок к максимальному; не то мы видим у льна: здесь даже при переходе от 1,0 г фосфорной кислоты к 2,0 г ее (на сосуд) урожай почти удваивался, так что и при 2,0 г P_2O_5 на сосуд урожай льна был далек еще от минимальной величины, и очевидно, что дальнейшее повышение количества фосфорнокислого удобрения должно было повышать урожай этого растения. Если мы воспользуемся логарифмическим уравнением Mitscherlich'a:

$$\lg(A - y) = \lg(A - a) - kx,$$

(A —максимальный урожай, возможный при данном основном удобрении, a —урожай без фосфорнокислого удобрения, k —постоянная, x —переменное количество фосфорной кислоты, а y —соответствующий этому количеству урожай),

то увидим, что полученные нами величины урожая льна при различных количествах фосфорной кислоты в фосфорнокислом натрии и в монокальциевом фосфате хорошо согласуются с величинами, вычисленными по этому уравнению при подстановке вместо A —65; таким образом, максимальный урожай льна при достаточном количестве P_2O_5 должен был бы равняться 65 г, но для получения этого урожая необходимо внести, судя по тому же уравнению, около 16 г фосфорной кислоты.

Обратимся теперь к содержанию фосфорной кислоты в урожаях. В этом опыте мы ограничились определением фосфорной кислоты лишь в урожаях льна по фосфорнооднокальциевой соли.

Процентное содержание фосфорной кислоты в урожаях льна по монокальциевому фосфату

	Без P_2O_5	0,5 г P_2O_5	0,75 г P_2O_5	1,0 г P_2O_5	2,0 г P_2O_5
Зерно	—	0,704	0,790	0,980	1,145
Треста	—	0,171	0,201	0,235	0,238
Общий урожай . . .	0,203	0,285	0,324	0,398	0,505

Эти данные показывают, во-первых, что с повышением количества фосфорной кислоты, внесившейся в почву, процентное содержание ее в урожаях все повышалось включительно до самой нашей максимальной дозы (2 г P_2O_5 на сосуд); во-вторых, что и при этой максимальной дозе процентное содержание фосфорной кислоты в урожае льна было не особенно высоким: в вышеописанном опыте на песчаном черноземе, при внесении в почву только 0,75 г P_2O_5 , получался лен с более высоким процентным содержанием фосфорной кислоты.

Таким образом, и в этом опыте на подпочве, богатой углесолями, все имеющиеся в нашем распоряжении данные показывают, что в присутствии большого количества углесолей действие растворимых фосфатов на овес и горчицу если и понижается, то очень слабо, но что на лен, наоборот, присутствие углесолей в этом отношении отражается очень сильно и что такое влияние здесь углесолей является главным образом следствием сильного понижения усвояемости для льна растворимых фосфатов.

Нам приходилось уже отмечать, что прибавление к почвам, очень богатым углесолями, сравнительно небольшого количества углекислого кальция вызывает иногда известный эффект (см. VI вып. «Трудов Сельскохозяйственной химической лаборатории», стр. 99). В настоящем опыте мы видим то же явление под овсом: таблица 4 показывает, что от прибавления к почве, содержащей 12% углесолей, 50 г $CaCO_3$ (т. е. 1% от веса почвы) урожай овса по 1,0 г P_2O_5 в фосфорнокислом натрии понизился с 71 до 58 г, а урожай овса по 1,0 г P_2O_5 в монокальциевом фосфате упал с 68 до 47 г. Урожай горчицы от прибавления углекислого кальция не изменился.

В. ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА РАСТВОРИМОСТЬ ВОДНОРАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ

Насколько нам известно, детального исследования действия углекислого кальция на воднорастворимые фосфаты в литературе не имеется: между тем ввиду противоречивых результатов, которые часто получаются у различных исследователей, изучающих влияние известкования на действие фосфатов, несомненно чрезвычайно существенно выделить и изучить в отдельности этот момент, независимо от всех тех сложных условий, которые, помимо растворимости, влияют на усвоение фосфорной кислоты. Нельзя не забывать, что условия эти таковы, что в большинстве случаев мы не в состоянии даже с большей или меньшей достоверностью определить влияния каждого из них, а так как влияния их могут быть направлены в противоположные стороны, то по общему их эффекту, по величине получаемого урожая, могут получаться самые разнообразные результаты; зная же влияние углекислого кальция на растворимость фосфатов, зная, что растворимость данного фосфата в такой-то степени понижается в присутствии углекислого кальция, мы будем знать, что и усвояемость его понижена в известной степени, и если результат опыта покажет, например, обратное, то будет ясно, что были в этом опыте такие условия, которые способствовали использованию фосфорной кислоты труднорастворимого фосфата; или, наоборот, если лабораторное исследование укажет, что в присутствии углекислого кальция сравнительно много фосфорной кислоты растворимых фосфатов остается в растворе, а по вегетационным опытам все-таки будет констатироваться понижающее влияние углекислого кальция на действие растворенных фосфатов под некоторыми растениями, то отсюда надо будет заключить, что или мел сам по себе вреден

этим растениям, или же растения сами способствуют осаждающему действию углекислого кальция. Поэтому мы думаем, что для того чтобы более или менее правильно разобраться в получаемых результатах по влиянию известкования на действие фосфатов, прежде всего необходимы лабораторные исследования.

Произведенные нами в указанном направлении лабораторные исследования сводились к следующему.

1. Сравнительное действие углекислого кальция на фосфаты натрия, калия и кальция. Исследованию подвергались следующие соли фосфорной кислоты: одно-, дву- и трехнатриевая соль, дву- и трехкалиевая соль, одно- и двухкальциевая соль; к навеске каждой из этих солей, соответствующей 5 г фосфорной кислоты, прибавлялось до 5 л воды; после полного растворения этих солей (в случае двухкальциевого фосфата был поставлен ряд склянок с навеской фосфата, содержащей около 1 г P_2O_5 и с 1 л воды; мел прибавлялся после получения насыщенного раствора без отделения нерастворившегося фосфата) брались пробы для точного установления содержания фосфорной кислоты, и тогда же (4 марта 1913 г.) литр каждого из растворов переносился в соответствующую склянку, содержащую 50 г химически чистого осажженного углекислого кальция; содержимое склянок взбалтывалось первые 8 час. по 3 мин. каждый час; затем склянки оставались без встряхивания; через 24 часа (5 марта) после постановки опыта из каждой склянки бралась проба для анализа. Результаты получились следующие.

Влияние CaCO_3 на содержание фосфорной кислоты в растворах фосфатов натрия, калия и кальция
Количество P_2O_5 в литре после 24 часового воздействия

Фосфорнокислые соли	В литре жидкости в отсутствие CaCO_3 найдено (в г)	В литре жидкости в присутствии CaCO_3 найдено	
		в г	в процентах от количества P_2O_5 в отсутствие CaCO_3
NaH_2PO_4	1,080	0,308	28,5
Na_2HPO_4	1,086	1,014	93,4
Na_3PO_4	1,058	1,011	95,5
KH_2PO_4	1,969	0,334	34,4
K_2HPO_4	1,121	1,057	94,4
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0,960	0,051	5,3
CaHPO_4	0,055	0,045	80,2

Результаты показывают, что осаждающее действие углекислого кальция сильнее всего проявляется на монокальциевом фосфате: после 24-часового воздействия между CaCO_3 и $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ из 0,960 г фосфорной кислоты этого фосфата, бывшей в растворе до взаимодействия, осталось в растворе всего лишь 0,051 г, т. е. около 5%; в растворе, как мы видим, в этом случае осталось столько кислоты, сколько найдено ее и в растворе двухкальциевого фосфата.

Далее мы видим, что различные фосфаты натрия и калия не одинаково относятся к углекислому кальцию; в то время как через 24 часа около 70% фосфорной кислоты *однометаллических солей натрия и калия* преводится углекислым кальцием в нерастворимое состояние, *углекислый*

кальций почти не осаждают фосфорной кислоты двуметаллических (натрия) и трехметаллических солей натрия и калия (двукальциевый фосфат нами не исследовался). Мы подчеркиваем это обстоятельство, так как при описании вегетационных опытов авторы очень часто не упоминают, с каким фосфатом натрия или калия они имели дело; между тем, очевидно, на результаты, например, известкования, это может существенно влиять.

2. Влияние времени взаимодействия между углекислым кальцием и растворами фосфатов натрия и кальция и влияние соотношения масс реагирующих веществ на количество фосфорной кислоты, остающейся в растворе. Для выяснения означенных вопросов нами произведены были следующие исследования.

а) После взятия части растворов из склянок с углекислым кальцием и растворами фосфатов для анализа опыта 1 склянки, содержащие NaH_2PO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и CaHPO_4 , были оставлены для дальнейших исследований, причем содержание их ежедневно взбалтывалось в течение 3 мин.; из этих склянок 5 и 15 марта, 6 и 19 апреля брались пробы для определения содержания фосфорной кислоты в растворах. Вот полученные результаты.

Влияние времени воздействия CaCO_3 с растворами фосфатов натрия и кальция на содержание фосфорной кислоты в растворе
Количество P_2O_5 (в граммах на литр)

	До воздействия CaCO_3	После воздействия CaCO_3 в течение			
		24 часов	11 дней	26 дней	40 дней
NaH_2PO_4	1,080	0,308	0,2359	0,2238	0,2250
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0,960	0,051	0,0458	0,0426	0,0428
CaHPO_4	0,055	0,045	0,0203	0,0159	0,0134

Таблица показывает, что равновесие между углекислым кальцием и фосфатами натрия и кальция устанавливается сравнительно очень медленно; в условиях нашего опыта это равновесие в случае фосфорнооднонатриевой и однокальциевой соли достигалось лишь после взаимодействия в течение более чем 11 дней (между 11 и 26 днями), в случае же двукальциевого фосфата оно не было достигнуто даже через 26 дней; что в последнем случае требовалось больше времени, чем при однометаллических солях, объясняется тем, что двукальциевый фосфат, по мере перевода углекислым кальцием его фосфорной кислоты в нерастворимое состояние, продолжал постепенно растворяться.

По достижении равновесия из 1,080 г P_2O_5 одонатриевого фосфата, находившихся в 1 л нашего раствора, осталось в растворе всего 0,2238 г, т. е. 20,7 %, а из 0,960 г P_2O_5 однокальциевого фосфата осталось в растворе 0,0426 г, т. е. 4,5 %; в растворе двукальциевого фосфата после 40-дневного воздействия углекислого кальция осталось из 0,055 г P_2O_5 0,0134 г, т. е. 24,5 %.

в) Влияние времени на взаимодействие углекислого кальция и одно- и дунатриевого фосфатов видно из следующих данных (см. табл. на стр. 259).

Склянки с растворами и углекислым кальцием взбалтывались лишь по одному разу каждые сутки, каждый раз в течение 3 мин.

Влияние времени воздействия CaCO_3 с растворами одно- и двуназриевого фосфатов на содержание фосфорной кислоты в растворе

Количество P_2O_5 (в граммах на литр)

	До воздействия CaCO_3	После воздействия 50 г CaCO_3 в течение				
		20 час.	2 дней	20 дней	30 дней	40 дней
NaH_2PO_4	0,9882	0,5024	0,3008	0,2104	0,2128	0,2116
Na_2HPO_4	1,1246	1,0368	1,0252	1,0202	1,0202	1,0218

Равновесие установилось в промежуток между 2-м и 20-м днем; в состоянии равновесия из 0,9882 г P_2O_5 , растворенной в виде фосфорнооднонатриевой соли, осталось в растворе всего 0,2104 г, т. е. около 21%, тогда как из 1,1246 г P_2O_5 фосфорнодвуназриевой соли в растворе осталось 1,0202 г P_2O_5 , т. е. 90,8%. Таким образом, и этот опыт подтверждает существенное различие между одно- и двуназриевым фосфатами в отношении их к углекислому кальцию.

с) Для определения влияния масс реагирующих веществ опыт был поставлен в склянках, содержащих 30 и 60 г углекислого кальция; в склянки приливалось по 500 куб. см раствора одонатриевого фосфата различной концентрации. Склянки встряхивались ежедневно по 3 минуты. Время от времени брались пробы прозрачной жидкости и анализировались на фосфорную кислоту. Результаты приведены в таблице 5.

Данные показывают, что чем выше была концентрация первоначального раствора одонатриевого фосфата при одном и том же количестве углекислого кальция, тем больший процент взятой фосфорной кислоты оставался в первое время реакции в растворенном виде; так, когда отношение между количествами фосфорной кислоты первоначального раствора и углекислым кальцием было 0,9882 : 30, в растворе через 24 часа оставалось 48% P_2O_5 , при отношении же 2,96446 : 30—56%; увеличение количества углекислого кальция понижало этот процент: при отношении 2,9646 : 30 в растворе оставалось по прошествии 24 часов 56% P_2O_5 , а при отношении 2,9646 : 60 всего 46%. Таким образом, в самом начале реакции увеличение количества углекислого кальция по отношению к количеству одонатриевого фосфата увеличивало осаждающую способность углекислого кальция, но уже на восьмой день, как показывает таблица, процент фосфорной кислоты, оставшейся в растворе, при всех исследованных соотношениях между реагирующими веществами оказался один и тот же, и при окончательном равновесии, которое наступило у нас в промежуток времени между 8-м и 18-м днем, всюду в растворе оставалось около 15% фосфорной кислоты от количества ее в первоначальном растворе.

Для наших целей, для выяснения влияния углекислого кальция на доступность растений фосфорной кислоты растворимых фосфатов, последнее обстоятельство очень существенно: мы видим, что, независимо от количества внесенного в почву углекислого кальция (разумеется, в известных пределах), фосфорной кислоты, внесенной в почву в виде растворимых фосфатов, будет оставаться в растворенном виде, после взаимодействия с углекислым кальцием, тем большее количество (абсолютно), чем больше мы внесли ее; таким образом, известкование почвы при одном количестве фосфорнокислого удобрения может отозваться на урожае, при

Таблица 5

Влияние относительного количества фосфорной кислоты и углекислого кальция на количество фосфорной кислоты, остающейся в растворе при взаимодействии углекислого кальция на растворы NaH_2PO_4

		Взаимодействие продолжалось				
		24 часа	8 дней	18 дней	28 дней	
30 г углекислого кальция	0,9882 г P_2O_5 в 500 куб. см.	Первоначальный раствор содержал в 500 куб. см P_2O_5 (в г)	0,9882	0,9882	0,9882	0,9882
		После воздействия $CaCO_3$ в растворе на 500 куб. см оставалось P_2O_5 (в г)	0,4591	0,1855	0,1731	0,1676
		В нерастворимое состояние перешло (по разности) P_2O_5 (в г)	0,5291	0,8027	0,8161	0,8206
		P_2O_5 , оставшейся в растворе (в процентах от первоначального количества)	48	19	17	10
	1,9764 г P_2O_5 в 500 куб. см.	Первоначальный раствор содержал в 500 куб. см P_2O_5 (в г)	1,9764	1,9764	1,9764	1,9764
		После воздействия $CaCO_3$ в растворе на 500 куб. см оставалось P_2O_5 (в г)	1,0724	0,3254	0,2927	0,2864
		В нерастворимое состояние перешло (по разности) P_2O_5 (в г)	0,9040	1,6512	1,6737	1,6898
		P_2O_5 , оставшейся в растворе (в процентах от первоначального количества)	54	16	15	14
	2,9646 г P_2O_5 в 500 куб. см.	Первоначальный раствор содержал в 500 куб. см P_2O_5 (в г)	2,9646	2,9646	2,9646	2,9646
		После воздействия $CaCO_3$ в растворе на 500 куб. см оставалось P_2O_5 (в г)	1,6416	0,4974	0,4628	0,4528
		В нерастворимое состояние перешло (по разности) P_2O_5 (в г)	1,3230	2,4672	2,5018	2,5120
		P_2O_5 , оставшейся в растворе (в процентах от первоначального количества)	56	17	15	15
60 г $CaCO_3$	2,9646 г P_2O_5 в 500 куб. см.	Первоначальный раствор содержал в 500 куб. см P_2O_5 (в г)	2,9646	2,9646	2,9646	2,9646
		После воздействия $CaCO_3$ в растворе на 500 куб. см оставалось P_2O_5 (в г)	1,3796	0,4562	0,4463	0,4400
		В нерастворимое состояние перешло (по разности) P_2O_5 (в г)	1,5850	2,5084	2,5183	2,5246
		P_2O_5 , оставшейся в растворе (в процентах от первоначального количества)	46	15	15	15

другом же, большем количестве этого удобрения может вовсе не повлиять на урожай.

3. В виде какого фосфата выпадает фосфорная кислота при взаимодействии между углекислым кальцием и растворимыми фосфатами? Подойти к этому интересному и важному для нас вопросу мы попробовали определением растворимости получающегося продукта взаимного обмена. Как мы видели, при этом взаимодействии всегда остается часть неосажденной фосфорной кислоты; ее надо удалить. Для этого из склянок с углекислым кальцием и растворами однонатриевого, одно- и двухкальциевых фосфатов после полного отстаивания сливалось сифоном $\frac{3}{5}$ раствора и прилива-

лось снова такое же количество воды; содержимое взбалтывалось в течение 3 минут и оставлялось до полного просветления жидкости; тогда снова сливалось $\frac{3}{5}$ жидкости и т. д.; в сливавшихся растворах определялась фосфорная кислота. Вот результаты этого исследования.

Содержание фосфорной кислоты
(в граммах на литр)

	В склянках содержалось 50 г CaCO_3 и 1 л раствора		
	NaH_2PO_4 с 1,080 г P_2O_5	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ с 0,960 г P_2O_5	CaHPO_4 с 1,005 г P_2O_5
В первой слитой жидкости . . .	0,3379	0,0656	0,0612
Во второй » » . . .	0,1325	0,0510	0,0560
В третьей » » . . .	0,0861	0,0430	0,0478
В четвертой » » . . .	0,0128	0,0152	0,0140
В пятой » » . . .	0,0070	0,0064	0,0073

Таблица показывает, что уже в пятой слитой жидкости фосфорной кислоты содержалось на литр только около 0,007 г, тогда как при воздействии CaCO_3 на CaHPO_4 после наступления равновесия (см. табл. на стр. 258) в жидкости содержалось 0,0134 г P_2O_5 . Таким образом, мы видим, что соединение фосфорной кислоты, выпадающее при воздействии углекислого кальция на растворимые фосфаты, значительно менее растворимо (в присутствии избытка углекислого кальция), чем двукальциевый фосфат в присутствии углекислого же кальция; отсюда с известной вероятностью можно заключить, что это соединение представляет трехкальциевый фосфат.

4. Влияние углекислоты на взаимодействие между растворимыми фосфатами и углекислым кальцием. Для того чтобы разобраться в действии углекислого кальция на доступность растениям фосфорной кислоты растворимых фосфатов, очень важно исследовать влияние углекислоты на ход взаимодействия между углекислым кальцием и растворимыми фосфатами.

Для изучения этого влияния нами был поставлен ряд опытов, частью параллельно с уже описанными, частью отдельно.

Опыт 1

Совместное действие CaCO_3 и CO_2 на фосфаты.

1 литр жидкости, 50 г CaCO_3 . CO_2 пропускалась $\frac{1}{4}$ часа

Взаимодействие продолжалось 24 часа.

В 1 л жидкости найдено P_2O_5 (в граммах)

	В отсутствие CaCO_3 и CO_2	В присутствии CaCO_3	В присутствии CaCO_3 и CO_2
Na_2HPO_4	1,086	1,014	1,022
NaH_2PO_4	1,080	0,308	0,273
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0,960	0,051	0,077
CaHPO_4	0,055	0,045	0,073

Опыт 2

Совместное действие CaCO_3 и CO_2 на фосфаты
1 литр жидкости, 50 г CaCO_3 . Опыт поставлен 4 марта.
В 1000 куб. см жидкости найдено P_2O_5 (в г)

	NaH_2PO_4	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	CaHPO_4
В отсутствие CaCO_3 и CO_2	1,080	0,960	0,055
Взаимодействие происходило с 4/III по 15/III			
В присутствии CaCO_3	0,236	0,046	0,020
В присутствии CaCO_3 в четырехкратном про- пускании CO_2 по 1 часу	0,093	0,071	0,070
Взаимодействие происходило с 4/III по 6/IV			
В присутствии CaCO_3	0,224	0,043	0,043
В присутствии CaCO_3 и семикратном пропу- скании CO_2 по 1 часу	0,086	0,054	0,060
Взаимодействие происходило с 4/III по 10/IV			
В присутствии CaCO_3	0,225	0,043	0,013
В присутствии CaCO_3 и десятикратном про- пускании CO_2 по 1 часу	0,090	0,072	0,066

Опыт 3

После 30-дневного воздействия CaCO_3 на раствор двуназиевого фосфата в растворе обнаружено было 0,1722 г P_2O_5 ; тотчас после взятия пробы для этого определения в оставшуюся жидкость пропускался ток углекислоты в течение $1\frac{1}{2}$ часов; после этого в растворе обнаружено было 0,1276 г P_2O_5 .

Опыт 4

После 40-дневного воздействия 50 г CaCO_3 на литр раствора Na_2HPO_4 , содержащего 1,125 г P_2O_5 , в растворе найдено было 1,022 г P_2O_5 ; после этого в ту же жидкость в течение 3 дней ежедневно по 2 часа пропускался ток углекислоты; анализ показал, что после такой обработки смеси CaCO_3 и Na_2HPO_4 в растворе содержалось всего 0,163 г P_2O_5 .

Приведенные опыты показывают, что в присутствии углекислого кальция углекислота несколько повышает растворимость кальциевых фосфатов, но сильно понижает количество фосфорной кислоты, остающейся в растворе фосфорнокислых солей натрия и калия после воздействия на эти растворы углекислого кальция. Причина такого различного действия углекислоты на смеси фосфатов кальция и щелочных металлов с углекислым кальцием заключается, очевидно, в том, что в случае фосфатов кальция в растворе даже после кратковременного воздействия углекислого кальция остается очень мало фосфорной кислоты, между тем как в растворах щелочных фосфатов, даже при продолжительном соприкосновении их с углекислым кальцием, растворенной фосфорной кислоты остается еще много—около 20% при однометалли-

ческих солях и значительно больше при дву- и трехметаллических: реакция взаимного обмена в этих системах идет очень медленно, так как жидкость скоро становится щелочной и один из продуктов обмена растворим; между фосфатом и находящимся в растворе углекислым кальцием устанавливается равновесие; пропуская углекислоту, мы повышаем значительно растворимость углекислого кальция, вследствие чего реакция осаждения совершается гораздо быстрее и полнее. Если сливаниями удалить фосфорную кислоту, оставшуюся в растворе после воздействия углекислого кальция на фосфаты щелочных металлов, то на оставшуюся смесь нерастворимого фосфата и углекислого кальция углекислота действует уже совершенно подобно тому как и на смесь углекислого кальция и фосфатов кальция, т. е. повышает количество фосфорной кислоты в растворе. Так, например, в опыте, описанном на стр. 261, в склянки после 5-го сливания была прилита до прежнего объема дистиллированная вода и пропускалась по 1 часу углекислота; анализ полученных растворов показал, что раствор в склянке с NaH_2PO_4 содержал 0,053 г P_2O_5 (вместо 0,007 до пропускания CO_2), в склянке с $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ —0,048 г P_2O_5 (вместо 0,006) и в склянке с CaHPO_4 —0,056 г P_2O_5 (вместо 0,007).

Сопоставляя данные лабораторного исследования над действием углекислого кальция на растворимые фосфаты щелочных и щелочноземельных металлов и результаты вегетационных опытов по влиянию углекислого кальция на действие этих фосфатов на различные растения, мы можем представить себе влияние углекислого кальция на усвояемость растениями растворимых фосфатов следующим образом.

Фосфорная кислота всех означенных фосфатов под влиянием углекислого кальция выпадает в большем или меньшем количестве в виде труднорастворимого трехкальциевого фосфата; наиболее полно это связывание фосфорной кислоты имеет место при фосфатах кальция, менее полно при однометаллических фосфатах щелочных металлов и очень не полно при дву- и трехметаллических фосфатах щелочных металлов. Важно отметить, что всегда в случае растворимого или полурстворимого фосфата большая или меньшая часть фосфорной кислоты, даже после установления равновесия между растворенными фосфатами и углекислым кальцием, остается в растворе и что эта часть для тех количеств фосфатов, которые применяются для удобрения в вегетационных сосудах, значительно превышает то количество фосфорной кислоты, которое переходит в раствор из трехкальциевого фосфата. В этом, и только в этом, мы видим причину отмеченного проф. Д. Н. Прянишниковым различия между действием углекислого кальция на усвояемость, с одной стороны, растворимых фосфатов кальция и фосфата калия, а с другой стороны, трехкальциевого фосфата. При внесении в почву углекислого кальция с растворимыми и полурстворимыми фосфатами кальция и с фосфатами щелочных металлов мы оставляем в распоряжении растений всегда некоторое количество растворенной фосфорной кислоты, которое даже в самом неблагоприятном случае—в случае одно- и двукальциевого фосфата, может быть достаточным для нормального развития растений в тот первоначальный период, когда корневая деятельность растения очень слаба. При трехкальциевом же фосфате, очень слабо растворимом самом по себе, внесением углекислого кальция мы можем понизить количество фосфорной кислоты в растворе до такой степени, что для некоторых растений нормальное развитие в начальные периоды становится невозможным.

Таким образом, когда вместе с растворимыми фосфатами кальция и щелочных металлов вносится в почву углекислый кальций, растения получают в свое распоряжение часть фосфорной кислоты в виде труднорастворимого трехкальциевого фосфата и часть ее в растворенном виде. Посмотрим же, как различные растения относятся к свежесаживаемому трехкальциевому фосфату в отсутствие и в присутствии углекислого кальция. По нашим опытам 1901 г. (см. «Труды Сельхоз. хим. лаборатории», вып. VI, стр. 346 и 347), горчица и лен в песчаных культурах следующим образом использовали свежесаживаемый трехкальциевый фосфат (в граммах).

		Горчица	Лен
Без CaCO_3	Урожай по NaH_2PO_4	30,9	26,0
	» » $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	34,2	14,6
С CaCO_3	Урожай » NaH_2PO_4	34,7	16,8
	» » $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	34,8	9,1

В опытах 1902 г. (там же, стр. 380, 382, 384) на песчаном черноземе горчица, овес и лен по фосфорнокислому натрию и трехкальциевому фосфату, просушенному 6 часов при 105° , дали следующий урожай (в граммах).

		Горчица	Овес	Лен
Без CaCO_3	Урожай по NaH_2PO_4	58,0	93,5	66,4
	» » $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	65,3	62,2	49,4
С CaCO_3	Урожай по NaH_2PO_4	65,6	—	62,7
	» » $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	61,4	—	49,6

Количество фосфорной кислоты, извлеченной растениями в этом опыте из фосфорнокислого натрия и трехкальциевого фосфата, было следующее (в граммах).

		Горчица	Овес	Лен
Без CaCO_3	Урожаем по NaH_2PO_4	0,223	0,233	0,191
	» » $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,230	0,079	0,119
С CaCO_3	Урожаем по NaH_2PO_4	0,228	—	0,172
	» » $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,210	—	0,121

Мы видим, что отношение различных растений как к чистому трехкальциевому фосфату, так и к смеси его с углекислым кальцием очень неодинаково; горчица совершенно свободно использует его фосфорную кислоту как в присутствии, так и в отсутствие углекислого кальция; значительно слабее используется этот фосфат льном, причем углекислый кальций в песчаных культурах довольно заметно понизил усвояемость свежесаживаемого фосфата, на песчаном же черноземе действие просушенного фосфата вовсе не изменилось в присутствии CaCO_3 ; здесь необходимо привнать во внимание, что углекислого кальция в этом опыте было немного (5 г на сосуд, т. е. на 5 кг почвы), чернозем же, бывший в этом опыте, имел слабокислую реакцию, и взятое количество мела могло благоприятно действовать на реакцию среды и тем повышать урожай; на это, между прочим, указывает то обстоятельство, что процентное содержание P_2O_5 во льне по трехкальциевому фосфату было в присутствии углекислого кальция (0,333%) ниже, чем в его отсутствие (0,368%). Еще слабее используется трехкальциевый фосфат овсом.

Таким образом, отношение различных растений к нерастворимому продукту реакции взаимного обмена между углекислым кальцием и растворимыми фосфатами кальция и щелочных металлов неодинаково; уже в силу одного этого и влияние углекислого кальция на действие растворимых фосфатов должно проявляться под различными растениями неодинаково. Но, кроме нерастворимого продукта при взаимодействии углекислого кальция с этими фосфатами, как мы видели, всегда остается в растворе больше или меньше неосажденной фосфорной кислоты. Отношение к этому остатку различных растений также может быть неодинаково. Во-первых, в силу различной потребности разных растений в фосфорной кислоте, для одних из них этого остатка может быть достаточно для нормального развития, для других же может и не хватать. Во-вторых, мы видели, что в системе: углекислый кальций + раствор фосфата щелочных металлов, углекислота не только не увеличивает количества фосфорной кислоты в растворе, но даже значительно уменьшает это количество; поэтому растения, выделяя своими корнями углекислоту, не только не способствуют растворению выпавшего трехкальциевого фосфата, но, наоборот, усиливают осаждающую способность углекислого кальция и уменьшают количество доступной им фосфорной кислоты; *углекислота, выделяемая корнями растений, уменьшает в присутствии углекислого кальция доступность растениям фосфорной кислоты фосфатов щелочных металлов, и, таким образом, в этом специальном случае корневая деятельность растений, поскольку она выражается в выделении углекислоты, будет не растворяющей, а, наоборот, осаждающей.* А так как различные растения выделяют неодинаковые количества углекислоты (за весь период вегетации и в различные стадии своего развития), то это *осаждающее действие* их корневой системы будет также неодинаково у различных растений.

Все приведенные нами при изложении вегетационных опытов данные показывают, по нашему мнению, что в условиях нашего опыта горчица, овес и лен неодинаково отзывались на внесение в сосуды больших количеств углекислого кальция главным образом потому, что на доступность им фосфорной кислоты растворимых фосфатов углекислый кальций влиял неодинаково: мы не отрицаем того, что углекислый кальций сам по себе мог неодинаково влиять на эти растения, что в присутствии его для льна, например, создавались вообще условия менее благоприятные, нежели для горчицы и овса; но это обстоятельство могло, по нашему мнению, играть лишь второстепенную роль, усиливая отрицательное действие углекислого кальция как вещества, понижающего доступность льну фосфорной кислоты. Наши опыты показывают, что понижение углекислым кальцием растворимости фосфорной кислоты растворимых фосфатов очень сильно отозвалось на доступность этих фосфатов льну, не повлияв вовсе (или почти вовсе) на доступность ее горчице и овсу. Искать объяснения такого различия между льном, с одной стороны, и горчицей и овсом, с другой стороны, можно, во-первых, в отношении этих растений к фосфорной кислоте трехкальциевого фосфата (в присутствии и в отсутствие углекислого кальция); в этом направлении до сих пор мы имеем очень мало данных для того или другого определенного вывода; но во всяком случае те данные, которые имеются, говорят за то, что фосфорная кислота трехкальциевого фосфата менее доступна льну, нежели горчице; но одним неодинаковым отношением этих растений к трехкальциевому фосфату нельзя еще объяснить, например, следующего: после воздействия углекислого кальция на 0,75 г фосфорной кислоты (в NaH_2PO_4) остается еще

в растворе около 20% P_2O_5 , т. е. около 0,15 г на сосуд, после воздействия же углекислого кальция на такое же количество фосфорной кислоты в $Ca(H_2PO_4)_2$ остается в растворе всего около 5% P_2O_5 , между тем и в том и в другом случае лен давал довольно близкие урожаи (по фосфорнооднонатриевой соли + $CaCO_3$ 46 г, по фосфорнооднокальциевой соли + $CaCO_3$ 40 г); если же принять во внимание вышеупомянутую осаждающую деятельность корней, то подобное отношение льна в этих двух случаях будет вполне понятным: благодаря этой деятельности количество фосфорной кислоты, остающейся в растворе, в случае NaH_2PO_4 будет сильно понижаться, в случае же $Ca(H_2PO_4)_2$, наоборот, будет несколько повышаться и, как видно из таблицы на стр. 262, при достаточном пропускании CO_2 обе величины почти уравниваются.

Влияние углекислого кальция на доступность растениям фосфорной кислоты растворимых фосфатов, учитываемое величиной получаемого урожая, будет находиться в зависимости от абсолютной величины получаемого урожая по этим фосфатам в отсутствие углекислого кальция: если при одном и том же количестве фосфорной кислоты в сосудах без углекислого кальция получаются неодинаковые урожаи (например, в силу различных метеорологических условий, неодинаковой поливки, неодинакового освещения и т. п.), то чем больше этот урожай, тем большего понижающего действия можно ожидать от внесения углекислого кальция, так как количество фосфорной кислоты, остающейся в растворе при воздействии $CaCO_3$ на фосфаты щелочных металлов, будет всюду одинаково, и поэтому чем больше урожай в сосудах без $CaCO_3$, тем больше придется растениям в сосудах с $CaCO_3$ взять фосфорной кислоты из выпавшего в осадок фосфата, для того чтобы урожай оставался на той же высоте, что и в отсутствие углекислого кальция. Таким образом, у различных исследователей влияние углекислого кальция на действие на растения растворимых фосфатов может проявляться различно, раз максимальные урожаи у них неодинаковы. Очевидно также, что и при одинаковых максимальных урожаях, но при различных количествах вносимой в сосуды фосфорной кислоты (большой или меньший избыток ее) в виде растворимых фосфатов эффект от внесения углекислого кальция под одним и тем же растением будет неодинаков: чем больший избыток фосфорной кислоты был дан растению, тем больше останется в растворе фосфорной кислоты, не осажженной углекислым кальцием, и тем слабее поэтому сможет проявиться понижающее действие углекислого кальция. Принимая все вышесказанное во внимание, мы должны прийти к тому заключению, что те выводы, какие можно сделать из каждого вегетационного опыта относительно влияния углекислого кальция на действие растворимых фосфатов, не могут иметь абсолютного значения; в полной мере они справедливы лишь для тех условий, при которых производился каждый из этих опытов; в виде же общего положения можно сказать лишь, что углекислый кальций переводит большую или меньшую часть (в зависимости от рода растворимого фосфата и содержания углекислоты в почвенном растворе) растворимой фосфорной кислоты в нерастворимое состояние, а как это отразится на растении, это будет зависеть от многих факторов: рода растения, количества внесенного растворимого фосфата и в значительной степени от того, насколько благоприятны вообще в данном опыте условия развития для испытуемого растения.

С. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ОПЫТ 1913 г.

После того как лабораторные исследования выяснили действие углекислого кальция на растворимые фосфаты, мы весной 1913 г. поставили следующий вегетационный опыт со льном на суглинистом черноземе из имения Кроткое (в цинковых сосудах 20×20 ; количество почвы на сосуд 4,530 кг, влагоемкость почвы 67,6%; наибольшая гигроскопичность 8,4%, оптимальная влажность 42,2%).

- 1) 2 сосуда с основным удобрением [0,75 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и 0,25 г K_2O в K_2SO_4]
- 2) 2 » » » +50 г CaCO_3
- 3) 2 » » » +0,3 г P_2O_5 в NaH_2PO_4
- 4) 2 » » » +0,3 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 + 50 г CaCO_3
- 5) 2 » » » +0,064 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 , т. е. с таким количеством P_2O_5 , сколько оставалось в растворе после воздействия в течение 1 месяца 50 г CaCO_3 на раствор 0,3 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 (в 500 куб. см воды).
- 6) 2 сосуда с основным удобрением + смесь из 50 г CaCO_3 и 500 куб. см раствора 0,3 г P_2O_5 (в NaH_2PO_4), прореагировавшая в течение месяца.
- 7) 2 сосуда с основным удобрением + только твердая часть смеси 6-й пары сосудов (прозрачная жидкость в склянке с такой смесью по прошествии месяца была слита насколько возможно сифоном и остаток пять раз промыт дистиллированной водой).

Лен был посеян 30 мая, взшел 6 июня и убран в зрелом состоянии. Полученные результаты собраны в таблице 6

Таблица 6
Результаты опыта 1913 г. со льном на суглинистом черноземе

	Без фосфорной кислоты								0,3 г фосфорной кислоты в NaH_2PO_4							
					+50 г CaCO_3								+50 г CaCO_3			
	№ сосуда	зерно	треста	всего	№ сосуда	зерно	треста	всего	№ сосуда	зерно	треста	всего	№ сосуда	зерно	треста	всего
Урожай в граммах на сосуд																
1-й сосуд	1061	6,9	20,9	27,8	1063	4,9	17,2	22,1	1065	14,2	45,8	60,0	1067	9,2	27,2	36,4
2-й »	1062	7,2	20,9	28,1	1064	5,3	16,3	21,6	1066	13,5	43,6	57,1	1068	9,9	29,1	39,0
Среднее	—	7,1	20,9	28,0	—	5,1	16,8	21,9	—	13,9	44,7	58,6	—	9,6	28,1	37,7

	0,064 г P_2O_5 в NaH_2PO_4				Смесь 50 г CaCO_3 и 0,3 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 после 1 месяца взаимодействия				Твердая, промытая часть такой же смеси			
	№ сосуда	зерно	треста	всего	№ сосуда	зерно	треста	всего	№ сосуда	зерно	треста	всего
Урожай в граммах на сосуд												
1-й сосуд	1077	8,0	26,6	34,6	1073	7,9	26,4	34,3	1081	6,9	21,9	28,8
2-й »	1078	8,9	25,2	34,1	1074	7,1	24,7	31,8	1082	6,1	20,5	26,6
Среднее	—	—	25,9	34,4	—	7,5	25,6	33,1	—	6,5	21,2	27,7

Понижающее действие углекислого кальция обнаруживалось уже 17 июня; лен развивался всюду совершенно нормально, признаков какого либо страдания нигде не было заметно.

Как видно из таблицы 6, в отсутствие фосфорнокислого удобрения углекислый кальций понизил урожай льна всего лишь на 6 г (с 28,0 до 21,9 г). При смешении фосфорнокислого натрия и углекислого кальция вместе с почвой при наполнении сосудов углекислый кальций понизил урожай с 58,6 до 37,7 г, при прибавлении же к почве смеси фосфорнокислого натрия и углекислого кальция, прореагировавшей до смешения с почвой месяц, урожай получился всего 33 г; в данном случае нет никакого основания предполагать большей вредности углекислого кальция самого по себе, понижение же урожая с 37,7 до 33,1 г вполне удовлетворительно объясняется с точки зрения понижения усвояемости фосфорной кислоты: лен в сосудах со смесью $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{CaCO}_3$, прореагировавшей до внесения в почву в течение месяца, в первое время должен был быть менее обеспечен растворимой фосфорной кислотой, чем тот лен, который рос на почве с теми же соединениями, но пришедшими в соприкосновение только с момента наполнения сосудов и посева растений (посев был произведен в день наполнения).

Далее таблица 6 показывает, что в сосудах с 0,064 г P_2O_5 , т. е. с тем количеством растворимой фосфорной кислоты, которое остается в растворе после месячного взаимодействия между 0,30 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 и CaCO_3 , лен дал такой же урожай, как и в сосудах, получивших при наполнении смесь $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{CaCO}_3$ после месячного взаимодействия, и немного меньше, чем в сосудах, получивших при наполнении отдельно каждое из этих веществ; наконец, мы видим, что в сосудах, получивших только твердую часть смеси $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{CaCO}_3$, отделенную от раствора после месячного взаимодействия этих веществ, урожай льна получился такой же величины, как и в сосудах, не получивших ни фосфорной кислоты, ни углекислого кальция, но выше, чем в сосудах без P_2O_5 , но с CaCO_3 ; таким образом, часть фосфорной кислоты, осажденная углекислым кальцием из фосфорноодонатриевой соли, была усвоена льном в очень небольшом количестве, т. е. *свежесозрежденный трехкальциевый фосфат в присутствии большого избытка CaCO_3 очень слабо используется льном*. Из части же, оставшейся в растворе, лен в присутствии углекислого кальция усвоил меньше, чем в том случае, когда такое же количество фосфорной кислоты было дано отдельно, без углекислого кальция, что подтверждает существование осаждающего действия корней льна на фосфорную кислоту фосфорнокислого натрия в присутствии углекислого кальция.

С.-Петербург Лесной, ноябрь 1913 г.

О РАСТВОРЯЮЩЕЙ И ОСАЖДАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРНЕЙ РАСТЕНИЙ

В настоящее время можно считать вполне установленным, что растения обладают способностью переводить в раствор составные части почв и удобрений, находящиеся в почве в нерастворенном состоянии. В подтверждение имеющимся уже доказательствам такого действия растений мы приведем наш небольшой опыт, выполненный нами весной 1906 г.

Как известно, присутствие в воде достаточного количества растворенной углекислоты в значительной степени повышает количество веществ, извлекаемых водою из почвы. Поэтому, если поставить почву с растущими на ней растениями в такие условия, чтобы диффузия углекислоты, выделяемой корнями растений, из почвенного воздуха в атмосферу была возможно затруднена и если притом выбрать такой момент, когда растения выделяют уже достаточно углекислоты, а вместе с тем не поглощают еще почти минеральных веществ из почвы, то должно быть возможно увеличить количество воднорастворимых веществ почвы под влиянием корневой деятельности растений. Действительно опыт подтверждает это; этот опыт был поставлен в трех вариациях.

Вода извлекала из 100 г почвы

	Сухого остатка, просушен- ного при 105° С (в г)	Минераль- ных веществ (в г)	Органиче- ских веществ (по разности (в г)
I. Склянки без растений {	0,0428 0,0432	0,0188 0,0191	0,0240 0,0241
II. » с овсом {	0,0512 0,0518	0,0241 0,0248	0,0268 0,0270
III. » » горчицей {	0,0480 0,0492	0,0220 0,0228	0,0260 0,0264

1. В 6 склянок в 1,6 л емкости было помещено по 1 кг суглинистого чернозема Воронежской губернии; почва увлажнялась 300 куб. см воды, а склянки с содержимым взвешивались; затем в две из этих склянок

высевалось по пяти зерен овса, в другие две—по пяти зерен горчицы; остальные две склянки оставались без растений. Растения взошли на 3-й день, а через 5 дней после всхода вес склянок был доведен водою до первоначального, затем было прибавлено по 1 л воды, а после 3-минутного встряхивания водные вытяжки были отфильтрованы. Определение сухого остатка в этих вытяжках дало следующие результаты (см. таблицу на стр. 269).

Общая щелочность, выраженная в ионе HCO_3 на 100 г почвы в вытяжках из почвы склянок I была 0,0008, из почвы же склянок II и III—0,0011.

Опыт, таким образом, констатировал несомненное повышение под влиянием кратковременного роста растений воднорастворимых минеральных и в меньшей степени органических веществ почвы.

2. Опыт был поставлен совершенно так же, но, кроме овса и горчицы, высевался еще клевер, и водные вытяжки готовились через две недели после всхода растений. Вот результат анализа водных вытяжек из почвы этого опыта.

Вода извлекала из 100 г почвы

	Сухого остатка, просушенного при 105° С (в г)
I. Склянки без растений . . . {	0,0520 0,0532
II. » с овсом {	0,0434 0,0440
III. » » горчицей {	0,0391 0,0400
IV. » » клевером {	0,0426 0,0448

В этом опыте растения произрастали значительно больший промежуток времени, нежели в первом опыте, и мы получили уже не увеличение воднорастворимых веществ в почве, а заметное уменьшение; наши растения поглощали уже из почвенного раствора значительные количества веществ, и растворяющее действие растений не могло быть обнаружено применявшимся нами способом.

3. Тогда же был поставлен опыт в 6 стаканах: стаканы наполнялись 600 г суглинистого чернозема Тульской губернии; почва увлажнялась 150 куб. см воды; стаканы с содержимым взвешивались; два стакана оставались без растений, а в остальные высевался овес и горчица (по два стакана на каждое растение). К почве в стаканах время от времени прибавлялась вода до постоянного веса; через 10 дней после всхода растений почва, доведенная до постоянной влажности, из стаканов вместе с растениями была перегружена в банки; сюда же прибавлялось по 1 л воды, и вытяжки после 3-минутного встряхивания отфильтровывались. Вот результат этого опыта (см. табл. на стр. 271).

Таким образом, и в этом опыте при 10-дневном росте растений получилось понижение количества веществ, извлекаемых из почвы водою: тут, кроме большего развития растений и более сильного поэтому поглощения веществ из почвенного раствора сравнительно с тем, что имело

Вода извлекала из 100 г почвы

	Сухого остатка, просушенного при 105° C (в г)	Минеральных веществ (в г)	Органических веществ (по разности) (в г)
Стаканы без растений {	0,0392 0,0380	0,0184 0,0176	0,0208 0,0204
» с овсом {	0,0248 0,0256	0,0120 0,0120	0,0128 0,0136
» » горчицей {	0,0224 0,0232	0,0112 0,0118	0,0112 0,0114

место в первом опыте, обнаружению растворяющего действия углекислоты, выделяемой корнями, должна была препятствовать также легкая диффузия углекислоты в воздухе из почвы неглубоких стаканов.

Но если растворяющая деятельность корней в настоящее время, кажется, никем не отрицается, то относительно способа, каким корни осуществляют свою растворяющую способность, мнения расходятся; вопрос этот еще очень мало выяснен. Одно только здесь несомненно, а именно участие углекислоты, выделяемой корнями при дыхании, в растворении почвенных соединений, и несомненно потому, что, с одной стороны, известно, что корни выделяют углекислоту, с другой же стороны, известно, что вода, содержащая углекислоту, извлекает из почвы больше различных минеральных веществ, нежели вода, не содержащая углекислоты.

Количество углекислоты, выделяемой корнями растений, очень значительно. Так, в опытах П. С. Коссовича¹ за 85 дней горчица при общем урожае 188 г (7 растений) выделила 25,7 г CO₂, т. е. на 1 г воздушносухой надземной части 0,141 г, а на 1 г воздушносухих корней 4,54 г; ячмень при общем урожае в 175 г (7 растений) выделил 35,4 г CO₂, т. е. на 1 г воздушносухой надземной части 0,214 г, а на 1 г воздушносухих корней 3,51 г; лен при общем урожае 50 г (30 растений) выделил 10,6 г CO₂, что на 1 г воздушносухой надземной массы составляет 0,225 г, а на 1 г воздушносухих корней—3,87 г.

Erich Lau² на основании своих исследований над составом почвенного воздуха пришел к выводу, что содержание углекислоты в почвенном воздухе сильно повышается вследствие дыхания растений. Почва, занятая растениями, содержит, по его данным, в своем воздухе всегда больше углекислоты, нежели почва в тех же условиях, но не возделанная. В области корней почвенный воздух богаче углекислотой, нежели ниже этой области; при более сильном развитии растений содержание углекислоты больше, нежели при растениях слаборазвитых.

На влиянии углекислоты на растворимость в воде почвенных соединений мы здесь останавливаться не будем; укажем только, что о б щ е е

¹ П. Коссович. Сравнительное определение количества углекислоты, выделяемой корнями горчицы, ячменя и льна. «Журнал Опытной агрономии», стр. 241.

² Erich Lau. Beitrag zu der Zusammensetzung den im Ackerboden befindlichen Luft. Inaugural-Diss., Rostok, 1906 и L. Ann. d. mecklenburgischen patr. Vereins; реф. в «Журн. оп. агр.», 1908, стр. 643; цитирую по Bied. Zentib, 1908, стр. 433.

количество¹ веществ, переходящих из почвы в воду, содержащую углекислоту, при всех до сих пор производившихся исследованиях оказывалось выше, нежели веществ, переходящих в воду, не содержащую углекислоты; затем укажем, что даже из фосфорита, содержащего фосфорную кислоту в очень трудно растворимой форме, под влиянием той углекислоты, которая выделяется в почве при разложении внесенного в нее навоза, извлекается водой значительно больше фосфорной кислоты, нежели в отсутствие навоза. Так, в опытах Е. Триог², в которых этот исследователь через колбы, содержащие воду и фосфорит, пропускал воздух из почвы без навоза и с навозом, получились следующие результаты: при пропускании воздуха из почвы, не удобренной навозом, 200 куб. см воды извлекли из 0,5 г фосфорита 0,53 мг P_2O_5 , а при пропускании воздуха из почвы с навозом—1,04 мг P_2O_5 ; таким образом, под влиянием углекислоты, выделяющейся навозом, растворимость фосфорной кислоты увеличилась вдвое, чтобы оценить значение такого увеличения растворимости в отношении питания растений, стоит себе только представить такой случай, когда в почвенном растворе содержание фосфорной кислоты близко к тому минимуму, ниже которого растение уже не в состоянии использовать из раствора это соединение; в этом случае повышение вдвое концентрации фосфорной кислоты в растворе может дать уже возможность растению развиваться нормально.

Можно думать, что в почве, покрытой более или менее нормально развитыми растениями, почвенный раствор в области корневой системы насыщен углекислотой или близок к насыщению. Вот вегетационный опыт, произведенный нами летом 1907 г., на основании которого можно прийти к приведенному заключению. Опыт этот был поставлен на двух почвах: на очень бедном питательными веществами супесчаном черноземе (Воронежской губернии, Бобровского уезда, имения Резцова) и на довольно плодородном суглинистом черноземе (Воронежской губернии, Бобровского уезда, имения Анна). В цинковые сосуды (20×20) помещалось 4,440 г первой почвы (по перечислению на сухую) и 4,073 г второй почвы (по перечислению на сухую); с каждой почвой ставилось 4 сосуда без удобрения, 4 с полным удобрением (0,2 г азота в виде азотнокислого кальция, 0,5 г P_2O_5 в виде NaH_2PO_4 и 0,5 г K_2O в виде K_2SO_4), 4 с полным удобрением азота и 4 с полным удобрением без фосфорнокислого. Два сосуда из каждой комбинации все время вегетации поливались обычной водой (первая почва доводилась до влажности 27% от веса сухой почвы, а вторая до влажности 41%), а два—водой, насыщенной углекислотой (содержала около 0,125% CO_2). Опытным растением служил клевер, который был убран в полном цвету; полученные данные урожая этого растения приведены в таблице 1. Таблица эта показывает, что под влиянием углекислоты урожай клевера очень слабо повысился, и то лишь на песчаном черноземе в сосудах без удобрения и по полному удобрению без фосфора (см. табл. на стр. 273).

А между тем количество воднорастворимых веществ в этих двух почвах под влиянием присутствия углекислоты очень сильно возрастает. Так, в одном опыте, при встряхивании почвы с пятерным количеством

¹ Говорю лишь об общем количестве, так как на растворимость некоторых отдельных соединений и в некоторых специальных случаях углекислота может действовать понижающе; об одном таком случае будет сказано ниже.

² E. Triog. Factors Influencing the Availability of Rock Phosphate. Research. Bull., № 20, 1912 univ. of Wisconsin, реф. в «Журн. оп. агр.», 1913, стр. 600.

Средний урожай клевера из двух параллельных сосудов
(в граммах на сосуд)

	Без удоб- рения	Полное удобрение		
			без N	без P ₂ O ₅
Песчаный чернозем				
Без углекислоты	9,6	39,3	33,7	10,4
С углекислотой	11,7	39,5	32,6	11,7
Суглинистый чернозем				
Без углекислоты	37,5	54,7	50,0	40,5
С углекислотой	37,6	55,0	49,3	40,7

Таблица 1

Влияние внесения в почву углекислоты на рост клевера

	Без удобрения		Полное удобрение			
					без N	без P ₂ O ₅
	Урожай (в граммах на сосуд)					
№ сосуда		№ сосуда		№ сосуда		№ сосуда

I. Песчаный чернозем Воронежской губернии

Поливка обыкновенной водой									
1-й сосуд	331	9,6	335	40,1	339	32,9	343	10,0	
2-й »	332	9,6	336	38,5	340	34,4	344	10,8	
Среднее	—	9,6	—	39,3	—	33,7	—	10,4	
Поливка водой, насыщенной CO ₂									
1-й сосуд	333	11,2	337	40,7	341	33,0	345	12,7	
2-й »	334	12,4	338	38,2	342	32,1	346	11,6	
Среднее	—	11,7	—	39,5	—	32,6	—	11,7	

II. Суглинистый чернозем Воронежской губернии

Поливка обыкновенной водой								
1-й сосуд	251	36,6	255	54,8	259	48,2	263	39,9
2-й »	252	38,3	256	54,6	260	51,8	264	41,2
Среднее	—	37,5	—	54,7	—	50,0	—	40,5
Поливка водой, насыщенной CO₂								
1-й сосуд	253	36,6	257	56,3	261	47,9	265	40,9
2-й »	254	38,6	258	53,7	262	51,7	266	41,5
Среднее	—	37,6	—	55,0	—	49,3	—	40,7

обыкновенной дистиллированной воды в течение 1 часа и при часовом пропускании углекислоты через почву, взболтанную пятикратным количеством воды, мы получили следующие данные (см. табл. на стр. 274).

Количество веществ, извлекаемых водой из 100 г почвы

	Сухой остаток, просушенный при 105° C (в г)	Минеральных веществ (в г)	Органических веществ (по разности) (в г)
Песчаный чернозем			
Вода без CO ₂	0,063	0,021	0,042
» с CO ₂	0,114	0,051	0,063
Суглинистый чернозем			
Вода без CO ₂	0,091	0,034	0,057
» с CO ₂	0,181	0,081	0,100

Такое же отсутствие положительного действия углекислоты на урожай растений (овес) получил и E. Mitscherlich¹ в опытах с поливкой растений в сосудах водой, насыщенной углекислотой при 30°. Вот средние урожаи зерна и соломы (из трех и четырех параллельных сосудов), полученные этим исследователем на трех почвах.

	Песчаная почва		Суглинок		Торфянистая почва	
	без CO ₂	увеличение урожая от CO ₂	без CO ₂	увеличение урожая от CO ₂	без CO ₂	увеличение урожая от CO ₂

Урожай зерна овса (в г)

Без удобрения	24,3	+0,3±3,07	4,7	-1,2±0,23	17,5	+2,2±1,08
Полное удобрение без P ₂ O ₅	28,5	-1,8±1,03	30,0	±0,0±1,62	22,4	-0,4±1,29
» » » N	24,5	-2,3±2,96	4,5	-1,5±0,42	19,6	+1,8±0,76
» » » K ₂ O	25,4	+1,0±1,40	34,8	-5,0±0,91	40,3	+8,5±2,68
Полное удобрение	28,4	+5,2±2,58	33,0	-0,8±0,86	41,9	+6,7±2,55

Урожай соломы овса (в г)

Без удобрения	30,0	+2,8±3,82	10,0	-0,4±0,46	32,1	-1,0±1,21
Полное удобрение без P ₂ O ₅	48,4	-3,0±2,42	48,7	+0,1±1,93	42,7	-2,2±1,43
» » » N	30,4	-1,7±4,16	10,5	-1,7±0,63	35,0	+1,3±0,82
» » » K ₂ O	45,0	+2,3±0,74	51,1	-4,0±1,41	64,8	+7,7±2,55
Полное удобрение	47,5	+3,2±0,84	53,4	+0,8±1,62	77,7	+5,7±1,19

Не оказывало внесение углекислоты, по данным Mitscherlich'a, положительного действия и на усвояемость различных фосфатов и азотистых удобрений (опыты в песчаных культурах): вот средние урожаи овса (из четырех параллельных сосудов), полученные им в отсутствие в поливной воде углекислоты и при поливке водой, насыщенной CO₂ (см. табл. на стр. 275).

Приведенные результаты мы можем объяснить себе, только приняв вместе с Mitscherlich'ом, что почва, покрытая растениями, содержит уже вследствие деятельности корней столько углекислоты, что дальнейшее

¹ E. Mitscherlich. Ein Beitrag zur Kohlensäuredüngung. L. Jahrb., т. 39. 1910, стр. 157; в «Журн. оп. агр.», 1911, стр. 712.

Урожай овса в песчаных культурах (в граммах на сосуд)

	Зерно		Солома		Корни	
	без CO ₂	увеличение урожая от CO ₂	без CO ₂	увеличение урожая от CO ₂	без CO ₂	увеличение урожая от CO ₂
¹ / ₄ P ₂ O ₅ в полном удобрении дана в форме:						
CaH ₄ (PO ₄) ₂	17,7	+4,3±0,7	30,8	+7,7±0,9	12,1	+1,6±0,8
CaHPO ₄	17,8	+0,5±0,7	31,2	+2,7±1,0	13,7	+1,9±0,5
Томасшлаков А	18,6	+1,5±1,1	34,8	-0,1±1,2	11,6	+3,5±1,4
»	18,3	-2,7±0,7	29,9	-2,2±1,3	13,9	+0,8±0,7
» С	15,9	-2,2±0,9	29,2	+3,1±1,5	13,3	-3,7±0,9
»	18,4	-3,7±0,9	30,2	-1,2±1,6	12,1	-1,0±0,9
» 27	14,1	+2,5±0,6	24,1	+0,4±2,9	13,0	-2,7±1,5
» 26	18,8	-2,7±1,1	29,2	-2,1±1,8	11,3	-2,0±0,7
Вольтерс натр. фосфат	15,7	+0,9±1,4	26,4	+1,1±1,3	12,1	-1,1±1,5
» калийн. фосфат	19,5	4,0±1,0	31,3	-0,8±2,7	13,0	-3,8±0,9
»	19,1	-2,2±1,0	32,9	-6,8±1,1	13,4	-3,1±0,6
»	16,9	+1,6±1,5	30,8	+0,2±2,1	11,9	-2,0±0,6
¹ / ₄ N в полном удобрении дана в форме:						
NaNO ₃	19,8	+0,1±0,4	31,7	+2,9±0,6	17,5	+0,2±0,8
(NH ₄) ₂ SO ₄	18,3	-2,1±1,1	28,5	-1,7±1,0	17,8	-5,2±1,9
Пер. гуано	17,8	-1,3±0,8	32,9	-6,9±1,3	18,7	-0,7±2,2

повышение количества ее не увеличивает растворимости почвенных соединений, причем мы лично добавили бы к этому, что отсутствие положительного эффекта от внесения в почву углекислоты не требует еще, чтобы весь почвенный раствор в том сосуде, в котором производился опыт, был насыщен углекислотой: общее количество ее может быть и недостаточным для насыщения всего почвенного раствора, но достаточным для насыщения той части почвенного раствора, которая непосредственно соприкасается с деятельной частью корней и одна в данном случае и может иметь решающее значение вследствие чрезвычайной медленности диффузии в почве растворенных соединений, как это в настоящее время определенно установлено работами Müntz'a и Gauderon'a¹, Malpeaux и Lefort'a² и Russe³.

Об опытах Pfeifer'a и Blanck'a по влиянию внесения углекислоты на урожай мы скажем ниже.

Таким образом, на основании того, что нам известно о растворяющей деятельности корней растений, проявляющейся как результат выделения углекислоты корнями растений, можно сказать, что в питании растений труднорастворимыми соединениями деятельность эта должна играть очень

¹ Müntz и Gauderon. Sur la diffusion des engrais salin dans la terre. Compt. R., т. 168, 1909, стр. 253 и Ann. de l'Inst. Nation. Agron., 2 ser., т. VII, fasc. 2, стр. 205; реф. в «Журн. оп. арп.», 1909, стр. 387.

² Malpeaux и Lefort. La circulation des nitrates dans le sol. Ann. de la Sc. Agron., 1912, 2 Semestre, стр. 241; реф. в «Журн. оп. арп.», 1913, стр. 583.

³ V. Russe. Le mouvement des nitrates dans le sol et ses consequences relatives a l'emploi du nitrate de soude; Ann. de la Sc. Agron., 1913, 1 Sem., стр. 97; реф. в «Журн. оп. арп.», 1913, стр. 97.

значительную роль. Но проявляется ли растворяющая деятельность корней единственно вследствие выделения углекислоты, или же корни действуют растворяюще и иными способами и если да, то какими именно и какова доля каждого из этих способов в общей растворяющей способности? Относительно первого вопроса в настоящее время почти единогласно признается, что одного лишь выделения корнями углекислоты недостаточно для объяснения всех фактов, наблюдаемых при взаимодействии между растением и почвою (или труднорастворимыми соединениями); из исследователей высказавшихся по этому вопросу, кажется, только Mitscherlich до настоящего времени если не вполне отрицает другие способы воздействия корней на почвенные соединения, то, во всяком случае, считает этот вопрос настолько не выясненным, что продолжает энергично пропагандировать свои методы анализа почв и удобрений, в основу которых положено представление о растворяющей деятельности корней как всецело обусловливаемой лишь выделением углекислоты¹.

Правда, мы до сих пор не имеем прямого доказательства тому, что корни растений действуют растворяюще не только выделяемой ими углекислотой, но признать это заставляет нас ряд косвенных указаний. Так, известно, что некоторые растения вовсе не используют фосфорной кислоты из фосфорита (в песчаных культурах), между тем как другие используют ее очень сильно, но «ведь очевидно,—справедливо указывает Д. Н. Прянишников²,—что корни всех растений выделяют углекислоту, изменяется лишь ее количество. Почему, несмотря на констатированное богатство почвы углекислотой во время развития растений, фосфорит действует только в некоторых особых случаях, а не на любое растение и не на любой почве?»

А. Г. Дояренко³ сравнил использование калия гречихой и горчицей из нефелина и слюды с растворимостью калия этих минералов при повторной обработке их водой, насыщенной углекислотой; разница между количеством калия, усвоенного растениями и извлеченного водой, насыщенной углекислотой, оказалась громадной; а именно из данного растениям калия:

в нефелине	горчица	извлекла	25,0%,	гречиха	38,3%
»	слюде	»	21,2%,	»	29,7%

тогда как вода, насыщенная CO_2 , после 2-дневного воздействия на те же количества этих минералов извлекла всего:

из нефелина 0,47% от всего калия, а из слюды 0,316%,

а следующие повторные обработки в течение двух недель извлекли еще:

из нефелина 0,008 от всего калия, а из слюды 0,005%.

«Таким образом,—заключает Дояренко,—является несомненным, что растения в процессах использования труднорастворимой пищи пользовались, кроме CO_2 , еще какими-либо более энергичными растворителями и что, следовательно, разницу в усвояющей способности растений нельзя объяснить одной CO_2 ...»

¹ Mitscherlich. Zur Frage der Wurzelantheiden der Pflanze. L. Vers.-St., Bd. 81, 1913, стр. 468; реф. в «Журн. оп. агр.», 1914, стр. 72.

² Д. Н. Прянишников. К вопросу о корневых выделениях. Доклад на I Менделеевском съезде; «Труды съезда», СПб., 1909, стр. 453.

³ А. Г. Дояренко. К вопросу о корневых выделениях. «Труды I Менделеевского съезда», СПб., 1909, стр. 455.

Th. Pfeiffer и E. Blanck в статье «Die Saureausscheidung der Wurzeln und die Löslichkeit der Bodennährstoffe in kohlenensäurehaltigem Wasser¹, направленной главным образом против способа, предлагаемого Mitscherlich'ом для определения в почве и удобрениях усвояемых растениями питательных веществ (вытяжка водой, насыщенной углекислотой), приводят вегетационные опыты (под овсом, люпином и горохом) с введением в сосуды углекислоты (с поливной водой и в газообразном виде); испытывалось влияние углекислоты на усвояемость почвенной фосфорной кислоты, фосфорной кислоты двукальциевого фосфата и казанского и смоленского фосфоритов. Вот, например, результаты опыта с овсом и горохом.

	Без фосфорно-кислого удобрения		СаНРО ₄		Фосфорит	
	без СО ₂	с СО ₂	без СО ₂	с СО ₂	без СО ₂	с СО ₂

Средний общий урожай (в граммах на сосуд)

Овес	7,7	8,3	20,3	26,3	9,1	8,9
Горох	23,1	24,8	51,8	55,3	31,7	30,1

Количество Р₂О₅ (в г) в урожае сосуда

Овес	0,0211	0,0233	0,1395	0,2046	0,0241	0,0237
Горох	0,0614	0,0529	0,2476	0,2559	0,0793	0,0666

Опыт показывает, что введение углекислоты, так же как и в ранее приведенных нами опытах, не изменяло доступности растениям почвенной фосфорной кислоты; не повысилась также под влиянием внесения углекислоты и усвояемость фосфорита; авторы совершенно справедливо указывают, что если бы различие в усвояемости фосфорной кислоты фосфорита злаками и бобовыми обуславливалось только неодинаковыми количествами углекислоты, выделяемой корнями этих растений, то искусственное введение углекислоты должно бы повысить использование этого удобрения растением с меньшей усваивающей способностью; но опыт этого не показал,—отсюда ясно, что в растворяющем действии растения на фосфорит принимают участие и другие агенты. Это же подтверждается и тем, что усвояемость фосфорной кислоты в двукальциевом фосфате в опыте с овсом повысилась под влиянием внесения углекислоты: овес в этом опыте страдал от ржавчины, что понижало его усваивающую способность, и углекислота, растворяющая двукальциевый фосфат, повышала использование последнего, но не могла повысить использование фосфорита вследствие слабого действия ее на этот труднорастворимый фосфат.

На основании этих же результатов Th. Pfeiffer и E. Blanck считают возможным сделать такой вывод: «Растворяющее действие корней растений обуславливается не только одной углекислотой, выделяемой при дыхании, но при этом важную роль играют также органические кислоты». Мы считаем, что последнее заключение о выделении корнями органических кислот вовсе не вытекает из данных опыта, так как из факта, что растворяющее действие корней обуславливается не одной только выделяемой ими углекислотой, не следует еще, как мы увидим ниже, что корни выделяют органические кислоты.

¹ Landw. Vers-St., Bd. 77, 1912, стр. 217.

Вообще надо заметить, что наиболее существенные указания на растворяющую деятельность корневой системы мы до сих пор получаем лишь из констатируемого неодинакового отношения различных растений к труднорастворимым питательным веществам. В этом направлении наиболее полно изучено отношение различных растений к фосфорной кислоте фосфорита; обобщая довольно многочисленные данные, относящиеся к этому вопросу, мы замечаем, что при самых разнообразных условиях, при каких производились сюда относящиеся опыты: в песчаных культурах, в опытах с почвами различного характера, на различных станциях, при разнообразных метеорологических условиях и при далеко не одинаковых условиях постановки самих опытов,—получаются приблизительно одинаковые результаты; растения по их способности использовать фосфорную кислоту фосфорита по всем этим исследованиям располагаются приблизительно в одном и том же порядке, полного совпадения, конечно, нет; его и не может быть, так как неодинаковые условия различных опытов должны были отражаться на конечном результате, и когда в рассматриваемом отдельном опыте какое-нибудь растение по способности своей извлекать фосфорную кислоту фосфорита занимает среди других растений иное место, чем то, которое принадлежит ему по данным песчаных культур, то почти всегда при внимательном изучении условий опыта можно найти причину этого отклонения. Если бы растворяющая деятельность корней растений обуславливалась только выделяющейся углекислотой, то порядок, в котором располагаются растения в отношении использования фосфорной кислоты из других источников, казалось, должен бы оставаться таким же, как и в отношении использования фосфорной кислоты фосфорита; между тем оказывается не то. В нашем распоряжении имеется довольно много данных по использованию различными растениями, с одной стороны, фосфорной кислоты фосфорита, а с другой стороны, фосфорной кислоты почв. Вот некоторые из них.

1. В опытах¹ на песчаном черноземе Воронежской губернии ряд растений взял из фосфорита и из почвы следующие количества фосфорной кислоты (в граммах на урожай сосуда).

	Из фосфорита	Из почвы
Горчица	0,199	0,010
Горох	0,122	0,082
Конопля	0,120	0,046
Вика полевая	0,112	0,046
Сераделла	0,102	0,055
Гречиха	0,091	0,065
Лен	0,063	0,062
Озимая пшеница	0,056	0,056
Овес	0,050	0,065
Ячмень	0,049	0,052
Люцерна	0,041	0,038
Озимая рожь	0,037	0,032
Тимофеевка	0,033	0,031

2. В опытах на слабооподзоленном суглинке Клинского опытного поля мы получили следующие данные².

¹ П. Коссович и К. Гедройц. О сравнительной способности сельскохозяйственных растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита. «Труды Сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. IV, стр. 182.

² К. Гедройц. О сравнительной способности сельскохозяйственных растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита. «Труды Сельхоз. хим. лаборатории», вып. VI, стр. 10.

Урожаем сосуда извлечено фосфорной кислоты (в граммах)

	Из фосфорита	Из почвы
Вика мохнатая	0,147	0,090
Клевер красный	0,142	0,084
Горчица	0,139	0,011
Горох	0,123	0,132
Гречиха	0,121	0,145
Вика полевая	0,118	0,089
Овес	0,106	0,104
Конопля	0,098	0,067
Лен	0,095	0,131
Ячмень	0,079	0,104
Тимофеевка	0,072	0,056
Люцерна	0,049	0,053

3. В опытах, произведенных лабораторией в 1908 г.¹ на различных почвах, горчица, клевер, овес и лен извлекли из фосфорита и из почвы (в граммах на урожай сосуда) следующие количества фосфорной кислоты.

а) Суглинистый чернозем Воронежской губернии²

	Из фосфорита	Из почвы
Горчица	0,015	0,180
Клевер	0,021	0,172
Овес	0,016	0,247
Лен	0,012	0,260

б) Суглинистый чернозем Тульской губернии

	Из фосфорита	Из почвы
Горчица	0,092	0,055
Клевер	0,005	0,057
Овес	0,004	0,101
Лен	0,011	0,106

в) Слабоподзоленный суглинок Смоленской губернии

	Из фосфорита	Из почвы
Горчица	0,016	0,076
Клевер	0,003	0,081
Овес	0,006	0,219
Лен	0,000	0,205

г) Лессовидный суглинок (подпочва суглинистого чернозема Тульской губернии)

	Из фосфорита	Из почвы
Горчица	0,032	0,000
Клевер	—	0,002
Овес	0,001	0,015
Лен	0,003	0,005

Все вышеприведенные данные показывают, что по способности своей использовать фосфорную кислоту почвы сельскохозяйственные растения

¹ П. Коссович. Растение, фосфорит и почва по опытам Сельхоз. хим. лаборатории в СПб.; «Журн. оп. агр.», 1909, стр. 782.

² Малое использование в этом опыте фосфорной кислоты фосфорита объясняется малой потребностью бывшего в опыте чернозема в фосфорнокислом удобрении, так например, без фосфорнокислого удобрения (по N+K) горчица дала 56,8 г на сосуд, а в присутствии еще и фосфорнокислого натрия—67,1 г.

располагаются не совсем в том же порядке, как по способности использовать фосфорную кислоту фосфорита. Особенно резко проявляется это у горчицы: отличаясь среди остальных растений очень высокой способностью использовать фосфорную кислоту фосфорита, она в отношении использования фосфорной кислоты почвенных фосфатов на многих почвах занимает последнее или почти последнее место; при этом она не только относительно, по сравнению с другими растениями, слабо использует почвенные фосфаты, но часто также и абсолютно извлекает из почвы чрезвычайно ничтожные количества фосфорной кислоты и дает соответственно с этим в отсутствие фосфорнокислого удобрения очень малые урожаи: так, как это видно из приведенных данных, из песчаного чернозема урожай одного сосуда горчицы извлек всего 0,010 г P_2O_5 (величина урожая 5,6 г). тогда как слабо усваивающий фосфорную кислоту фосфорита лен при тех же условиях извлек из почвы 0,062 г P_2O_5 (величина урожая 28,3 г). На оподзоленном суглинке Клинского опытного поля горчица извлекла из почвы сосуда всего 0,011 г P_2O_5 (урожай 6,0 г), лен же—0,131 г (урожай 40,8 г) и т. д. Но, конечно, не из всех почв горчица извлекает так мало фосфорной кислоты; так, из суглинистого чернозема Воронежской губернии в урожае горчицы одного сосуда найдено было 0,180 г P_2O_5 и горчица почти не нуждалась в фосфорнокислом удобрении, но и в этом случае лен извлек из почвы больше P_2O_5 (0,260 г); таким образом, *относительная* (в отношении других растений) *используемость горчицей фосфорной кислоты почвенных фосфатов* вообще иная, нежели *фосфорной кислоты фосфорита*. В рассматриваемом отношении интересным является также лен: по использованию фосфорной кислоты фосфорита он значительно уступает горчице и в общем по этой способности занимает среди других растений среднее место, по способности же своей использовать фосфорную кислоту почвенных фосфатов он не только значительно превосходит горчицу, но на некоторых почвах занимает и в отношении других растений первое или близкое к этому место; так, из почвы Клинского опытного поля урожай (одного сосуда) льна извлек 0,131 г P_2O_5 , т. е. столько же, сколько горох (0,132 г), и значительно больше, чем все остальные бывшие в этом опыте 10 растений, между тем как по использованию фосфорной кислоты фосфорита он занимал в этом опыте лишь 9-е место; таким образом, и у льна *относительная используемость фосфорной кислоты почвенных фосфатов* вообще иная, нежели *фосфорной кислоты фосфорита*. Важно отметить, что эта относительная способность льна, как и горчицы, не одинакова для различных почв; к сожалению, в этом отношении имеющихся данных очень мало; если бы целый ряд почв различного происхождения был изучен в отношении использования фосфорной кислоты их фосфатов одними и теми же растениями и, конечно, при одинаковых условиях, мы имели бы тогда ценные указания относительно характера почвенных фосфатов.

Нам остается рассмотреть еще одно явление, которое, по нашему мнению, также говорит за то, что растения воздействуют растворяюще на почвенные соединения не одной только выделяемой корнями углекислотой. Мы имеем в виду неодинаковое отношение различных растений к фосфатам щелочных металлов в присутствии углекислого кальция.

В ранее помещенной в настоящем отчете статье «Влияние углекислого кальция на усвояемость растениями и на растворимость воднорастворимых фосфатов» мы установили, во-первых, что присутствие углекислого кальция не одинаково влияет на использование горчицей, овсом и льном фосфорной кислоты одноватривого фосфата: в то время как фосфорная

кислота этого фосфата используется горчицей одинаково как в отсутствие, так и в присутствии углекислого кальция, а овсом—почти одинаково; лен в присутствии углекислого кальция усваивает фосфорную кислоту значительно слабее, нежели в отсутствие CaCO_3 . С другой стороны, мы показали, что в системе: фосфат щелочного металла + CaCO_3 , углекислота способствует образованию нерастворимого трехкальциевого фосфата и в значительной степени понижает количество фосфорной кислоты в растворе по сравнению с тем, которое остается в растворе этой системы в отсутствие CO_2 ; таким образом, в этом частном случае корневая деятельность растений, выражающаяся в воздействии на нерастворимые соединения выделяемой при дыхании углекислоты, является не растворяющей, а осаждающей. Но если это так, то каким образом можно объяснить себе одинаковое использование фосфорной кислоты горчицей и льном из системы $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{CaCO}_3$; если допустить, что растения эти растворяют лишь благодаря углекислоте, выделяемой корнями, то необходимо будет предположить, что лен выделяет эту углекислоту гораздо энергичнее, нежели горчица, но это, во-первых, противоречит имеющимся экспериментальным данным, во-вторых, тогда будет совершенно непонятно, почему горчица использует фосфорную кислоту фосфорита и трехкальциевого фосфата гораздо сильнее, нежели лен, а не наоборот.

Итак, все приведенные выше соображения заставляют прийти к выводу, что растворяющее действие корней не ограничивается только действием выделяемой ими углекислоты; растения располагают и иными способами воздействия на труднорастворимые соединения. Растворимость труднорастворимых почвенных соединений находится в зависимости от состава почвенного раствора; все, что так или иначе изменяет этот состав, должно влиять и на растворимость, увеличивать или уменьшать ее; растение является одним из таких факторов, изменяющих состав почвенного раствора: оно, с одной стороны, вносит в этот раствор своими корневыми выделениями посторонние вещества, а с другой стороны, поглощает из раствора питательные вещества; между почвенным раствором и растением существует, таким образом, тесное взаимодействие. Как же это взаимодействие отражается на растворимости почвенных соединений? В нижеследующем мы попытаемся кратко изложить современное состояние этого вопроса.

1. Изменение растением состава и растворяющей способности почвенного раствора вследствие корневых выделений. В настоящее время можно считать вполне установленным, главным образом благодаря исследованиям Мазе¹ и И. Шулова², что корни растений, кроме углекислоты, выделяют различные неорганические (сульфаты, хлориды) и органические (редуцирующие и нередуцирующие сахара, яблочная и молочная кислоты) соединения: относительно молочной и яблочной кислот осталось невыясненным, выделяются ли они в свободном или связанном состоянии.

Если допустить, что корневые выделения совершенно нейтральны, то и в этом случае они могут оказывать влияние на растворимость почвенных соединений; влияние это может быть как растворяющее, так и осаждающее; для определения характера и степени этого влияния необходимо

¹ P. Maze. Recherches sur la physiologie végétale. Ann. de l'Inst. Pasteur, 1911, стр. 705, реф. в «Журн. оп. агр.», 1913, стр. 485.

² И. Шулов. К вопросу об органических корневых выделениях. Исследования в области физиологии питания высших растений. Москва, 1913, стр. 169.

знать, с одной стороны, качественный и количественный состав корневых выделений, а с другой стороны, влияние выделяемых веществ на растворимость отдельных почвенных соединений; пока все это нам не известно. Поэтому при современном состоянии рассматриваемого вопроса можно сказать лишь одно, что корни своими выделениями могут влиять на растворимость почвенных соединений. Обращаясь, в частности, к вопросу о кислых корневых выделениях, кроме уголекислоты, приходится констатировать, что до настоящего времени он не решен. Как известно, Czapek¹ на основании наблюдений над карриозными явлениями на пластинках из гипса, смешанного с фосфатами алюминия и железа, пришел к выводу, что растения не выделяют других кислот, кроме угольной: G. Kunze² на основании своих также косвенных соображений вместе с Czapek'ом отрицает присутствие в корневых выделениях свободных минеральных кислот (а также и кислых солей), но допускает присутствие там не только уголекислоты, но и других органических кислот; но, как показал Д. Н. Прянишников³, выводы Czapek'a и Kunz'a не могут быть признаны разрешающими данный вопрос.

Kunze пытался подойти к решению вопроса о кислых корневых выделениях и непосредственным путем: он титровал дистиллированную воду, которой обмывались корни, но определенных результатов не получил. Кроме этой попытки непосредственного определения кислот выделяемых корнями растений, нам известны еще две, А. Г. Дояренко и J. Abersson'a.

А. Г. Дояренко⁴ для непосредственного учета выделяемых кислот выращивал растения (горох, ячмень, пшеницу и гречиху) «в водных культурах таким образом, чтобы часть корней в течение вегетационного периода находилась в дистиллированной воде; вода через известные промежутки времени (7—10 дней) обновлялась, и в ней производилось исследование на количество CO_2 , летучих органических кислот и нелетучих кислот». В каждой порции дистиллированной воды из сосудов с корнями определялась общая кислотность титрованием децинормальным раствором едкого бария; затем пробы эти сохранялись до конца опыта, после чего пробы, принадлежащие одному растению, смешивались между собой и в них определялась CO_2 отгонкой ее струей воздуха при действии слабой серной кислоты и при слабом нагревании с обратным холодильником; уголекислота улавливалась натронной известью. Вот полученные результаты.

*Кислотность воды, в которой развивалась прядь корней
(в куб. см 0,1 норм. раствора)*

	Общая кислотность	CO_2	Кислотность от прочих выделений
Ячмень	11,0	9,7	1,3
Пшеница	10,5	9,7	0,8
Горох	24,0	21,7	2,3
Гречиха	8,0	7,7	0,3

«Несомненно,—говорит Дояренко,—все эти данные, полученные по отношению лишь к небольшой части всей корневой системы, части, раз-

¹ F. Czapek. Zur Lehre von den Wurzelauausscheidungen. Jahrbücher für wissensch. Botanik., т. 29, стр. 321.

² G. Kunze. Ueber Säureausscheidung bei Wurzeln und Pilzhyphen und ihre Bedeutung. Jahrbücher für wissensch. Botanik., т. 42, 1906, стр. 357.

³ Д. Н. Прянишников. К вопросу о корневых выделениях. Труды I Менделеевского съезда, 1909, стр. 448. См. также вышеуказанную статью И. Шулова.

⁴ См. выноски на стр. 276.

вивавшейся в дистиллированной воде, не могут претендовать на желательную точность и носят характер лишь рекогносцировочный, иллюстрирующий лишь факт существования, помимо CO_2 , еще каких-то выделений корней кислого характера». Нам же кажется, что полученные автором результаты едва ли доказывают это: если принять во внимание малую величину общей кислотности и ничтожную разность, падающую на кислотность прочих выделений, то приходится признать, что метод, применявшийся Дояренко, слишком груб для того, чтобы этой разности придавать значение в решении вопроса о кислотных выделениях; так как в этом исследовании общая кислотность определялась в отдельных порциях жидкости, а CO_2 в сумме их, то вся эта разность могла явиться, например, как результат сложения ошибок каждого отдельного определения кислотности: титрование оканчивается обычно после прилития небольшого избытка щелочи.

Гораздо более тонкий прием был применен Aberson¹ для решения вопроса, выделяют ли растения более сильные кислоты, чем уголекислота. Он проращивал семена различных растений (4—8 дней) в атмосфере, насыщенной водяными парами; корни отдавали свои выделения в дистиллированную воду; вода эта затем подвергалась исследованию; проращивал Aberson семена также в чистом кварцевом песке и через 4—10 дней ополаскивал корни водой, которая затем исследовалась. Исследуемые жидкости сгущались выпариванием (предварительными опытами автор убедился, что в исследуемых жидкостях не содержится летучих кислот, конечно, кроме уголекислоты, и что жидкость после выпаривания дает такие же результаты при дальнейшем ее исследовании, как и жидкость, лишенная уголекислоты помощью выкачивания воздуха из колбы с этой жидкостью), и в них определялась концентрация водородного иона по способу концентрационных цепей Нерста. Вот результат этих определений.

	Концентрация H-иона	Число куб. см. 0,01 норм. KOH, необходимых для нейтра- лизации 20 куб. см. жидкости
<i>Medicago sativa</i> L.	$0,43 \times 10^{-7}$	1,2
» » »	$0,68 \times 10^{-7}$	1,6
» » »	$0,56 \times 10^{-7}$	2,1
» » »	$0,85 \times 10^{-7}$	1,8
<i>Medicago Lupulina</i> L.	$0,50 \times 10^{-7}$	0,4
<i>Ornithopus sativus</i> Br.	$0,15 \times 10^{-7}$	0,7
<i>Medicago sativa</i> L.	$0,69 \times 10^{-7}$	0,3
» » »	$1,00 \times 10^{-7}$	0,5
<i>Trifolium pratense</i> L.	$0,37 \times 10^{-7}$	0,3
» » »	$0,13 \times 10^{-7}$	0,4
<i>Trifolium repens</i> L.	$0,10 \times 10^{-7}$	0,8
<i>Polygonum Fagopyrum</i>	$0,66 \times 10^{-7}$	2,5
» » »	$0,44 \times 10^{-7}$	2,0
<i>Lotium perenne</i>	$0,14 \times 10^{-7}$	0,8
» » »	$0,14 \times 10^{-7}$	1,1
<i>Cynosurus cristatus</i>	$0,83 \times 10^{-7}$	2,2
<i>Festuca elatior</i> L.	$0,14 \times 10^{-7}$	1,0
<i>Lupinus Tourn</i>	$1,00 \times 10^{-4}$	4,1
» » »	$0,61 \times 10^{-5}$	4,5
<i>Balsamina hortensis</i>	$0,19 \times 10^{-4}$	3,8
» » »	$0,12 \times 10^{-3}$	4,1
» » »	$0,26 \times 10^{-3}$	2,1

¹ F. A b e r s o n. Ein Beitrag zur Kenntnis der Natur der Wurzellausscheidungen. *Jahrbücher für wissenschaft. Botanik*, т. 41; ред. в «Курн. он. арп.», 1910, стр. 431.

Таким образом, концентрация иона Н для всех растений, кроме люпина и бальзамина, колебалась между 10^{-7} и 10^{-8} (1 г иона водорода содержится в 10^7 — 10^8 л), т. е. соответствовала концентрации этого иона в чистой воде (при 18°C эта концентрация равна $0,77 \times 10^{-7}$); для люпина и бальзамина концентрация эта больше, но все-таки очень мала и не превышает 10^{-4} (0,01 мг Н в литре); если принять во внимание, что это измерение было произведено в 27 куб. см жидкости, в которую давали свои выделения 50 проростков люпина, то для получения 1 л жидкости с такой же концентрацией нужно было бы 2 500 проростков. На основании полученных данных Aberson отрицает присутствие в корневых выделениях пных кислот, кроме углекислоты. Так как Aberson исследовал корневые выделения, даваемые проростками лишь в первые 4—8 дней их жизни, то, в сущности, из полученных им данных можно сделать лишь тот вывод, что в этот период большинство из исследованных растений не выделяет каких-либо кислот, кроме углекислоты, а люпин и бальзамин выделяют их в ничтожном количестве; делать же на основании этих данных какие-либо заключения о корневых выделениях растений в другие периоды их развития Aberson, очевидно, не имел никаких оснований.

Мы видим, что Дояренко и Aberson, пытавшиеся подойти к решению вопроса о кислых корневых выделениях непосредственным исследованием этих выделений, на основании полученных результатов пришли к противоположным выводам; вместе с тем, по нашему мнению, ни один из этих выводов достаточно не обоснован и не вытекает из тех данных, которыми располагали эти исследователи; таким образом, вопрос о кислых выделениях корней и по настоящее время остается открытым.

2. Изменение растением состава и растворяющей способности почвенного раствора вследствие поглощения из него различных веществ. Поглощение растениями из почвенного раствора питательных веществ может значительно изменять растворимость в нем труднорастворимых почвенных соединений. Так как в почвенном растворе могут присутствовать физиологически кислые, физиологически нейтральные и физиологически основные соединения, то деятельность растения в этом отношении может проявляться и увеличением и уменьшением растворяющей способности почвенного раствора; если принять во внимание, что ближайший состав почвенного раствора и по настоящее время остается для нас почти совершенно неизвестным, то будет ясно, что об этой стороне деятельности растения мы можем говорить лишь вообще, качественная же и количественная сторона ее остается еще совершенно невыясненной; кроме указанного, вопрос этот усложняется еще тем, что различные растения не одинаково изменяют состав почвенного раствора: одни поглощают больше оснований, увеличивая этим растворяющую способность почвенного раствора, другие, наоборот, поглощают больше кислот; наконец, исследования И. в. Шулова¹ дают основание полагать, что одно и то же растение в различные периоды своей жизни поглощает то больше оснований, нежели кислот, то наоборот. Таким образом, если с одной стороны возможность изменения растением растворяющей способности почвенного раствора вследствие поглощения из него тех или других составных частей совершенно ясна и не может встречать каких-либо возражений, то степень влияния этого фактора и направление этого влияния в зависимости от

¹ И. Шулов. Азотнокислый аммоний в стерильных культурах высших растений. Иссл. в области физиологии питания высших растений. М., 1913, стр. 197.

состава почвенного раствора и свойств растения до сих пор остаются совершенно невыясненными и почти не затронутыми исследователями.

Укажем еще на один фактор, который, по нашему мнению, может играть большую роль в определении величины усваивающей способности растения труднорастворимых соединений и которому, быть может, в значительной степени обязаны различные растения их неодинаковой усваивающей способностью. Насколько нам известно, на него впервые указал проф. Богданов еще в 1899 г., но с фактором этим как-то почти совсем не считаются; мы имеем в виду скорость поглощения растениями из почвенного раствора того или другого питательного вещества. Имеющиеся исследования хода поглощения растением питательных веществ показывают, что скорость этого поглощения у разных растений неодинакова и неодинакова также у одного и того же растения в различные периоды развития. Если растение имеет дело с труднорастворимым соединением, то, очевидно, чем быстрее растение будет извлекать это соединение из почвенного раствора, тем в одно и то же время больше этого соединения из твердого состояния перейдет в раствор, тем полнее оно будет использовано растением; растения с различной скоростью поглощения, например фосфорной кислоты из почвенного раствора, будут воздействовать на фосфорит, как будто они обладали различной растворяющей способностью. Возможно, что многие явления, объясняемые обычно различной растворяющей способностью корней, обуславливаются именно неодинаковой скоростью восприятия растениями питательных веществ.

Подводя итог всему изложенному в этой статье, можно сказать, что в настоящее время намечаются три способа, которыми растения могут способствовать переводу труднорастворимых почвенных соединений в раствор; «усвояющая способность корней» представляет собой суммарный эффект всех этих трех способов воздействия, который почти совершенно еще не изучен как с качественной, так и с количественной стороны, поэтому выделить из этого суммарного эффекта те доли, которые принадлежат тому или другому из них, не представляется возможным.

С.-Петербург, Лесной, декабрь 1913 г.



ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ И ИХ УЛУЧШЕНИЕ

Несколько лет тому назад я опубликовал исследования¹, в которых, между прочим, экспериментально доказал, что почвы, обогащенные тем или другим путем легкорастворимыми солями (хлористым или сернокислым натрием), обладают иным составом цеолитных оснований², нежели почвы незасоленные; из моих исследований непосредственно вытекает, что цеолитная часть почв, содержащих большие количества воднорастворимых солей, вместе с тем и именно в силу этого обогащена по сравнению с незасоленными почвами основаниями этих солей за счет обычных цеолитных оснований почвы: так, почвы, богатые хлористым или сернокислым натрием обогащены цеолитным натрием. Таким образом, из указанного исследования следует, что солончаки будут отличаться от почв незасоленных не только присутствием в них большего или меньшего количества легкорастворимых солей, но и химическими свойствами самой почвы, причем степень этого отличия будет находиться в зависимости от состава и количества легкорастворимых солей, содержащихся в солончаке, и от содержания в нем цеолитной части; поэтому если из солончака тем или иным путем удастся удалить содержащиеся в нем легкорастворимые соли, то этим еще мы не приведем его в состояние нормальной почвы, в то состояние, которым обладала эта почва до своего засоления. Наконец, мои исследования показали, что в известных случаях, а именно когда солончаки богаты натриевыми солями, они после удаления из них избытка легкорастворимых солей превращаются в почвы, содержащие в почвенном растворе соду и обладающие очень неблагоприятными для культуры свойствами, т. е. в так называемые щелочные солонцы.

Несмотря на то что полученные мною результаты не только не противоречили, но в сущности непосредственно вытекали из правильного представления процессов поглощения и обмена в почвах, эти результаты не были приняты во внимание никем из тех, кто после опубликования моей статьи писал об улучшении солончаков. Проф. К. Д. Глинка в своей книге «Почвоведение» (Петроград, 1915, 2-е изд.) при описании солончаков и солонцов прошел совершенно мимо установленных мною особенностей химизма солончаков и солонцов и генезиса последних.

¹ К. К. Г е д р о й ц. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. I. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Щелочные солонцы и солончаки. «Журнал опытной агрономии», 1912, стр. 363.

² Т. е. почвенных оснований, способных к энергичному обмену на другие основания.

В настоящее время при возможности коренного изменения нашего сельского хозяйства вопрос об использовании солончаков (как естественных, так и искусственно вызванных культурой, например, орошением почв, грунты которых богаты растворимыми солями) и солонцов может явиться вопросом дня. Поэтому я считаю необходимым сделать более подробно и обстоятельно те выводы из указанной выше статьи, а также из моих работ, позже опубликованных¹, которые имеют отношение к мерам улучшения солончаковых и солонцовых почв, не дожидаясь окончания производимого мною в настоящее время исследования состава цеолитной части различных типов солончаков.

В нижеследующем под солончаком мы будем понимать почву, обогащенную легкорастворимыми солями, под солонцом же — почву, содержащую соду. Выделение почв, содержащих соду, от почв, содержащих другие легкорастворимые соли, вызывается многими обстоятельствами. Во-первых, генезисом этих почв. В указанном ранее исследовании я доказал, что происхождением своим в почве сода обязана натрию цеолитной части (и гуматов), который в почвах, содержащих углекислый кальций, легко обменивается на кальций этого соединения, давая в результате нерастворимый кальциевый цеолит и растворимую соду; таким образом, почвы, содержащие соду, являются вместе с тем почвами, обогащенными цеолитным натрием; обогащение же это могло произойти лишь вследствие воздействия на почву растворов, богатых натриевыми солями, т. е. хлористым или сернокислым натрием; таким образом, по моей теории солонцы, т. е. почвы, содержащие в почвенном растворе соду, представляют собой почвы, цеолитная часть которых обогащена натрием; такими же обогащенными цеолитным натрием почвами являются также и сами солончаки (почвы несолончаковые и несолонцовые цеолитного натрия не содержат), богатые хлористым или сернокислым натрием или тем и другим вместе. Для пояснения сказанного необходимо иметь в виду следующее. По теории Гильгарда сода в почве происходит вследствие реакции взаимного обмена между хлористым или сернокислым натрием и углекислым кальцием, между тем все имеющиеся в литературе довольно уже многочисленные данные единогласно показывают, что присутствие в почвах хлорида или сульфата натрия в присутствии углекислого кальция не только не обуславливает присутствия в почве соды, но, наоборот, хлористый и сернокислый натрий, с одной стороны, и углекислый натрий, с другой стороны, являются в почве как бы антагонистами; где много первых, там мало или вовсе нет соды, и обратно; где есть сода, там мало или вовсе нет хлорида и сульфата натрия. Как я показал уже², этот факт, противоречащий теории Гильгарда, не только не противоречит моей теории образования соды, но непосредственно из нее вытекает на основании закона действия масс: реакции взаимного обмена основаниями натронного цеолита и углекислого кальция в силу малой растворимости углекислого кальция (малой концентрации в почвенном растворе иона Са) должно препятствовать присутствию уже небольших количеств иона натрия; у нас имеется ряд данных, показывающих, какая концентрация хлорида и сульфата натрия уже не

¹ К. К. Гед ро й ц. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. II. Скорость обменных реакций в почве. Коллоидальность почв, насыщенных различными основаниями, в красочный метод определения количества коллоидов в почве. «Журн. оп. агр.», т. XV, 1914, стр. 181.

К. К. Гед ро й ц. Поглощительная способность почвы и почвенные цеолитные основания. Там же, т. XVII, 1916, стр. 472.

² К. К. Гед ро й ц. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения, I.

допускает вовсе образования соды в почве, содержащей то или другое количество цеолитного натрия; данные эти я опубликую отдельно. Таким образом, хотя солончаки, содержащие хлористый и сернокислый натрий, представляют почвы, цеолитная часть которых подобно солонцам обогащена натрием, но они не будут содержать соду до тех пор, пока большая часть находящегося в них хлористого или сернокислого натрия не будет вымыта; когда это случится, когда концентрация этих солей достигнет известного минимума, тогда появится сода; тогда же начнут выявляться и те физические свойства, которые описаны уже мною для почв, насыщенных или обогащенных в своей цеолитной части натрием; тогда вместо солончака мы получим солонец, специфические свойства которого будут выражены с большей или меньшей резкостью в зависимости от ранее бывшей максимальной концентрации в его почвенном растворе хлорида или сульфата натрия, от концентрации этих солей в этом растворе в данный момент и от количества цеолитной части почвы. Таким образом, по моим данным солонцы возникают из солончаков. Я всюду для простоты говорю о почве, на самом же деле в природе большей частью придется говорить о солонцовом и солончаковом слоях, так как обычно в почвах, даже с очень типичным солонцовым, за уплотненным горизонтом, на той или иной глубине можно встретить солончаковый горизонт, богатый растворимыми солями и именно вследствие этого не содержащий соды, неуплотненный и невязкий. В подобных же почвах, когда-то богатых и в верхних горизонтах хлористым или сернокислым натрием можно встретить и другое любопытное явление, причина которого та же—богатство цеолитной части натрием; верхний слой такой почвы, несмотря на неподходящий климат, может быть сильно оподзолен, и он содержит тогда, в противоположность почвам подзолистой зоны, очень большие количества свободной, аморфной кремнекислоты. Происхождение таких горизонтов из слоя, богатого цеолитным натрием, совершенно понятно: растворимость почвы, цеолитная часть которой сильно обогащена натрием, значительна, она во много раз превосходит растворимость такой же почвы, содержащей в своей цеолитной части не натрий, а кальций; поэтому, с одной стороны, для ее сильного выщелачивания достаточно уже значительно меньше атмосферных осадков, чем для обычных, нормальных почв, не содержащих цеолитного натрия, а с другой стороны, почвенный раствор такой почвы будет очень богат различными веществами и, между прочим, коллоидально растворенной кремнекислотой; в таком состоянии кремнекислота очень неустойчива и в силу многих факторов (например, растворенной в воде углекислоты) легко коагулирует и остается, таким образом, в большей или меньшей части в местах своего возникновения.

Второй причиной, заставляющей отделить солонцы от солончаков, является количество и качество солей в почвенном растворе тех и других. Солончаки могут содержать очень большие количества легкорастворимых солей, достигающие иногда 10 и больше процентов; солонцы же, как общее правило, понятное из вышесказанного, сравнительно очень бедны солями; водные вытяжки из солонцовых почв содержат очень мало солей, а сухой остаток этих вытяжек состоит главным образом из окисей железа, алюминия и кремния, находившихся в вытяжках в коллоидально растворенном состоянии.

Третьей причиной особого положения солонцов являются их физические свойства, сильно отличные от физических свойств солончака: солонцы (вернее, солонцовые горизонты) как почвы, насыщенные или обогащенные цеолитным натрием, вязки, клейки, при высыхании очень

плотны, структурны и водонепроницаемы, склонны к заболачиванию, солончаки же благодаря присутствию солей, свертывающих коллоидальные вещества, обладают обратными свойствами, а в известных случаях совершенно рыхлы (пухлые солончаки).

Наконец, с сельскохозяйственной точки зрения разделение этих двух видов почв необходимо в силу различного отношения растений к соде, с одной стороны, и ко всем тем солям, с другой стороны, которые встречаются в солончаках. По всем имеющимся в литературе данным, сода значительно ядовитее для растений, нежели встречающиеся в солончаках растворимые соли.

1. СОЛОНЧАКИ

С точки зрения изложенного, а также с чисто практической стороны, с точки зрения методики мелиорации, распространенная теперь классификация солончаков по преобладающему содержанию в них того или другого аниона (сульфатные, карбонатные и другие солончаки) должна быть признана неудовлетворительной, так как свойства солончака в первую очередь обуславливаются не анионами его солей, а катионами; поэтому солончаки должны быть разбиты по группам на основании содержания в них катионов: натриевые, кальциевые, магниевые и т. д., затем содержащие смеси ионов: натриево-кальциевые или кальциево-натриевые и т. д. Солончаки каждой такой группы могут быть уже разбиты на подгруппы по содержанию того или другого аниона.

И здесь, если мы говорим о натриевом или каком-либо другом солончаке как о почве, то лишь для упрощения изложения; на самом же деле, как и при разделении солончаков и солонцов, надо иметь в виду, что в данной почве один горизонт может быть солончаковым, а другой солонцовый, так и здесь; один горизонт почвы может быть натриевым солончаком, а другой — кальциевым и т. п.

Согласно тем сведениям, которые мы имеем до настоящего времени о составе солей в солончаках, в практическом отношении главное значение по своему распространению имеют солончаки натриевые, кальциевые и натриево-кальциевые или кальциево-натриевые; чистых магниевых солончаков не обнаружено; обычно магниезиальные соли в солончаках составляют лишь ничтожную часть от общего количества их солей, и поэтому о влиянии этих солей на состав солончака и приеме его улучшения говорить не придется; калиевых солончаков у нас, кажется, не найдено еще; в отношении этой группы солончаков, если она у нас окажется, применимо все то, что будет сказано относительно натриевых солончаков. Таким образом, в вопросе об улучшении солончаков мы должны остановиться на солончаках натриевых и кальциевых и солончаках, содержащих смесь этих катионов.

До настоящего времени единственным приемом, рекомендуемым и практикуемым при коренном улучшении солончаков, является вымывание из него солей (временное затопление с дренажем). Если на солончак смотреть как на обыкновенную почву, но лишь обогащенную легкорастворимыми солями, то означенный прием должен казаться вполне рациональным: удалив примешанные к почве соли, мы получим в результате такой операции обыкновенную же почву и потому вполне годную для культуры. С точки зрения же нашей теории такой прием в применении его ко всем солончакам без разбора должен быть признан глубоко ошибочным и в известных случаях должен привести к весьма нежелательным результатам. К таким солончакам, применение к которым указанного

приема мелiorации должно привести к отрицательному результату, относится прежде всего вся группа натриевых солончаков, как хлоридных, так и сульфатных и хлоридосульфатных. По моим данным, незасоленные и несолонцовые почвы содержат в своей цеолитной части около 80% СаО от общего количества цеолитных оснований; при содержании в почве уже около 0,2% хлористого или сернокислого натрия приблизительно половина этой извести замещается натрием; таким образом, в натриевых солончаках, даже не особенно богатых растворимыми солями, мы имеем дело с цеолитной частью, резко отличающейся по своему химическому составу от цеолитной части нормальных почв; удалив из такого солончака орошением легкорастворимые его соли, мы получим почву, не содержащую таковых и вместе с тем обогащенную цеолитным натрием, т. е. получим солонец—почву, непригодную в культуре не только вследствие ее химических свойств (сильная ядовитость для растений соды солонцов), как это имело место у солончака, но и вследствие ее физических свойств: плотности, вязкости, водонепроницаемости, клейкости и т. д. В силу таких неблагоприятных для обработки физических свойств дальнейшее улучшение получившегося солонца очень затруднительно, а орошение его и тем более затопление легко может привести к заболачиванию вследствие водонепроницаемости солонцовых горизонтов. Очевидно, для улучшения натриевых солончаков необходимы такие приемы, которые, наряду с удалением из почвы вредного для растений избытка легкорастворимых солей, восстанавливали бы и нормальный состав цеолитных оснований в почве, т. е. заменили бы снова цеолитный натрий почвы на кальций. Необходима, очевидно, комбинация промывания почвы с внесением в почву известковых солей или извести; наиболее удобно было бы внесение хлористого кальция, но в силу его дороговизны более практичным, по всей вероятности, будет гипс; вступая в обменную реакцию с почвенными цеолитными веществами, кальциевая соль переходила бы в натриевую, а вместо натрия в цеолитную часть почвы вступал бы кальций, восстанавливая таким образом нормальный состав цеолитной части почвы; продукт обмена (растворимая натриевая соль), вместе с первоначально присутствовавшими в солончаке легкорастворимыми солями, уносился бы из почвы оросительными водами. Разработка норм орошения и вносимых в почву кальциевых солей—дело практики, я этого вопроса вовсе не буду касаться, тем более, что те и другие нормы должны находиться в зависимости от конкретных условий данного солончака; укажу только, что для выработки таких норм необходимо знание качественного и количественного состава легкорастворимых солей солончака и содержания натрия в его цеолитной части (определение этого натрия, после удаления легкорастворимых солей из солончака, методом вытеснения натрия аммонием хлористого аммония); вычисленные на основании этих данных нормы, до применения их на практике, должны быть непременно проверены предварительным опытом.

Для иллюстрации сказанного о натриевых солончаках мы приведем следующие примеры.

1. Натриевые солончаки преимущественно хлоридные.

а) Мокрый солончак Томской губернии дер. Броденок; последовательные водные вытяжки из трех горизонтов этой почвы приведены мною в статье «Коллоидальная химия в вопросах почвоведения, I» («Журн. оп. агр.», 1912, стр. 385); из этих данных наглядно видно, как по мере вымывания хлористого натрия солончак этот превращается в щелочный солонец.

б) Засоленные почвы Муганской степи. Каковы бы ни были причины засоления этих почв, во всяком случае на основании, например, уже данных 10% солянокислой вытяжки, приведенных у Н. Тулайкова¹, мы видим, что все засоленные почвы этой степи богаты цеолитным натрием; на основании одного этого я утверждаю, что, удалив из этих почв промыванием большую часть растворимых солей, мы превратим их в щелочные солонцы, т. е. не исправим, а в некоторых случаях например, тяжелые почвы значительно ухудшим и значительно усложним и удорожим меры улучшения их. Наблюдающееся заболачивание на орошаемых участках степи указывает, что процесс образования солонцовых, уплотненных и труднопроницаемых горизонтов имеет уже место в указанных почвах. Почв Муганской степи у меня не имеется под руками и потому подтвердить высказанное мною положение опытным путем я не могу.

2. Натриевые солончаки преимущественно сульфатные. Солончак из восточной части Верненского уезда, Семиреченской области. Образец по моей просьбе был любезно доставлен мне Р. И. Аболиным. Сейчас я могу сообщить результаты исследования лишь верхнего слоя 1—37 см «пороховатого, рыхлого и рассычатого; нога лошади свободно погружается; звездчатые кристаллы Na_2SO_4 »; таким образом, мы имеем тут дело с тем, что называют пухлым солончаком. Результаты исследования состава растворимых солей показали следующее: солончак содержит (на воздушно-сух. состоянии) 4,576% Na_2SO_4 , 0,421% NaCl , 0,199% CaSO_4 ; магниевых солей—следы; общая сумма воднорастворимых минеральных солей по определению сухого остатка 5,217%. Таким образом, мы имеем солончак, содержащий почти исключительно сернокислый натрий, и в очень большом количестве. С этим образцом мы поставили опыт выщелачивания солей: на воронку с плотным фильтром была помещена почва, смешанная с определенным количеством воды (1 : 2); после того как жидкость полностью отфильтровалась на воронку, снова приливалось такое же количество воды без того количества, которое удерживалось почвою, и т. д.; было сделано всего 6 таких последовательных промываний; в последних промывных водах содержание серной кислоты было уже ничтожно; тогда почва с воронки была перенесена водою в склянку и из нее была сделана водная вытяжка, в которой серной кислоты уже не оказалось вовсе; почва с фильтра была перенесена водою в чашку; в такую же чашку была помещена первоначальная, не промывавшаяся почва с таким же количеством воды, и обе чашки были оставлены при обыкновенной t до полного просыхания. Уже во время промывания почвы на воронке резко бросалось в глаза изменение ее физических свойств по мере промывания: фильтрация с каждым промыванием все больше и больше замедлялась (при первом промывании вода отфильтровалась в несколько часов, при последнем же фильтрация продолжалась больше недели); высыхание промытой и непромытой почв шло также неодинаково: вода над непромытой почвой испарилась быстрее, чем над промытой; когда вода в обеих чашках испарилась настолько, что при наклонении их почва уже не двигалась с места, то объем, занимаемый почвой промытой, был значительно больше, чем непромытой, т. е. набухаемость почвы в первом случае была сильнее, чем во втором; после высыхания в чашках почва непромывавшаяся осталась рыхлой, а почва промытая от растворимых солей превратилась в очень плотный,

¹ Н. Тулайков. Почвы Муганской степи и их засоление при орошении, стр. 134 и 135. «Журн. оп. агр.», т. XVIII, кн. 2—4.

с трудом разбиваемый кусок. Одним словом, вместо солончакового пухлого горизонта мы получили типичный солонцовый уплотненный слой.

Теперь мы обратимся ко второй группе солончаков, к солончакам кальциевым, содержащим преимущественно кальциевые соли. Эта группа в отношении мелиорации занимает совершенно иное положение, нежели группа натриевых солончаков: цеолитная часть этих солончаков ничем существенно не может отличаться от таковой части нормальных почв; разница может быть лишь в благоприятном направлении — в направлении увеличения в этой части кальция за счет магния. Поэтому если такие солончаки нуждаются в удалении избытка присутствующих в них солей, то в этом случае прием мелиорации с применением одного лишь орошения совершенно рационален. Мы говорим «если такие солончаки нуждаются в удалении солей», так как если кальциевый солончак содержит только гипс, то все имеющиеся у нас данные говорят за то, что удалить эту соль нет надобности, потому что растворы гипса в силу малой его растворимости не вредны растениям. В самом деле, насыщенный раствор сернокислого кальция обладает концентрацией около 0,25%, или около 0,03 норм., а при такой концентрации не только сернокислый кальций, но и более ядовитые сернокислый натрий и калий почти безвредны растениям; по моим, например, опытам сернокислые щелочи начинают вредить даже очень чувствительным к солям растениям лишь начиная с концентрации 0,025 норм. и выше, причем данные эти относятся к песчаным и водным культурам, в которых растения более чувствительны к концентрации даваемых им солей, нежели в почвах. Почвы, засоленные одним лишь гипсом, таким образом не нуждаются в удалении соли. Другое дело, если кальциевый солончак содержит хлористый кальций в количествах, вредных растению; в этом случае для приведения такой почвы в состояние, пригодное для культуры, избыток этой соли нужно удалить.

Мелиорация третьей группы солончаков, натриево-кальциевых и кальциево-натриевых, т. е. содержащих главным образом смесь солей натрия (сернокислого или хлористого или того и другого вместе, что обычно и бывает) и кальция (сернокислого и хлористого), будет зависеть от относительных количеств тех и других. Здесь нужно иметь в виду большую растворимость натриевых солей и сравнительно малую — гипса и, кроме того, то, что кальций поглощается почвой энергичнее натрия из эквивалентных растворов. Поэтому даже в тех случаях, когда солей натрия значительно больше, нежели гипса, но абсолютно и последнего довольно много, не может быть опасности вымыванием солей превратить почву в щелочной солонец; в этом случае даже тогда, когда такой солончак до мелиорации содержал в своей цеолитной части натрий в силу высокой концентрации солей натрия в почвенном растворе и малой концентрации там катиона кальция (малая растворимость гипса), этот цеолитный натрий будет при промывании замещен кальцием, если только соли натрия будут в большей своей части удалены раньше, чем гипс. В обратном случае одним орошением такого солончака конечно, не исправить, так же как и чистых натриевых солончаков; здесь также необходимо орошение соединить с внесением в почву кальциевых солей. Предварительным химическим исследованием солончака (определение качественного и количественного состава его солей), соединенным с лабораторным опытом промывания его, легко разрешить для этой группы солончаков вопрос о том, достаточно ли для улучшения в исследуемом случае одного лишь промывания или последнее должно быть соединено со внесением в почву гипса (или другой соли кальция); в последнем слу-

чае для установления нормы вносимого гипса необходимо определение количества содержащегося в солончаке цеолитного натрия после удаления из почвы легкорастворимых солей. Я уже указывал, что присутствие гипса не может вредить культуре сельскохозяйственных растений; мало того, оно может быть даже полезно в том случае, когда солончак, кроме гипса, содержит натриевые соли, так как соли кальция, являясь антагонистами солей натрия, значительно понижают ядовитость последних; поэтому при известном соотношении между количествами кальциевых и натриевых солей в почвенном растворе солончака сама необходимость удаления натриевых солей из почвы может вовсе отпасть; на таком солончаке культура тех или других сельскохозяйственных растений может оказаться возможной и без всякой мелиорации. Указанное, конечно, необходимо иметь в виду при обсуждении пригодности к сельскохозяйственной культуре кальциево-натриевых солончаков и при выработке мер к их улучшению; здесь, например, может оказаться достаточным лишь частичное удаление натриевых солей или просто разжижение почвенного раствора орошением и т. п.

В качестве примера кальциево-натриевых солончаков приведу две анализировавшиеся мною почвы.

а) Почва из Зайсанского уезда, Семипалатинской области (из коллекции Л. И. Прасолова); разрез 38. Мы приведем здесь данные, относящиеся к горизонту с глубины от 65 до 75 см. Из этого горизонта было сделано 16 последовательных водных вытяжек до полного вымывания из почвы серной кислоты. Всего было найдено 8,60% CaSO_4 , 0,850% NaCl и 0,445% Na_2SO_4 . Нормальных карбонатов ни в одной вытяжке не было найдено; общая щелочность все время оставалась на одной и той же высоте; щелочность от щелочных карбонатов, выраженная в Na_2CO_3 , нигде не поднималась выше 0,002% (величина, которую мы наблюдаем и в нормальных черноземах); какого-либо резкого изменения в физических свойствах этого образца по мере удаления из него солей не наблюдалось; почва, окончательно промытая от всех растворимых солей по своим физическим свойствам, походила на обычные наши незасоленные почвы. Если этот образец в первоначальном своем состоянии и содержал цеолитный натрий (что, наверно, и имеет место, так как в почвенном растворе этого слоя при 20% влажности мы имеем 0,73 норм. NaCl и 0,31 норм. Na_2SO_4 , т. е. всего натриевых соединений 1,04 норм., тогда как сернокислого кальция всего лишь 0,03 норм.; и хотя кальций значительно энергичнее поглощается, чем натрий, но при таком соотношении, конечно, почва поглотит и натрий (и в заметных количествах), то этот натрий, конечно, был бы вытеснен кальцием при промываниях. На основании всего сказанного я могу и теперь, не имея еще данных о составе цеолитных оснований в промытом образце этой почвы, утверждать, что цеолитного натрия там не найду.

б) Почва Наркаралинского уезда, Семипалатинской области, по р. Джарми. Вскипает с поверхности. Исследованию были подвергнуты 3 слоя этой почвы: A_0 —0—1 1/2 см; A —2—7 см; B —13—22 см; C_1 —34—40 см; C_2 —65—75 см. Содержание сернокислого и хлористого натрия в этих слоях следующее (1-я цифра—сернокислый, 2-я хлористый натрий в процентах от воздушносухой почвы): 1-й слой—0,620 и 0,290; 2-й слой—0,696 и 0,099; 3-й слой—0,417 и 0,087; 4-й слой—0,219 и 0,035; 5-й слой—0,140 и 0,048. В первых четырех горизонтах гипса содержится громадное количество: нами уже сделаны 30 последовательных водных вытяжек (1 : 5), и мы получаем все еще насыщенные растворы сернокислого кальция, так что

горизонты эти содержат более 30% CaSO_4 ; в последнем горизонте гипса следы. Заметная щелочность обнаружена лишь в этом последнем горизонте. Оставляя обсуждение влияния промывания последнего горизонта на его физические и химические свойства до получения данных определения в нем цеолитных оснований, мы можем относительно первых четырех слоев категорически сказать, что полное удаление из них воднорастворимых солей не может привести к почвам солонцеватым. Другое дело, надо ли из них, а также из ранее приведенного слоя почвы Зайсанского уезда удалить соли и в каких количествах. То содержание натриевых солей, которое имеет место в исследованном слое почвы Зайсанского уезда, а также в первых четырех слоях каркаралинского солончака само по себе должно чрезвычайно сильно вредить нашим сельскохозяйственным растениям: 0,5% этих солей в почве соответствует при 20% влажности концентрации 2,5% и 0,5 норм., поэтому если бы в этих почвах не было гипса, то можно было бы определенно говорить, что почвы эти для культуры обычных сельскохозяйственных растений нуждаются в удалении части солей, в разжижении почвенного раствора; но так как почвенные растворы насыщены гипсом, а соли кальция, являясь антагонистами солей натрия, в значительной степени обезвреживают соли натрия, то без соответствующего исследования решить вопрос, нужно ли удалить натриевые соли из этих солончаков и в какой степени, с полной определенностью не представляется возможным; на основании того, что нам теперь уже известно из области антагонистического влияния солей, нужно думать, что при почвах, насыщенный раствор гипса едва ли сможет заметно понизить их ядовитое действие на растение.

В заключении вопроса о мелиорации солончаков укажу, что удаление солей из солончака промыванием его вовсе нельзя считать мерой радикальной, так как удаляемые соли не уносятся при этом из общего круговорота и, вынесенные из почвы в одном месте, они засолят ее в каком-нибудь другом. Затем мера эта дорогая, особенно в том случае, когда промывание придется соединять с внесением в почву кальциевых солей, и во многих отношениях опасная. Следует, по моему мнению, приложить усилия к нахождению других путей борьбы с неблагоприятными для культуры свойствами солончаковых почв; особое внимание необходимо обратить на выбор подходящих видов и сортов растений, а также на вывод новых сортов, более стойких в отношении засоленности.

II. СОЛОНЦЫ

Обращаюсь теперь к солонцам. Внешним признаком этих почв (или солонцовых горизонтов) служат, между прочим, их физические свойства, присутствие уплотненного горизонта и щелочная реакция вследствие содержания в почвенном их растворе соды.

Для образования солонцов в природе как при искусственном, так и при естественном выщелачивании солончаков необходимо следующее условие: солончаки должны содержать или исключительно натриевые соли, или же, если они содержат труднорастворимую кальциевую соль—гипс, то абсолютное содержание последнего должно быть очень незначительное. Раз содержание гипса таково, что после выщелачивания главной массы натриевых солей (необходимо помнить, что в 100 куб. см холодной воды растворяется 35 г NaCl и 5,3 г Na_2SO_4 , а CaSO_4 — всего 0,2 г; с повышением t воды растворимость гипса относительно еще меньше) этой соли в почве останется еще столько, чтобы кальций ее мог полностью вытес-

нить натрий из цеолитной части почвы, то солонца из такого солончака мы не получим.

Все вышеотмеченные свойства солонцов являются по моей теории следствием обогащения таких почв (уплотненных и щелочных горизонтов) цеолитным натрием. Борьба с этими чрезвычайно вредными для растений особенностями должна заключаться: или 1) в уничтожении их перво-причины, т. е. в удалении из цеолитной части солонцовых горизонтов цеолитного натрия замещением его на кальций; или 2) в мероприятиях, препятствующих натриевому цеолиту проявлять свои вредные свойства, т. е. создавать уплотненные слои и давать в почвенный раствор соду, и обезвреживающих вредное влияние соды на растительность.

Первая из указанных мер—удаление из цеолитной части натрия представляет меру коренную; достигнув этого, мы получили бы вполне нормальную почву; но достигнуть этого можно, заменив весь натрий цеолитной части на кальций, что возможно лишь внесением в почву соответствующего содержанию в почве цеолитного натрия количества какой-либо известковой соли, например гипса. Обменом оснований гипса с цеолитом натрия почвы мы получим, с одной стороны, почву, цеолитная часть которой будет содержать вместо натрия кальций, т. е. нормальную почву, а с другой стороны, сернокислый натрий, т. е. соль, легко-растворимую и могущую выше известного количества уже вредить растениям; поэтому, когда почва содержит много цеолитного натрия и потому приходится вносить много гипса, может понадобиться удаление промыванием образующейся сернокислой соли натрия; промывание же может способствовать более тесному соприкосновению гипса с почвой и потому более скорому и более полному обмену его кальция на натрий почвы. С технической стороны метод этот представляет некоторые затруднения; так, например, солонцовый горизонт обычно лежит на некоторой глубине от поверхности почвы, к тому же он плотен и трудно проницаем для воды; поэтому приведение частиц почвы этого слоя в соприкосновение с растворами гипса требует разработки приемов внесения гипса; касаться здесь этих вопросов мы не можем,—они не входят в наши цели и находятся вне нашей компетентности. Рекомендуемый нами прием коренного улучшения солонцов внешне схож с приемом, указанным Гильгардом: для борьбы с вредным действием соды он также рекомендует внесение в почву гипса; но цель его приема—переведение имеющейся в почвенном растворе соды помощью гипса в углекислый кальций, поэтому и рекомендуемое им количество гипса (вычисление производится по содержанию в почве соды на основании данных водной вытяжки) значительно меньше того, какое должно, по нашему, вноситься в почву (вычисление на основании содержания в почве цеолитного натрия); по существу же эти два приема существенно различны: по нашей теории уничтожать ту только соду, которая имеется в почвенном растворе, нет смысла, так как тотчас же вместо нее образуется новое ее количество.

Меры второго порядка, имеющие целью только понижение вредоносных свойств солонцов, должны быть направлены на улучшение их физических свойств, т. е. уменьшение связности почвы солонцового горизонта, на понижение количества образующейся в солонце соды и ее обезвреживание. Для уменьшения связности могут применяться все те меры, какие применяются для этой же цели в случае глинистых, тяжелых почв, т. е. навоз, песок. Относительно известкования надо иметь в виду следующее: солонцовый горизонт может давать заметные количества соды лишь в присутствии в почве углекислого кальция, поэтому с этой стороны

известкование может представлять известную опасность, поскольку оно производится углекислым кальцием или поскольку углекислый кальций содержится во вносимой в почву извести или же образуется уже в почве из последней; с другой стороны, если известкование производится посредством жженой извести, то в силу ее значительно большей растворимости, нежели углекислого кальция, обмен ее кальция на натрий почвенных цеолитов произойдет в большем количестве; в растворе мы получим значительно больше щелочного соединения натрия, нежели в солонце до внесения извести, да еще в форме главным образом едкого натра, т. е. более ядовитого, чем сода; поэтому такое известкование должно непременно сопровождаться удалением из почвы продуктов взаимного обмена извести и почвы.

К мерам понижения ядовитости соды нужно отнести все то, что повышает в почве содержание углекислоты, так как последняя переводит углекислую соду (Na_2CO_3) в двууглекислую, которая по ядовитости для растений стоит значительно ниже нормальной соды. Внесение навоза и в этом отношении может принести существенную пользу.

Кроме уничтожения первопричины образования соды и неблагоприятных физических свойств солонца и понижения вредности того и другого, для растительности теоретически возможен еще один путь улучшения солонца. Как мы видели, солонец происходит из солончака; последний, несмотря на то что, подобно образуемому из него солонцу, содержит уже цеолитный натрий, не содержит соды (или содержит ее очень мало) и не обладает неблагоприятными для растений физическими свойствами; то и другое обязано присутствию в солончаке легкорастворимых солей натрия. Мы думаем, что в некоторых случаях (например, когда солонец содержит сравнительно мало цеолитного натрия) может быть небезнадежным прием улучшения солонца обратным превращением его в солончак, т. е. внесением в него соответственно рассчитанного количества легкорастворимых солей; конечно, указанная мера даже в подходящих случаях при неправильном ее применении может дать совершенно нежелательные последствия, но мы думаем, что она во всяком случае заслуживает внимания и разработки в отношении условий ее применимости и способа ее осуществления.

В заключение считаю необходимым подчеркнуть, что правильные и детальные методы борьбы с солончаками и солонцами, а также с засолением почвы, как естественно происходящим в природе, так и искусственно вызываемым приемами культуры, могут быть выработаны лишь при более близком и всестороннем знакомстве нашем с источниками легкорастворимых солей в почвах, с воздействием их на почвы, их движением в почве и отношением к ним растений; а для этого необходимо в первую очередь увеличить число опытных учреждений на солончаках, солонцах и засоленных местах и усилить их деятельность; эти опытные учреждения должны быть обставлены таким образом, чтобы, кроме необходимого изучения явления на месте в природных условиях, они могли углубить и проверить свои выводы экспериментальным путем, пользуясь всем тем, что в этом отношении дает нам физическая и коллоидальная химия. Без эксперимента и без помощи этих дисциплин наши познания указанных явлений будут попрежнему лишь поверхностны, часто ошибочны и без прочного фундамента.

Петроград. Лаборатория Докучаевского
почвенного комитета

ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НОСОВСКОЙ
ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ
(1922 - 1930)

*

СОЛОНЦЫ, ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СВОЙСТВА И МЕЛИОРАЦИЯ*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Солончаки и тесно с ними связанные солонцы в сельскохозяйственном отношении занимают между всеми почвами земного шара совершенно особое место. Подобно всем остальным почвам они могут быть плодородными (в смысле обеспеченности растений доступными питательными веществами) или неплодородными, тяжелыми, легкими и т. п., и в этом отношении они могут нуждаться в тех или других обычных приемах улучшения; но вместе с тем солончаки и солонцы обладают специфическими, им только присущими, неблагоприятными для растений качествами, так как по самой природе своей они содержат вредные для жизни растений соединения и отличаются (солонцы) очень неблагоприятным водным и воздушным режимом. При резкой выраженности этих солончаковых и солонцовых свойств никакими приемами, обычными для других почв, невозможно превратить эти почвы в культурные. Для этого прежде всего необходимо уничтожить специфические неблагоприятные свойства этих почв или, по крайней мере, до известной степени понизить степень проявления этих свойств, для чего нужны особые приемы улучшения. В этом отношении солончаки и солонцы примыкают к почвам болотным, требующим также специфических приемов улучшения. Для выработки правильных приемов мелиорации солончаков и солонцов и для правильного применения этих приемов в каждом отдельном конкретном случае необходимо ясно представить себе происхождение солончаков и солонцов, знать их те особые свойства, вследствие которых почвы эти мало или вовсе непроизводительны; наконец, надо знать состав и свойства той почвы, улучшение которой имеется в виду в каждом конкретном случае.

* Исследования К. К. Гедройца в области изучения происхождения и мелиорации солонцов и солончаков получили дальнейшее развитие в трудах Е. Н. Ивановой, В. А. Ковды, Н. В. Орловского и других. Следует особо отметить две крупные монографии В. А. Ковды «Солончаки и солонцы», изд. АН СССР, М.—Лгр., 1937 и «Происхождение и режим засоленных почв», т. I и II, Изд. АН СССР, М., 1946 и 1947 гг.; работу Е. Н. Ивановой «Генезис и эволюция засоленных почв в связи с географической средой». Сборник «Почвы СССР», т. I, 1939; книгу Н. В. Орловского «Засоленные почвы в западной Сибири», Новосибирск, 1941; Н. И. Базилевич «Типы засоления природных вод и почв Барабинской низменности», «Труды Почвенного института АН СССР», т. 34, М., 1953; Сборник «Мелиорация солонцов», изд. Почв. института АН СССР, М.—Лгр., 1953.—*Ред.*

Солончаки и солонцы различной степени солончаковатости и солонцеватости широко распространены на территории СССР, главным образом в пустынно-степной зоне, а также в черноземной области (преимущественно солонцы); в связи с производящимся землеустройством вопрос о сельскохозяйственном использовании площадей, занятых этими почвами, становится во многих местах на очередь дня. Поэтому очень существенно, чтобы земельные органы и учреждения, ведающие агрономической помощью населению в тех местах, где солончаки и солонцы значительно распространены, имели надлежащее представление об этих почвах, об их сельскохозяйственной ценности и о возможности их мелиорации.

Для правильной утилизации солонцов населением необходима большая предварительная работа опытных учреждений, в районы которых входят эти почвы, само собой разумеется, что экспериментальное изучение местных солонцов и выработка подходящих для местных условий мер улучшения их требует от персонала этих учреждений возможно полного знакомства с современным состоянием вопроса об этих почвах. Наконец, необходимо указать на часто наблюдающееся явление возникновения солончаков и солонцов в результате орошения почв засушливых областей; для того чтобы избежать таких нежелательных результатов, необходимо прежде всего представлять себе зависимость между этими двумя явлениями и быть в курсе современного учения о солонцах.

Таковы причины, побудившие меня написать настоящий научно-популярный очерк о солонцах; в нем мне пришлось затронуть вопрос и о солончаках, но лишь постольку, поскольку это было необходимо для понимания происхождения и свойств солонцов, генетически тесно связанных с солончаками. В основу этого очерка положены мои экспериментальные работы о солонцах, о поглотительной способности почвы и о почвенном поглощающем комплексе, опубликованные мною в ряде статей и монографий начиная с 1912 г.

В том виде, в каком были эти работы опубликованы мною, они не могли быть достаточно доступными широкому кругу агрономов, которые, однако, по месту и роду своей деятельности должны интересоваться солонцовой проблемой. И по форме изложения, и по разбросанности вопросов, касающихся солонцов, в различных статьях, и по системе изложения, и по месту печатания (в периодических изданиях) большинства результатов моих исследований работы эти предназначались для тесного круга научных работников в области агрохимии и почвоведения. Из этих работ мною взято для настоящего очерка только то, что непосредственно касается солонцов, и этот материал изложен в научной и вместе с тем в возможно популярной форме. Те положения, которые вытекали из моих экспериментальных исследований, развиты в настоящем очерке более детально применительно к солонцам, и сделан ряд выводов, непосредственно вытекающих из моих прежних работ; так как моя теория солонцов теснейшим образом связана с учением о реакциях взаимного обмена в почве (с физико-химической поглотительной способностью почвы) и с учением о зависимости свойств почвы от рода катионов, насыщающих ее поглощающий комплекс, то я считал необходимым с особой подробностью остановиться на этих явлениях, так как без полного понимания того и другого не может быть ясного представления о солонцах, а значит, и о теоретических основах их мелиорации.

ВВЕДЕНИЕ

ПРОСТЫЕ И СЛОЖНЫЕ СОЛИ ПОЧВЫ

Основную массу минеральной части всякой почвы составляют силикаты (кварц и соли кремневых, алюмокремневых и алюмоферрикремневых кислот); всю совокупность этих соединений мы будем в дальнейшем для краткости называть «сложными солями»; все остальные минеральные соли, встречающиеся в почве, т. е. соли всяких иных кислот, не силикатных, мы будем называть «простыми солями».

Простые соли почвы. Эти две группы солей, составляющих минеральную часть почвы, резко различаются между собой по характеру действия на них воды. Простые соли водой растворяются, переводятся ею в истинный раствор (в молекулярный, а в той или другой степени и в ионный); разница для отдельных простых солей будет лишь в степени их растворимости: одни из почвенных простых солей легкорастворимы, другие среднерастворимы, а третьи труднорастворимы.

Сложные соли почвы и их разрушение водой. Сложные соли почвы можно считать в воде нерастворимыми; вода их не растворяет, а разлагает, разрушает. В этом процессе разрушения сложной соли вода отнимает от нее некоторую часть, переводя эту часть в простые соли, подчиняющиеся уже общему закону растворяющего действия воды; другая же часть сложной соли остается в почве в виде сложной же соли, могущей дальше разрушаться водой, но уже более простого состава, чем начальная; под дальнейшим действием воды эта менее сложная соль дает еще более простую и т. д., пока рассматриваемая сложная соль не даст конечные, наиболее простые из возможных в условиях поверхности земного шара минеральные соединения (SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3), которые, так же как сама первоначальная сложная соль, в воде нерастворимы (химически). Здесь мы видим существенное различие между простыми и сложными солями: находящаяся в почве простая соль, например хлористый кальций, после установления равновесия между ней и сложными солями почвы (имею в виду явления поглощения, о которых будет речь ниже), при достаточном промывании почвы атмосферными осадками будет вымыта целиком, не оставив после себя в почве никакой части; результат будет таков, как будто бы этой соли в почве никогда и не было. Так, например, если мы возьмем почву, насыщенную кальцием, и внесем в нее CaCl_2 (между такой почвой и солью, как мы увидим ниже, явление поглощения не имеет места, — эта соль будет в равновесии с такой почвой), то хлористый кальций может быть нацело вымыт водой, не оставив после себя никаких следов в почве; или если почва, содержащая какую-нибудь труднорастворимую простую соль, например CaCO_3 , промывается водой в количестве, недостаточном для полного ее растворения, то в почве останется эта же соль того же первоначального состава, т. е. CaCO_3 . Если же промывать водой сложную соль, например калийный полевой шпат, то вода постепенно будет отнимать от него калий, который будет давать едкий калий, а в присутствии уголекислоты — уголекислый калий; полевой шпат будет при этом постепенно переходить из калийной соли алюмосиликатной кислоты через ряд кислых солей в соответствующую алюмосиликатную кислоту, которая, постепенно упрощаясь, даст в конце концов неразлагающиеся далее и химически нерастворимые в воде окислы SiO_2 и Al_2O_3 .

Таким образом, все имеющиеся в почве в данный момент простые соли могут быть, в противоположность сложным ее солям, вымыты из почвы

без остатка, конечно если это позволяют климатические условия; но пока в почве имеются не вполне разрушенные сложные соли, действие воды на них будет вызывать образование новых количеств простых солей; поэтому во всякой почве, находящейся даже в самых благоприятных условиях промывания, всегда имеются простые соли, так как они постоянно образуются в самом процессе почвообразования; пока этот процесс протекает, т. е. пока мы еще имеем дело с почвой, в ней непременно будут и простые соли; но количество возникающих в почве простых солей в каждый момент очень ничтожно, потому что действие воды, даже насыщенной CO_2 , на сложные силикаты очень слабое, и если образующиеся соли не накаплиются, а постоянно выщелачиваются из почвы вследствие достаточной влажности климата, то в такой почве количество простых солей будет всегда ничтожно. Иное дело, если почва находится в засушливом климате, если условия ее увлажнения недостаточны для выщелачивания тех простых солей, которые постоянно образуются в процессе почвообразования, они будут тогда накапливаться в почве и могут за продолжительное время существования почвы накопиться в значительных количествах, особенно если имеет место, кроме того, еще процесс приноса водой простых солей из других мест.

Органическая часть почвы, гумус, в почвах не болотного характера в количественном отношении значительно уступает минеральной части, а кроме того, часть гумуса представляет собой также солеобразные соединения, которые по своим свойствам, а именно по своему отношению к действию на них воды, ближе стоят к сложным солям почвы, нежели к простым солям; а потому мы будем их причислять к группе сложных солей почвы. Почва может почти вовсе не содержать простых солей, но почвы, не содержащей вовсе или почти вовсе сложных солей, представить себе нельзя; как общее правило и те почвы, в которых простых солей очень много, почти всегда более богаты сложными солями, нежели простыми. В климате влажном (подзолистая и латеритная зоны) вся почвенная толща состоит почти исключительно из сложных солей; простых солей тут — доли процента. В засушливом климате участие простых солей в общем составе почвы значительно больше; тут могут иметься в значительном количестве и легкорастворимые простые соли (хлориды и сульфаты) и среднерастворимые (гипс) и труднорастворимые (углекислый кальций и магний). В областях с промежуточным климатом (черноземная зона) почвы могут быть богаты труднорастворимыми простыми солями.

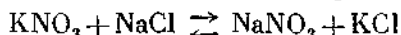
Играя, таким образом, в почвах в количественном отношении подчиненную роль, группа простых солей оказывает колоссальное влияние на все почвенные процессы, как физические, так и химические и биологические; характер, направление и интенсивность почвенных процессов в значительной степени определяются качественным и количественным составом этой группы солей; а в соответствии с этим и свойства почвы (физические, химические и биологические) тесно связаны с содержанием этих солей. В частности, этим содержанием обуславливается отношение сложных солей почвы, т. е. ее основной массы, к действию на них атмосферных вод, просачивающихся через почву.

ОБМЕННЫЕ РЕАКЦИИ В РАСТВОРАХ И В ПОЧВЕ

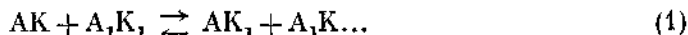
Процесс разрушения сложных солей (силикатов) материнской породы и почвы представляет одну из существеннейших частей общего процесса почвообразования. В свою очередь, он является частным случаем общего

явления, имеющего место в материнских горных породах и почвах. Я имею в виду обменные реакции, играющие в почвообразовательном процессе первенствующую роль; понимание сущности этих реакций совершенно необходимо для познания солонцов, их генезиса, свойств и способов их мелиорации. Поэтому я прежде всего и останавлиюсь на этом.

Обменные реакции в растворах. Если к раствору какой-нибудь соли (например, азотнокислого калия) прибавить раствор другой какой-нибудь соли (например, хлористого натрия), то между этими солями будет происходить реакция взаимного обмена катионами (или, что то же, анионами) и будут возникать две другие соли—азотнокислый натрий и хлористый калий, согласно уравнению:



Реакция обмена, исключая отдельные случаи, о которых см. ниже, не идет до конца (т. е. ни одна из взятых солей не исчезает из раствора сполна) и имеет обратимый характер, что и обозначается знаком $\rightleftharpoons$ вместо знака равенства. Таким образом, вместо двух взятых солей мы получаем в растворе четыре: две взятые и две новые; последние две во взятом примере явились в результате обмена катионами K и Na своими местами между некоторыми молекулами взятых солей. В этой реакции нам важно отметить следующее: 1) чем больше будет прибавлено NaCl к одному и тому же количеству азотнокислого калия, тем большая часть азотнокислого калия перейдет в азотнокислый натрий; 2) если раствор хлористого натрия приливать не к чистому раствору азотнокислого калия, а к раствору его, содержащему уже хлористый калий (один из продуктов обмена), то меньшее количество азотнокислого калия перейдет в азотнокислый натрий, нежели в случае чистого раствора азотнокислого калия; если хлористый калий прибавить к смеси после прибавления уже хлористого натрия к чистому раствору азотнокислого калия, то часть получившегося азотнокислого натрия снова перейдет в азотнокислый калий; 3) если каким-либо способом удалять из раствора образующийся реакцией взаимного обмена хлористый калий (или другой продукт обмена, или же оба вместе), то реакция обмена пойдет дальше, больше азотнокислого калия перейдет в азотнокислый натрий и тем больше, чем полнее будет удаляться образующийся хлористый калий; если он будет удаляться нацело, то реакция обмена пойдет до конца, т. е. до полного исчезновения обеих первоначально взятых солей (NO_3K и NaCl), если они были взяты в эквивалентных количествах, или до полного исчезновения той из них, которой было взято меньше. Таким образом, реакция взаимного обмена катионами солей протекает до конца тогда, когда из сферы действия удаляется, по крайней мере, один из продуктов обмена, при реагировании солей в растворе это может произойти естественно; когда один из продуктов нерастворим в воде, т. е. выпадает в твердом состоянии, а потому выходит из сферы действия или же будет в газообразном состоянии и, улетучиваясь из жидкости, также выходит из сферы действия. Реакция взаимного обмена катионами между двумя солями может быть представлена в общем виде таким уравнением:



где A и A_1 —анионы, а K и K_1 —катионы реагирующих солей.

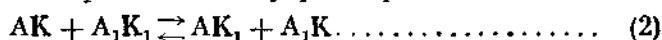
Обменные реакции в почве. Физико-химическая поглотительная способность. В почвенной влаге всегда имеются в растворенном виде различные соли, и когда в эту влагу

попадает какая-либо новая соль, она, конечно, вступает с имеющимися уже там в реакцию обмена; но нас в данном случае интересуют не те реакции взаимного обмена катионами, которые протекают между солями, находящимися в почвенном растворе, а реакции тоже взаимного обмена катионами, но совершающиеся между сложными солями почвы, с одной стороны, и простыми солями, находящимися в растворенном состоянии в почвенной влаге,—с другой.

Дело в том, что реакция взаимного обмена катионами возможна не только между солями, находящимися в растворе, но при известных условиях и между растворенной солью и солью, находящейся в твердом состоянии; для того чтобы такой обмен мог иметь место, необходимо, с одной стороны, чтобы твердая соль была в воде действительно нерастворима (точнее говоря, чтобы наряду с твердой солью она не существовала как таковая в этой же системе в растворе), а с другой стороны, чтобы эта твердая соль была в достаточно мелком раздроблении, чтобы степень ее дисперсности (т. е. раздробленности) совпадала примерно с той степенью раздробленности, которая носит название коллоидальной раздробленности или коллоидального распыления (величина диаметра частичек меньше примерно 0,0001 мм.).

Во всякой почве большая или меньшая часть ее в воде нерастворимых сложных солей (как алюмосиликатных, так и органических) находится в пределах такого коллоидального раздробления и обладает способностью обменивать свои катионы на катионы простых солей, находящихся в почвенной влаге; катионы растворенных солей вступают в эту распыленную твердую часть почвы, а эквивалентное им количество катионов этой части почвы переходит, вытесняется в раствор; при этом те катионы растворенных солей, которые вытесняют катионы из сложных солей, исчезают из раствора, *поглощаются* твердой частью почвы; поэтому это явление обмена катионами между нерастворимыми сложными солями почвы и простыми солями раствора носит название *поглотительной способности* почвы, а в отличие от других видов поглощения твердой фазой почвы веществ из жидкой фазы—*физико-химической поглотительной способностью* почвы.

Почвенный поглощающий комплекс. Та твердая часть почвы, которая поглощает из раствора катионы, носит название *поглощающего почвенного комплекса*; комплексом она называется потому, что состоит не из одного какого-нибудь соединения, а представляет собой очень сложную смесь различных силикатных и органических (гуматных) солей. Ближайший состав этой сложной смеси, представляющей собой поглощающий почвенный комплекс, нам неизвестен, и мы не обладаем еще методами для его исследования. Если мы всю совокупность солей, составляющих этот комплекс, обозначим через АК, где А будет обозначать всю совокупность входящих в комплекс анионов, а К—всю совокупность входящих в него катионов, способных замещаться на катионы солей раствора, а через A_1K_1 обозначим какую-нибудь соль в растворе (например, NaCl), то физико-химическую поглотительную способность почвы можно будет представить тем же уравнением, которое мы дали на странице 303 для обменной реакции между растворенными солями:



Различие между этим уравнением и уравнением на странице только в физическом состоянии солей АК и A_1K_1 ; в реакции, представленной уравнением (1), эти вещества находятся в растворенном состоянии (в мо-

лекулярном и ионном раздроблении), тогда как в почве (уравнение 2) AK и AK_1 —твердые вещества, находящиеся в коллоидальном распылении. Последнее обстоятельство (т. е. твердое состояние) ограничивает реакцию обмена: в ней могут принимать участие не все молекулы твердых частичек поглощающего комплекса почвы, а лишь те, что расположены на поверхности этих частичек; поэтому обмениваться на катионы солей, растворенных в почвенной влаге, могут лишь те катионы твердых частиц почвенного поглощающего комплекса, которые находятся в молекулах, расположенных на поверхности этих частиц. Эти катионы почвенного поглощающего комплекса (т. е. катионы, находящиеся на поверхности частиц почвенного поглощающего комплекса, а потому способные вступать в обмен), в отличие от всех остальных катионов, входящих в состав частиц почвенного поглощающего комплекса, носят название *почвенных поглощенных катионов*.

Затем необходимо иметь в виду, что не только поглощающий комплекс, но и почвенный раствор имеет сложный состав; в нем могут содержаться различные соли, он может быть кисел (содержать свободный водородный ион) или щелочен (свободный гидроксильный ион). Так как нас сейчас интересует обменная реакция в почве и именно то, что может вступать в ее поглощающий комплекс или вытеснять из него, то нам нужно иметь в виду состав катионов почвенного раствора, состав же анионов растворенных солей для нас несуществен. В почвенном растворе мы имеем катионы кальция, магния, натрия, калия и водорода. В различных почвах абсолютные количества этих катионов и соотношение между этими количествами может быть очень различно.

Раз на поглощающий комплекс AK воздействует смесь катионов, то все они будут принимать участие в обменной реакции с поглощенными катионами комплекса, причем участие каждого из них будет пропорционально его энергии поглощения, которая для различных катионов очень различна¹, и его концентрации в растворе. Причем необходимо отметить для понимания последующего, что катион раствора может поглощаться почвой даже при очень ничтожной его концентрации в растворе (конечно, в этом случае абсолютное количество поглощенного почвой катиона будет соответственно ничтожное, но поглощение все-таки будет), но при одном непременном условии, а именно чтобы в растворе ни один из остальных катионов не имел заметно более высокой концентрации. Если же это условие не выполняется, если в той смеси катионов, которые находятся в почвенном растворе, концентрация одного из них (или нескольких) высокая, то для каждого из остальных существует такая величина (соответственно малая) концентрации, ниже которой эти катионы практически уже почвой не поглощаются; эти катионы не могут в этом случае выдержать конкуренции с первым за место в поглощающем комплексе. И обратно: если концентрация одного или нескольких катионов почвенного раствора очень низка, то для каждого из остальных катионов почвенного раствора существует такая величина (соответственно высокая) концентрации, выше которой эти катионы не дают уже возможности первым (практически) вступать в поглощающий комплекс. Поглощение почвенным поглощающим комплексом катионов из почвенного раствора, точно так же как реакция обмена между двумя растворенными солями, является реакцией

¹ При одной и той же концентрации наиболее сильно поглощается почвой, т. е. обладает наибольшей энергией поглощения, водородный ион, затем в убывающем порядке кальций, магний, калий и натрий.

обратимой, так как и в этом случае вытесненный из поглощающего комплекса катион, в свою очередь, будет стараться вытеснить оттуда своего заместителя. Поэтому даже в том случае, когда количество какого-либо катиона в растворе далеко не достаточно, чтобы заменить собою поглощенные катионы почвенного поглощающего комплекса, этот катион все-таки не может быть целиком поглощен из раствора. Та или другая часть его непременно останется в растворе непоглощенной; какая это будет часть от первоначального его количества—это будет зависеть от первоначальной его концентрации в растворе, от соотношения между количеством раствора и количеством почвы, от емкости поглощения почвы¹ и от величины энергии поглощения данного катиона. Полное поглощение в этом случае имело бы место только тогда, когда вытесняемый из комплекса поглощенный катион давал бы с каким-либо анионом почвенного раствора абсолютно нерастворимую соль. Но таковых солей вообще не имеется, а из встречающихся в почвах простых солей наиболее труднорастворимая—углекислый кальций—в почвенных условиях настолько все-таки растворима, что, являясь вторым продуктом обмена (соль A_1K в уравнении 2), далеко не может обусловить полное поглощение. Так, если, например, на чернозем действовать даже очень слабыми растворами нормальной соды (Na_2CO_3) или углекислого калия (K_2CO_3), то полного поглощения натрия (или калия) все-таки не произойдет, так как образующийся при обмене $CaCO_3$ растворяется в довольно сильной степени вследствие присутствия всегда в почвенном воздухе заметных количеств углекислоты. Но все-таки из всех реакций обмена поглощающего почвенного комплекса, содержащего поглощенный кальций, вышеозначенная, т. е. обмен с Na_2CO_3 или K_2CO_3 , протекает наиболее полно.

С другой стороны, если на почву, содержащую известное количество поглощенных катионов, например кальция и магния, воздействовать раствором, например, хлористого натрия в таком количестве, чтобы содержание натрия в растворе даже во много раз превосходило содержание поглощенных катионов во взятой навеске почвы, то полного вытеснения кальция и магния из поглощающего комплекса и полной замены их натрием все-таки не произойдет, опять-таки в силу обратимости этой реакции (обратной реакции вытеснения из почвы поглощенного натрия кальцием и магнием образующихся при этом взаимодействии легкорастворимых солей кальция и магния). Чем выше концентрация взятого раствора хлористого натрия и чем больше его объем, тем полнее будет вытеснение кальция и магния; полное же вытеснение может быть достигнуто лишь многократной обработкой почвы раствором хлористого натрия с удалением после каждой обработки отработавшего раствора хлористого натрия, содержащего хлориды вытесненных кальция и магния, и заменой его чистым раствором $NaCl$.

Мы указывали выше, что даже при очень низком содержании какого-либо катиона в растворе, воздействующем на почву, катион этот может вступать в поглощающий комплекс, вытесняя оттуда соответствующее количество имеющихся там поглощенных катионов, если только другие катионы раствора своей высокой концентрацией не препятствуют этому. Но, действуя на почву таким слабым раствором, можно не только

¹ Под емкостью поглощения почвы понимается общее количество поглощенных в ней катионов на 100 г почвы, выраженных, например, в миллиэквивалентах (количество каждого поглощенного катиона в 100 г почвы делится на эквивалент катиона и помножается на 1 000 и полученные таким образом данные для всех поглощенных катионов складываются вместе).

ввести в поглощающий комплекс небольшое количество данного катиона, но и полностью насытить почву этим катионом, как бы высока ни была емкость поглощения взятой почвы. Для этого необходимо, только совершенно так же как и при высоких концентрациях воздействующего раствора, таким раствором слабой концентрации многократно обрабатывать почву с удалением после каждой обработки прежнего раствора и с заменой его новым. При каждой такой обработке катион раствора будет вытеснять, заменяя собой из почвенного поглощающего комплекса небольшие количества имеющихся там поглощенных катионов; но если число таких обработок будет достаточно велико, то и таким слабым раствором соли данного катиона можно будет полностью заместить этим катионом поглощенные катионы поглощающего комплекса почвы, т. е. можно получить почву, «насыщенную» этим катионом.

ПОЧВЕННЫЕ ПОГЛОЩЕННЫЕ КАТИОНЫ

К а л ь ц и й, м а г н и й, в о д о р о д и н а т р и й. Вследствие способности почвенных поглощенных катионов обмениваться на катионы почвенного раствора состав как качественный, так и количественный поглощенных катионов всякой почвы находится в теснейшей зависимости от состава катионов почвенного раствора; всякое изменение в составе последних тотчас же вызывает соответствующее изменение состава поглощенных катионов. Из многочисленного количества существующих катионов во всех материнских горных породах и почвах встречаются следующие 7: водород, натрий, калий, магний, кальций, алюминий, железо. Из них в поглощенном состоянии калий, алюминий и железо встречаются лишь в исключительных случаях.

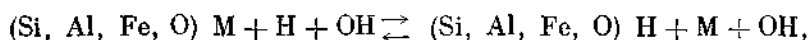
Обычными же поглощенными катионами в почвах являются кальций, магний, водород и натрий (в порядке убывающей распространенности). Из означенных четырех катионов особенно широко распространены в почвах кальций и магний. Эти два катиона встречаются в поглощающем комплексе почв всех почвенных зон, причем в почвах центральной части черноземной зоны поглощенные катионы представлены исключительно ими; в почвенных зонах к северу и югу отсюда к ним прибавляются остальные катионы: в почвах подзолистой и латеритной зоны—водородный катион, а в почвах полупустыни—ион натрия; но и в этих зонах только в исключительных случаях водородный ион или ион натрия целиком насыщают поглощающий комплекс; почти всегда и в этих почвах в поглощающем комплексе имеются в том или другом количестве поглощенные кальций и магний. Оба эти катиона, и кальций и магний, как поглощенные катионы, занимают по своей распространенности в почвах земного шара первое место среди поглощенных катионов; но в количественном отношении, по процентному содержанию их в почве, они сильно различаются между собой: как обычное правило, насколько исследование поглощающего комплекса охватило уже различные почвы, поглощенный кальций значительно преобладает над поглощенным магнием. Такой состав и характер распространения поглощенных ионов в почвах обуславливается, с одной стороны, качественным и количественным составом почвенного раствора, а с другой стороны, тем взаимоотношением, какое проявляется между почвенным раствором и почвенным поглощающим комплексом.

Ж е л е з о и а л ю м и н и й. Поглощенных железа и алюминия в почвах мы не имеем, исключая особые случаи, несмотря на то что этих

элементов почвы содержат большие количества. Это потому, что когда они являются основными элементами, они обычно дают соединения не молекулярно, а коллоидально растворимые (например, гидраты окисей); в почвенной влаге поэтому нет или почти нет ионов железа и алюминия, что подтверждается, между прочим, данными анализа вытяжек: почти из всех почв водная вытяжка извлекает железа и алюминия лишь трудно-уловимые следы и во всяком случае во много раз меньше, чем остальных катионов в сумме.

РАЗРУШЕНИЕ ВОДОЙ СЛОЖНЫХ СОЛЕЙ ПОЧВЫ И ЗАЩИТНАЯ РОЛЬ ПРОСТЫХ СОЛЕЙ

Теперь мы можем подробнее остановиться на чрезвычайно существенном в почвоведении вопросе о процессе разрушения водой сложных солей почвы; процесс этот, если он протекает в почве, приводит к разрушению ее, к деградации. Если мы представим себе действие совершенно чистой воды, не содержащей каких-либо примесей, на какой-либо сложный силикат (например, алюмоферрисиликат), который мы изобразим схематической формулой $(\text{Si, Al, Fe, O}) \text{ M}$, где (Si, Al, Fe, O) —комплексный анион этого силиката, содержащий кремний, алюминий, железо и кислород, а M —какой-нибудь катион (например, Ca, Mg, Na и т. п.) и примем во внимание, что вода хотя и в очень слабой степени, но все-таки диссоциирована на ионы H и OH , то взаимодействие между силикатом и ионами воды можно представить таким уравнением:



т. е. в силу физико-химической поглотительной способности твердые достаточно мелко раздробленные частички почвенных сложных солей в данном случае, т. е. когда в воде нет посторонних примесей, будут обменивать свои основания (катионы) на свободный водородный ион воды. Так как содержание свободного водородного иона в воде крайне ничтожно (при 22°C в литре воды содержится одна десятиллионная грамма H), то означенная реакция обмена будет протекать крайне слабо; но она все-таки будет идти; и если все новые и новые количества воды будут в продолжение многих веков действовать на взятый силикат (а таковое условие именно осуществляется в почвах), то в конце концов в молекулах, лежащих на поверхности силиката, та или другая часть оснований будет заменена водородным ионом; получатся молекулы не солей, а соответствующих алюмоферрисиликатных кислот. Описанный выше процесс представляет 1-ю стадию разрушения водой силиката, *предварительную стадию разрушения*. Исследования показывают, что комплексный алюмосиликатный и алюмоферрисиликатный анион, являясь устойчивым в отношении воды, когда он связан с основанием, теряет эту устойчивость, когда основание замещено водородом, т. е. когда вода действует на его молекулы, находящиеся не в виде соли, а в виде свободной кислоты. В этом состоянии вода постепенно отщепляет от этого комплексного аниона кремний, алюминий и железо в виде гидратов их окисей: *силикат разрушается водой*. Это будет 2-й стадией разрушения сложной соли почвы, приводящей к образованию в почве свободных окислов кремния, алюминия и железа.

Из приведенного уравнения замещения основания силиката водородным ионом воды совершенно ясно, что течение реакции слева направо будет усиливаться, с одной стороны, с удалением MOH —гидрата окиси,

вытесненного из силиката катиона, а с другой стороны, с повышением концентрации водородного иона в воздействующей воде. И то и другое имеет место в почвах: почвенный раствор все время передвигается, а поэтому и образующийся гидрат окиси металла М, или его углесоль (следствие постоянного присутствия углекислоты в почвенном воздухе и в почвенной влаге), или сульфат, хлорид, нитрат его, уносятся из места возникновения; с другой стороны, в почвенном растворе концентрация водородного иона часто бывает значительно выше, чем в чистой воде, вследствие присутствия в нем растворенной углекислоты и различных органических кислот; встречаются почвы, в верхних горизонтах которых рН менее 4, т. е. в литре их почвенного раствора содержится свободного водородного иона больше одной десяти тысячной грамма; при таком содержании этого иона вытесняющее его действие будет уже очень сильное.

Но то же уравнение замещения основания силиката водородным ионом почвенного раствора показывает, что присутствие в воде, воздействующей на силикат, какого-либо другого катиона будет понижать вытеснительную способность водородного иона воды, а при достаточно высокой концентрации этого другого катиона вытеснение водородом основания из силиката, а значит, и вступление водородного иона в силикат прекратится. А так как в почвах, насыщенных основаниями, т. е. в таких, в поглощающий комплекс которых водородный ион еще не вступил, в которых поэтому еще не начался процесс распада поглощающего комплекса — концентрация водородного иона в почвенном растворе крайне низка, то уже очень небольшие количества металлических катионов, иначе говоря, простых солей в почвенной влаге не дают водородному иону раствора вступать в поглощающий комплекс почвы и вызывать этим разрушение сложных солей, составляющих этот комплекс. Присутствие в почве даже только самых трудно растворимых простых солей, т. е. CaCO_3 и MgCO_3 , уже достаточно для того, чтобы процесс разрушения не мог иметь места, так как и эти труднорастворимые соли растворяются в почвенной влаге, содержащей углекислоту, настолько, что получающаяся концентрация ионов кальция и магния в почвенном растворе во много раз превосходит концентрации в нем свободного водородного иона. Таким образом, *присутствие в почвенном растворе даже сравнительно очень небольших количеств растворенных простых солей защищает почвенный поглощающий комплекс от разрушения его водой.*

ОСОБОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ СРЕДИ ДРУГИХ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ

Особое положение кальция (и отчасти магния) как поглощенного катиона объясняется тем, что среди всех остальных почвенных катионов только он и магний дают труднорастворимые соли (углекислые); к тому же он обладает очень высокой энергией поглощения. Когда легко растворимые соли других катионов, имевшиеся первоначально в материнских породах или уже образующиеся в процессе их выветривания и почвообразования, удалены уже из почвы атмосферными осадками и не могут в ней накапливаться в сколько-нибудь заметных количествах, кальций (а отчасти магний) может еще продолжительное время оставаться в почве в виде труднорастворимого углекислого кальция, дающего, однако, при переходе в двууглекислый достаточное количество в почвенном растворе иона кальция и для того, чтобы препятствовать вступлению в поглощающий комплекс других каких-либо катионов, и для того, чтобы постепенно

вытеснять из поглощающего комплекса другие поглощенные катионы, если таковые там имеются.

Стадия насыщенности поглощающего комплекса кальцием и магнием. Таким образом, раз только условия увлажнения почвы таковы, что они приводят к удалению из почвенных горизонтов легкорастворимых солей на достаточную глубину и не позволяют этим солям, продолжающим образовываться в процессе почвообразования, скопиться в сколько-нибудь заметных количествах в верхних горизонтах, а вместе с тем не позволяют легкорастворимым солям подниматься в эти горизонты, всегда рано или поздно в таких почвах мы будем иметь стадию поглощающего комплекса, насыщенного кальцием и магнием. В природе мы встречаем как почвы, достигнувшие уже этой стадии (несолонцеватые черноземы), так и почвы, переживающие еще переходную стадию; типичным примером последних могут служить карбонатные солонцы и солонцеватые почвы черноземной зоны (например, приднепровского ледникового языка), которые в настоящее время содержат в поглощающем комплексе, кроме кальция и магния, еще в том или другом количестве поглощенный натрий, который, однако, вследствие содержания в этих почвах углекислого кальция (и магния), с одной стороны, и отсутствия в них уже растворимых солей натрия, с другой стороны, постепенно вытесняется и заменяется на кальций (и магний).

Устойчивость стадии насыщенности поглощающего комплекса кальцием и магнием и переход ее в другие стадии. Почвы со стадией поглощающего комплекса, насыщенного только кальцием и магнием, представляют собою особый интерес для сельского хозяйства, так как такое состояние поглощающего комплекса, как мы увидим ниже, наиболее благоприятно для сельскохозяйственной культуры. Поэтому чрезвычайно интересным является вопрос о степени устойчивости этой стадии поглощающего комплекса. К разрешению этого вопроса мы можем подходить пока лишь чисто теоретическим путем. Здесь можно высказать следующие соображения.

Во-первых, имеются такие почвы, которые или вовсе не пережили стадии поглощающего комплекса, полностью насыщенного кальцием и магнием (это такие почвы, почвообразовательный процесс которых начался на материнских породах, уже ненасыщенных основаниями), или же эта стадия была у них, но сравнительно кратковременно, и в настоящее время их поглощающий комплекс находится уже в следующей стадии своей эволюции; мы имеем в виду зональные почвы подзолистой зоны и латеритные почвы; здесь условия увлажнения таковы, что не только легкорастворимые простые соли вымылись почти нацело, но то же имело место и в отношении труднорастворимых углесолей кальция и магния; последние удалены из почвенной толщи уже настолько глубоко, что растворы их не могут воздействовать на почвенные слои. Кроме того, они здесь не могут в качестве продуктов почвообразования и накапливаться в сколько-нибудь заметных количествах. Это, во-первых, потому что промывание этих почв идет усиленное, во-вторых потому, что все меньше и меньше остается в почве силикатного кальция (и магния) для образования углекислых солей, а тот, который остается еще, становится все меньше и меньше доступным (в смысле его извлечения из силикатной части и образования углекислой соли) выветриванию. Видную роль тут играет также быстрое разложение больших количеств органических остатков, имеющее место в этих зонах, так как образующиеся при этом органические кислоты и углекислота способствуют вымыванию кальция. При таких условиях

почвообразования (т. е. в отсутствие углекислого кальция и магния) водородный ион почвенного раствора (т. е. самой воды и содержащихся в ней растворенных органических кислот и углекислоты), несмотря на сравнительно ничтожное содержание его, оказывается способным вступать в поглощающий комплекс почвы, постепенно заменяя собой там кальций и магний. Получается поглощающий комплекс, содержащий в том или другом количестве поглощенный водород; такой состав поглощенных катионов переводит сам комплекс из состояния устойчивого (когда он насыщен только кальцием и магнием) в состояние неустойчивое (когда, кроме кальция и магния, в нем имеется водород в поглощенном состоянии). А в этих условиях, как мы видели выше, сложные, в воде нерастворимые силикатные (цеолитная часть почвы) и органические (гуматная часть почвы) соли, из которых состоит поглощающий почвенный комплекс, начинают разрушаться, распадаться на более простые составные части.

Во-вторых, существуют почвы, которые еще сравнительно недавно имели несомненно поглощающий комплекс в стадии полной насыщенности кальцием и магнием. В настоящее же время в них уже совершается процесс вытеснения кальция и магния из поглощающего комплекса и замена их водородным ионом и происходит вызываемое этой заменой разрушение самого поглощающего комплекса; это деградированные черноземы (черноземы лесостепи или северные черноземы) и оподзоленные почвы, образовавшиеся из перегнойно-карбонатных почв подзолистозной зоны. Раз начавшись, процесс этот должен протекать и в дальнейшем (если только условия увлажнения этих почв не изменятся в сторону большей сухости), постепенно усиливая степень деградации и оподзоленности этих почв.

В-третьих, имеются почвы, хотя и находящиеся теперь еще в стадии поглощающего комплекса, насыщенного полностью кальцием и магнием, но относительно которых с несомненностью можно утверждать, что эта стадия лишь временная. Направление процесса почвообразования в них при современном климате таково, что рано или поздно почвы эти должны перейти в стадию поглощающего комплекса, не полностью насыщенного кальцием и магнием; рано или поздно в поглощающий комплекс этих почв получит доступ водородный ион, который постепенно будет вытеснять из этих почв поглощенный кальций и магний и вызывать своим вступлением в поглощающий комплекс его разрушение. К этим почвам относятся черноземного типа интразональные почвы подзолистозной зоны, так называемые перегнойно-карбонатные почвы или рендзины, и еще не начавшие деградировать выщелоченные черноземы. В настоящее время вступлению водородного иона в поглощающий комплекс этих почв препятствуют содержащиеся в них еще на достаточной высоте углесоли кальция и магния, когда же соли эти будут вымыты так глубоко, что они не смогут уже защищать поглощающий комплекс верхних горизонтов от вступления в него водородного иона, что рано или поздно должно непременно случиться, если только климатические условия не изменятся, поглощающий комплекс этих почв начнет разрушаться и почвы станут оподзоливаться.

Черноземы, лежащие южнее выщелоченного чернозема, в настоящее время не только находятся в стадии поглощающего комплекса, целиком насыщенного кальцием и магнием, но к тому же они еще и не подготовлены, подобно выщелоченному чернозему, к изменению этой стадии, к переходу в черноземы, ненасыщенные основаниями. Если оставить в стороне подзону южного чернозема, являющуюся переходной к засушливой зоне, почвы которой имеют уже иной состав поглощенных катионов, то именно

в отношении почв двух остальных черноземных подзон, подзоны тучного и подзоны обыкновенного чернозема, поглощающий комплекс которых в настоящее время насыщен только кальцием и магнием и у которых вместе с тем углесоли щелочноземельных металлов так близки от поверхности, что защищают эти почвы от вступления в них поглощенного водорода, может быть поставлен вопрос: что это, состояние их поглощающего комплекса, состояние полной насыщенности лишь кальцием и магнием, будет ли оно сохраняться все время, пока условия увлажнения остаются такими, как теперь, или же это также лишь временная стадия, которая рано или поздно должна смениться стадией поглощающего комплекса, ненасыщенного основаниями, даже без изменения климатических условий в сторону большего увлажнения? Для ответа на этот вопрос не имеется достаточных данных. Вопрос сводится в конце концов к тому, понижается ли в этих подзонах горизонт вскипания, и если да, то на какую предельную глубину он может понизиться и смогут ли карбонаты кальция и магния, вымытые на эту глубину, продолжать защищать всю вышележащую толщу почвы от проникновения водородного иона в ее поглощающий комплекс. Для решения этих вопросов необходимо изучить водный режим почв этих подзон. Но во всяком случае в каком бы направлении вопрос этот ни разрешился, в настоящее время в подзонах тучного и обыкновенного чернозема мы имеем наиболее устойчивую стадию почвенного поглощающего комплекса, насыщенного исключительно кальцием и магнием.

Мы выше видели, что если почва не содержит легкорастворимых простых солей, то наибольшая устойчивость стадии насыщенности почвенного поглощающего комплекса исключительно только кальцием и магнием имеет место тогда, когда почва содержит с самой поверхности или достаточно близко к поверхности труднорастворимые углекислые соли кальция и магния. При этих условиях благодаря некоторой растворимости углекислого кальция и углекислого магния в почвенном растворе ни один из других катионов почвенного раствора, а в том числе и водородный ион, не может вступать в поглощающий комплекс и вытеснять оттуда кальций и магний. Таким образом, при климатических условиях, не позволяющих накапливаться в почве *в сколько-нибудь заметном количестве простым легкорастворимым солям*, присутствие в почве углесолей кальция и магния является необходимым и достаточным условием устойчивости стадии насыщенности почвенного поглощающего комплекса только кальцием и магнием. Раз это условие не выполняется, что имеет место для почв с более влажным климатом, нежели климат полосы тучного чернозема, эта стадия поглощающего комплекса сменяется стадией ненасыщенности его основаниями, т. е. стадией поглощающего комплекса с поглощенным водородным ионом.

Но если климатические условия таковы, что в почве накапливаются легкорастворимые простые соли иных катионов, нежели кальций и магний, то уже при сравнительно невысоком их содержании углесоли кальция и магния не могут защищать поглощающий почвенный комплекс от вхождения в него катионов этих простых солей. Такие условия осуществляют в почвенных зонах с более засушливым климатом, чем климат черноземной зоны, а также спорадически среди почв черноземной зоны вследствие особых местных причин. К таким почвам принадлежат натриевые и натриево-кальциевые солончаки и образующиеся из них солонцы, к рассмотрению которых мы и перейдем.

СОЛОНЧАКИ, ИХ ЭВОЛЮЦИЯ И МЕЛИОРАЦИЯ

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СОЛОНЧАКОВ

В известных условиях климата, рельефа и дренирования те простые легкорастворимые соли, которые существовали в материнских породах (например, в отложениях Арало-Каспийского моря), которые образовались после в самом процессе почвообразования и которые приносились в данное место со стороны (например, боковыми подтеками почвенных вод или снизу из более глубоких горизонтов поднятием вверх засоленных грунтовых вод), должны были скопляться в почвенных горизонтах, вызывая образование «засоленных», или солончаковых почв различной степени засоления. В климате, где величина испарения превосходит выпадающее количество атмосферных осадков, для образования сильнозасоленных почв, солончаков, нет необходимости, чтобы материнская порода или притекающие сюда воды были особенно богаты растворенными солями; даже очень слабо засоленные воды, постепенно поднимаясь кверху и усиленно испаряясь с поверхности, будут оставлять тут свои соли, количество которых может в конце концов достичь в поверхностных слоях почвы значительных размеров.

Катионы в почвенном растворе солончаков. В числе простых легко- и среднерастворимых солей, засоляющих почвы, встречаются хлориды и сульфаты различных катионов. Поэтому и солончаки по характеру засоления их солями могут быть разделены на хлоридные, сульфатные и смешанные. В вопросах взаимодействия между почвой и почвенными растворами главнейший интерес представляет, как мы видели, состав катионов почвенного раствора.

Только два катиона встречаются в больших количествах в почвенном растворе засоленных почв. Это, во-первых, катион натрия как результат растворения засоляющих почву хлоридов и сульфатов натрия; встречаются солончаки, где содержание этого катиона в водных вытяжках достигает пелых чисел процента, а в солевых корках и десятков процента. Во-вторых, катион кальция как результат растворения содержащегося в засоленной почве хлористого, сернокислого и углекислого кальция. Но в почвенном растворе содержание катиона кальция не может достигать тех величин, как содержание катиона натрия, так как из указанных солей кальция только хлористый кальций легкорастворим, а в солончаках его обычно мало. Остальные же две соли—сернокислый кальций и углекислый—могут встречаться в почвах в очень больших количествах, но растворимость гипса сравнительно небольшая—максимум 2,5 г на литр воды (содержание иона кальция в этом случае соответствует 0,58 г в литре): а в почвах, содержащих сернокислый натрий, растворимость гипса еще меньше, так как Na_2SO_4 , как соль легкорастворимая, понижает растворимость более трудно растворимых солей, имеющих с ней общий анион SO_4 ; во всяком случае растворимость гипса еще настолько велика, что почвы, почвенные растворы которых далеко еще не насыщены им, а тем более насыщены им, должны быть отнесены к почвам засоленным. Что касается углекислого кальция, то растворимость его настолько ничтожна, что в почвенном растворе эта соль может давать лишь ничтожные количества иона кальция; и потому, если понятие «засоление» почвы применять к таким почвам, почвенные растворы которых обогащены солями, то, очевидно, ни углекислый кальций, ни углекислый магний нельзя причислять к солям, засоляющим почву.

Что касается других катионов почвенного раствора, то магний встречается иногда в заметных количествах, но вместе с натрием, или с кальцием, или с тем и другим, и в количественном отношении он играет второстепенную роль; в отношении же действия на почвенный поглощающий комплекс он очень близок к кальцию, поэтому в дальнейшем мы на нем в отдельности останавливаться не будем. Далее содержащийся в больших количествах в твердой фазе почвы металл калий в более или менее значительных количествах в почвенном растворе до сих пор не обнаружен; очевидно, если растворимые соли калия и засоляют почву, то лишь в особых, исключительных случаях, а кроме того, роль его в почвенном поглощающем комплексе должна быть очень схожа с ролью натрия; поэтому на нем мы также в дальнейшем останавливаться не будем.

Солончаки натриевые, кальциевые и смешанные. Таким образом, почва может быть засолена солями катиона натрия, или катиона кальция, или того и другого вместе. И с этой точки зрения мы будем различать *солончаки натриевые*, засоленные солями натрия хлористого или сернокислого или хлористого и сернокислого, *солончаки кальциевые*, засоленные сернокислым и хлористым кальцием и *солончаки смешанные*, содержащие и натриевые и кальциевые соли. В группе солончаков натриевых нам необходимо различать солончаки, не содержащие и содержащие («карбонатные» солончаки) углекислый кальций (и магний).

Поглощенные катионы в солончаках. Каково бы ни было происхождение легкорастворимых солей в солончаках, но раз только в почве имеются растворимые соли натрия, безразлично хлористые или сернокислые, на основании вышеизложенного мы должны прийти к заключению, что в поглощающем комплексе такой почвы непременно должен содержаться натрий в поглощенном состоянии, если только концентрация в почвенном растворе какого-либо другого катиона не будет слишком высока относительно концентрации катиона натрия; таким другим катионом, как, мы видели, может быть только кальций. Таким образом, все почвы, засоленные только натриевыми солями, непременно будут содержать в своем поглощающем комплексе поглощенный натрий; в зависимости от степени засоления почвы натриевыми солями и от самого характера процесса засоления состав поглощенных катионов в натриевых солончаках может колебаться в широких пределах; встречаются засоленные натриевыми солями почвы, поглощенные катионы которых состоят главным образом из кальция и магния с небольшой лишь примесью натрия; с другой стороны, встречаются солончаки с обратным составом поглощенных катионов, т. е. поглощающий комплекс которых почти насыщен одним лишь натрием, а поглощенных кальция и магния в нем лишь следы; затем могут встречаться все переходы между этими двумя крайними случаями.

Поглощенный натрий в солончаках. Мы указывали выше, что почву можно полностью насытить натрием, вытеснить целиком другие ее поглощенные катионы и заменить их натрием, обрабатывая почву многократно растворами NaCl или Na_2SO_4 даже сравнительно очень слабой концентрации, но при условии удаления образующихся хлоридов или сульфатов вытесняемых катионов. Если последнее условие имеет место в природе, то в почвах, засоляющихся даже небольшими количествами натриевых солей, при отсутствии растворимых кальциевых солей может образоваться поглощающий комплекс с большим относительно содержанием поглощенного натрия. Легко видеть, что в природных условиях действительно может происходить удаление из почвы про-

дуктов обмена натриевых солей с почвенным поглощающим комплексом. Для примера рассмотрим два случая.

1. Грунтовые воды слабо засолены NaCl , практически не содержат солей кальция и в засушливую погоду могут капиллярно подниматься до самой поверхности почвы. В этих условиях слои почвы, лежащие выше уровня грунтовых вод, в сухую погоду будут промываться все новыми и новыми, но слабыми растворами хлористого натрия, а получающиеся обменом хлориды кальция и магния будут подниматься с водами к поверхности почвы и откладываться здесь в самом поверхностном слое ее. Горизонты почвы, лежащие ниже этого самого верхнего слоя, будут в конце концов сильно обогащены поглощенным натрием, а верхний слой, содержащий, кроме натриевых солей, скопившиеся здесь поднятием хлористый кальций и магний, будет, конечно, менее богат поглощенным натрием. Содержание его здесь будет соответствовать высоте концентрации катиона натрия в почвенном растворе этого слоя и соотношению между ней и концентрациями катионов кальция и магния. В рассмотренном случае испарение с поверхности капиллярно-поднимающихся грунтовых вод служит одним из возможных приемов удаления отработавших растворов, содержащих продукты обмена.

2. Допустим теперь, что в данной местности вследствие уклона совершается медленное боковое движение грунтовых и почвенных вод, слабо засоленных натриевыми солями и практически не содержащих кальциевых и магниевых солей. Очевидно, и в этом случае продукты обмена поглощенных катионов почвы на натрий этих вод, мешающие дальнейшему вступлению натрия в поглощающий комплекс, будут уноситься из места их возникновения вниз по рельефу, и почва в данном месте будет все время промываться все новыми и новыми растворами натриевых солей, не содержащими вредных для реакции обмена катионов кальция и магния.

Влияние кальциевых солей солончака на содержание в нем поглощенного натрия. В солончаках, засоленных и натриевыми и кальциевыми солями, поглощающий комплекс будет всегда беднее поглощенным натрием по сравнению с тем, что было бы, если бы при всех прочих равных условиях почва не содержала кальциевых солей. Присутствие катиона кальция в почвенном растворе должно уменьшать поглощение натрия почвой; к тому же катион кальция обладает значительно большей энергией поглощения, нежели катион натрия. Поэтому, как мы указывали в общей части, когда в растворе отношение концентрации Ca к концентрации Na высокое, а концентрация Na малая, то натрий-ион практически не может вступать в поглощающий комплекс и такие солончаки в своем поглощающем комплексе не будут содержать поглощенный натрий. С другой стороны, приходится принимать во внимание сравнительно малую растворимость гипса, главной кальциевой соли, засоляющей почвы; почва может содержать громадные количества гипса, десятки процентов, а в почвенном растворе ее не может быть больше 0,25% его или 0,058% Ca , между тем как при достаточном количестве NaCl в почве в почвенном растворе такой почвы может быть до 35% NaCl и 13,9% Na . Ясно поэтому, что кальциево-натриевые солончаки, содержащие много солей натрия, даже при громадном содержании гипса все-таки будут содержать в свежем поглощающем комплексе значительные количества поглощенного натрия. Конечно, чистые кальциевые солончаки, как лишенные натриевых солей, не могут содержать и поглощенного натрия; их поглощающий комплекс будет насыщен кальцием, может быть с небольшой примесью магния.

ЭВОЛЮЦИЯ СОЛОНЧАКОВ

Эволюция натриевых солончаков. Предположим теперь, что где-либо нормальная, незасоленная почва, например чернозем, вследствие каких-либо местных причин или искусственным путем стала засаливаться натриевой солью (например, хлористым натрием), вместо нормального чернозема получится засоленный чернозем, или черноземный солончак.

Допустим далее, что такой черноземный солончак естественно или искусственно начнет рассолиться, что содержащиеся в нем растворимые соли будут вымываться; после удаления этих солей получится незасоленная черноземная почва, но не прежний первоначальный чернозем. Пребывание, даже самое кратковременное, в почве растворимых натриевых солей, как мы видели выше, существенно изменяет состав твердой фазы почвы, в поглощающем комплексе ее появляется поглощенный натрий; и в то время как удалить из почвы растворимые соли можно легко и быстро промыванием почвы водой, вымыть из поглощающего комплекса его поглощенные катионы и в том числе поглощенный натрий—дело несоизмеримо более трудное; можно считать без осязательной для наших методов исследования ошибки, что промывка почвы водой, достаточная для полного удаления засоряющих почвы хлористых солей, практически вовсе не вынесет из почвы натрия, находящегося там в поглощенном состоянии. Таким образом, наша почва после полного ее рассоления перестанет, конечно, быть солончаком, но вместе с тем не возвратится в свое прежнее состояние; это будет не тот первоначальный чернозем, который существовал до засоления, так как в поглощающем комплексе первоначального чернозема имелись только поглощенные катионы кальция и магния, теперь же к ним прибавился в том или другом количестве еще натрий. Образовалась новая почва, отличная от прежней, носящая название солонца, в данном случае черноземного солонца. Если бы первоначальной незасоленной почвой была оподзоленная почва и она прошла бы через стадию искусственного засоления хлористым натрием (естественное засоление подзолистой почвы трудно себе представить), а затем рассолилась, то возник бы также солонец, но подзолистый.

Итак, солонцом, или солонцеватой почвой, называется почва, содержащая в своем поглощающем комплексе поглощенный натрий, но не содержащая вместе с тем заметных количеств растворимых солей,—это почва незасоленная. Этим солонец отличается от натриевых солончаков, почв, содержащих также поглощенный натрий, но вместе с тем засоленных растворимыми солями. От всех других типов почв солонец отличается присутствием поглощенного натрия. Этот поглощенный натрий в солонце мог появиться только вследствие воздействия на почву простых солей натрия; поэтому всякий солонец был когда-то в той или другой степени засоленной почвой, солончаком; иными словами, стадии солонца предшествовала стадия солончака, и всякая почва, засоленная натриевыми растворимыми солями, каждый натриевый солончак после рассоления превращается в солонец.

Выше указывалось, что почва может сильно обогатиться поглощенным натрием не только при сильном засолении ее солями натрия, но и при сравнительно слабом засолении ими почвенного раствора, если только почва промывается все новыми растворами этих солей. Поэтому и солонцы, даже очень богатые поглощенным натрием, могут возникнуть из сравнительно слабосолончаковых почв, если в них выполняется указанное условие. Так как такие солончаки содержат мало легкорастворимых солей, то

рассоление их с переходом в солонцы требует лишь небольшого сравнительно промывания их атмосферными осадками.

Эволюция смешанных (натриево-кальциевых) солончаков. Когда солончак содержит и соли натрия и гипс, то, как мы видели выше, даже при сравнительно небольших количествах натриевых солей, он будет вследствие малой растворимости гипса содержать поглощенный натрий, но после полного рассоления такая почва даже при высоком содержании поглощенного натрия не всегда даст солонец, а может перейти в почву нормальную, содержащую только поглощенные кальций и магний. Это опять-таки находится в связи с малой растворимостью гипса и зависит от его абсолютного содержания в почве. Допустим, что солончак очень богат хлористым натрием, а потому и поглощенным натрием, и что он, кроме того, содержит много гипса; если такая почва будет рассоляться промыванием ее, то хлористый натрий, как сильно растворимая соль, будет вымыт раньше гипса; после того как хлористый натрий будет уже вымыт, следующие промывающие воды будут содержать в своем растворе лишь сернокислый кальций; кальций этих вод будет постепенно вытеснить из почвы поглощенный натрий, и при достаточном количестве гипса в почве может получиться почва, совершенно не содержащая поглощенного натрия, т. е. несолонцеватая.

Таким образом, гипс, если его в почве достаточное количество, предохраняет рассоляющийся натриевый солончак от перехода его в солонец. Углекислый кальций такой роли играть не может—для этого он слишком мало растворим; если натриевый солончак, содержащий даже очень много углекислого кальция, промывать до удаления растворимых солей, то он даст карбонатный солонец, так как то количество воды, которое будет достаточно для промывания из почвы всего количества растворимых натриевых солей, растворит лишь ничтожные количества углекислого кальция, концентрация иона кальция в этих водах будет ничтожна, и потому кальций этих вод сможет вытеснить из почвы лишь очень небольшие количества поглощенного натрия, притом и такое незначительное вытеснение будет происходить лишь при самом конце промывания, когда концентрация натриевых солей будет уже очень низкой.

Эволюция кальциевых солончаков. Если солончак кальциевый, т. е. засолен только солями кальция, то после рассоления он, конечно, не даст солонца; поэтому чернозем, засолившийся солями кальция после рассоления, превратится опять в тот же чернозем; отличаться от первоначальной почвы он может лишь тем, что из него при рассолении будут вытеснены и замещены кальцием и те небольшие количества поглощенного магния, какие чернозем обычно содержит: первоначальный чернозем был почти насыщен кальцием, а после рассоления черноземного кальциевого солончака получится в крайнем случае чернозем, насыщенный исключительно одним кальцием. Других изменений в составе поглощенных катионов при рассолении кальциевых солончаков быть не может.

РОЛЬ СОДЫ В ОБРАЗОВАНИИ СОЛОНЦОВ

Нам не раз приходилось указывать, что в образовании солонцов могут принимать участие все могущие быть в почве легкорастворимые простые соли натрия и в том числе, конечно, и сода; натрий всех этих солей может быть источником поглощенного натрия. Целый ряд данных последних лет показывает, что процесс рассолонцевания солонцов (осоло-

дение) имел очень широкое распространение в природе и что многие современные несолонцовые почвы возникли этим путем из некогда бывших солонцов, конечно, этот процесс рассолонцевания продолжается и в настоящее время. Так как рассолонцевание сопровождается образованием соды и весь поглощенный натрий рассолонцованных почв переходит при этом в соду, то этим путем должны были образоваться колоссальные количества этой соли. Куда эта сода девалась? Часть ее должна быть унесена в моря и океаны. Какая часть, сказать, конечно, невозможно; но ввиду того что в почве и грунтах подвижность легкорастворимых щелочных карбонатов, о чем мы скажем ниже, значительно меньшая, чем хлоридов и сульфатов натрия, можно думать, что из земной коры сода уносится в водные бассейны процентно слабее, нежели хлориды и сульфаты. Таким образом, значительная часть соды, получившейся при рассолонцевании солонцов, осталась в почве и грунтах, и, конечно, ее натрий должен был вступать в поглощающий комплекс несолонцеватых почв и грунтов и вызывать их осолонцевание. Ясно, что солонцы могли возникнуть действием на несолонцеватые почвы и хлористого и сернокислого натрия с одной стороны, и углекислого натрия, с другой стороны (и, конечно, также и при их совместном действии). Но образование солонца под влиянием воздействия соды на почву носит несколько иной характер, имеет свои отличительные черты по сравнению с образованием солонцов из натриевых солей иных анионов, нежели CO_3 , и, кроме того, имеет не такое общее, а более узкое, местное значение. Мы здесь остановимся подробнее на отличительных чертах такого способа получения почвами поглощенного натрия.

Первое отличие этих двух процессов образования почв, содержащих поглощенный натрий, состоит в том, что хлористый и сернокислый натрий могут быть в почве в очень больших количествах и концентрация их в почвенных водах может быть очень высока; сода же, как общее правило, имеется в почвах в сравнительно очень ничтожных количествах (едва ли концентрация ее в почвенном растворе самых злостных солонцов может превосходить 0,01 норм.). Мы знаем случаи скопления соды в очень небольших количествах в солевых корках как результат поднятия и сконцентрирования здесь той соды, которая в солонцах образуется обычным способом в каждый момент в ничтожных дозах, а также вследствие высыхания озер и болот, образовавшихся на солонцах; других случаев и способов скопления заметных количеств соды, кажется, неизвестно.

Затем образование соды в почве и материнских породах мы можем себе мыслить лишь двумя путями.

Во-первых, сода могла возникать как продукт выветривания нормальных (т. е. несолонцеватых) почв и материнских пород. Мы знаем, что все почвы, кроме солонцеватых и натриевых солончаков, не содержат поглощенного натрия, т. е. на поверхности частиц их поглощающего комплекса нет молекул, содержащих натрий; но несомненно, те частички этого комплекса, которые возникали в процессе выветривания путем распыления более крупных, должны были содержать при своем образовании на своей поверхности и натрий; значит, он отсюда был вытеснен другими катионами; конечно, не весь этот вытесняемый натрий давал непременно соду; все горные породы, почвы и атмосферные осадки всегда, как известно, содержат хотя бы ничтожные следы анионов хлора и серной кислоты; и так как вытесняемого натрия при рассматриваемом здесь процессе возникновения поглощающего комплекса в каждый данный момент могли быть лишь самые ничтожные следы, то во всяком случае заметная

часть этого натрия давала хлориды и сульфаты, но вместе с тем нет никаких оснований отрицать возможность, если не во всех случаях, то при некоторых условиях, образования этим вытесняемым натрием и углекислотой почвенного воздуха углекислого натрия. Но этим путем возникающие количества соды в каждый данный момент должны быть так ничтожны, концентрация ее в почвенных и грунтовых водах в месте ее образования должна быть так низка, что вытеснять кальций из поглощающего комплекса, да еще в присутствии хотя бы ничтожных количеств карбонатов кальция, и создавать таким образом солонцы соды, вообще говоря, не была в состоянии; для этого необходимы были особые условия, благоприятствующие концентрированию ее растворов, и громадная площадь питания содой данного места (возможно, что такие условия осуществились например, в Приднепровской низине, занимающей громадную площадь со склонами к долине Днепра). Без этих же особых условий соды, образовавшаяся как продукт выветривания несолонцеватых почв и материнских пород, едва ли могла играть более или менее заметную роль источника поглощенного натрия в почве; если допустить очень мало вероятную возможность вступления натрия этой соды в поглощающий комплекс, то он не мог бы там оставаться сколько-нибудь заметное время благодаря энергичному процессу рассолонцевания и ничтожному содержанию поглощенного натрия. Быть может, в первые периоды почвообразования, когда количество образующихся простых солей и в том числе соды должно было быть наибольшим, могло происходить осолонцевание почв, подвергавшихся промыванию вод, несущих эти продукты выветривания; но и тогда, по всей вероятности, это осолонцевание могло выразиться более или менее ясно в определенных лишь элементах макрорельефа с достаточно большой площадью питания содой.

Во-вторых, другим, более мощным источником соды представляется рассолонцевание имеющихся солонцов; образующаяся в этом процессе деградации (осолодения солонцов) сода будет с атмосферными осадками проникать в грунтовые и почвенные воды; здесь она в силу диффузии, а также вследствие горизонтального движения грунтовых и почвенных вод может проникать в соседние к солонцу несолонцеватые почвы и грунты и осолонцевывать их. Таким именно путем, я думаю, можно объяснить рост солонцов и солонцовых пятен без предшествующего засоления окружающих их почв хлоридами и сульфатами натрия. Площадь солонцов в этом случае может расти лишь за счет существующих уже здесь солонцов; они постепенно рассолонцовываются, их солонцеватость уменьшается или исчезает вовсе, а образующаяся при этом сода частично в том или другом количестве служит источником поглощенного натрия окружающих солонец соседних несолонцеватых почв или же увеличивает уже существующую солонцеватость этих почв; в одном месте солонец умирает, а по соседству продукты его деградации образуют новый солонец. Если же такое засоление хлоридами и сульфатами натрия имеет место, т. е. в солонцовых пятнах имеет место периодическое превращение в солонцы—солончаки или в солончаки с захватом время от времени засоряющими солями почвы по периферии солонцового пятна, то естественно, таким способом растущим солонцам будет предшествовать стадия засоления хлоридами и сульфатами, хотя в этом процессе будет участвовать и сода, происходящая из имевшегося солонца.

Следующее различие между сульфатами и хлоридами натрия, с одной стороны, и карбонатами натрия, с другой стороны, на которое нам надо обратить внимание при рассмотрении их как источников поглощенного

натрия, состоит в неодинаковой подвижности их в грунтах и почвах. Анион серной кислоты поглощается (химически) почвой слабо, анион хлоридов не поглощается вовсе, а анион карбонатов поглощается почвой (химически) очень сильно, а при очень слабых его концентрациях почти нацело. Поэтому хлориды (и в значительной степени сульфаты) свободно циркулируют в почвах и грунтах вместе с водами, растворимые же карбонаты могут передвигаться лишь на небольшие расстояния. Так обстоит дело с анионами этих солей, а как следствие неодинаковой величины химического поглощения этих анионов является неодинаковая величина физико-химического поглощения связанного с ними натрия. Поэтому, если эквивалентные растворы хлоридов и сульфатов натрия, с одной стороны, и углекислого натрия, с другой стороны, циркулируют с водами в почве или грунте, например, в горизонтальном направлении от солончака и солонца к периферии несолончаковой и несолонцевой, то в обоих случаях и почва и грунт будут поглощать натрий, но процентное поглощение натрия во втором случае (т. е. из соды) будет значительно сильнее, чем в первом, так как во втором случае результатом обмена будет очень труднорастворимый углекислый кальций, а в первом легкорастворимые хлориды и сульфаты кальция. Просачивающийся раствор хлористого натрия будет очень постепенно по мере движения обедняться натрием; такому раствору, особенно если его концентрация довольно значительна, нужно пройти значительное расстояние в горизонтальном направлении, чтобы лишиться почти всего натрия; раствор же соды уже с первых шагов своего вступления в несолонцеватую почву, пройдя лишь ничтожное расстояние в почве, лишится почти всего своего натрия, а если раствор был низкой концентрации, например такой, какая бывает в почвенном растворе солонцов, то и целиком всего. *Несолонцеватая почва почти вовсе не пропускает через себя натрий циркулирующей соды и сравнительно легко пропускает натрий хлоридов и сульфатов*; почва является великолепным фильтром для задерживания соды, а потому и ее натрия, но она не задерживает хлора и потому сравнительно слабо задерживает натрий; натрий сернокислого натрия задерживается почвой сильнее, нежели натрий хлористого натрия, но значительно слабее, нежели натрий соды. В связи с этими особенностями каждой из этих трех солонцеобразующих солей должны наблюдаться и особенности в распространении и характере получающихся солонцов, причем солонцы, образовавшиеся помощью сернокислого натрия, будут значительно ближе стоять к солонцам, возникшим при посредстве хлористого натрия, нежели при посредстве соды; поэтому солонцы, получившиеся путем воздействия на почву хлористого и сернокислого натрия, могут быть выделены в одну естественную группу, а солонцы, явившиеся результатом воздействия на почву одной лишь соды,—в другую. Почвенная или грунтовая влага, содержащая соду, пройдя в горизонтальном направлении через небольшой лишь слой почвы или грунта, просачивается дальше, уже лишенная натрия; содержащая же хлористый и сернокислый натрий и в дальнейшем в своем течении будет еще богата натрием. Только тогда, когда несолонцеватый слой почвы, непосредственно примыкающий к солонцу как источнику вод, содержащих соду, будет полностью или, вернее сказать, в значительной степени насыщен натрием¹, только тогда он сможет фильтровать через себя растворы

¹ В какой степени, а priori, сказать это невозможно, необходимо изучение в этом направлении почв с различной величиной поглощающего комплекса и при действии на них растворов соды различной концентрации.

соды, не поглощая из них значительных количеств натрия. Но тут в этом состоянии почвы появится новое препятствие для фильтрации: чем почва ближе к насыщению натрием, тем она становится более коллоидальной, сильнее набухает и все труднее и труднее пропускает через себя влагу; присутствие соды не облегчает фильтрацию, потому что электролитический порог ее высок, а концентрация в почвенных водах всегда низкая. Такого препятствия при фильтрации хлоридов и сульфатов через слой почвы, насыщенный их натрием, не получается, так как соли эти свертывают коллоидальные частички почвы и почва, насыщенная натрием, но в присутствии этих солей, может быть даже легчеводопроницаемой, нежели та же почва без поглощенного натрия, в отсутствие этих солей в почвенной влаге. В то время как по степени поглощаемости натрия сернокислый натрий несколько приближается к соде, по влиянию своему на водо-пропускающую способность почвы он почти совершенно тождествен с хлористым натрием, так что по всем тем особенностям в характере распространения и в свойствах солонцов, какие являются результатом воздействия солонепобразующих солей на их водопроницающую способность, солонцы, образованные хлористым и сернокислым натрием должны быть очень близки между собой и сильно отличаться от солонцов, возникших действием на почву одной лишь соды. Таким образом, рост солонца по его периферии, без участия хлоридов и сульфатов натрия, а только за счет просачивающейся сюда его соды, должен происходить очень медленно, захватывая сравнительно лишь тонкий пояс несолонцеватой периферии, после осолонцевания которого может уже начинаться осолонцевание следующего слоя и т. д.

Подобное же явление будет происходить при осолонцевании почвы поднятием грунтовых или почвенных вод, содержащих соду: будет осолонцевываться слой за слоем, начиная *снизу* вверх, и все медленнее и медленнее, так как чем толще осолонцованный слой над грунтовыми водами, тем больше затрудняется поднятие через него грунтовых вод; таким способом, вероятно, произошли почвы с глубокими солонцовыми горизонтами. Если мы представим себе то же явление поднятия с грунтовыми водами натриевых солей, но не углекислых, а хлористых, то в пределах не особенно высоких концентраций хлоридов в этих водах наибольшее содержание поглощенного натрия будет в поверхностных слоях такого солончака, именно там, где наиболее концентрируются поднимающиеся хлориды; при рассолении такого солончака получим солонец, наиболее солонцеватый горизонт которого должен быть ближе к поверхности. Если грунтовые воды содержат только сульфаты натрия, то здесь будем иметь в пределах известных концентраций явление промежуточного характера, так как натрий из сернокислого натрия поглощается сильнее, чем из хлористого, но слабее, чем из углекислого.

Отметим здесь еще одну особенность солонцов, возникших путем воздействия на почву растворов соды. При воздействии хлористого натрия получается легкорастворимый хлористый кальций, который благодаря большой растворимости исчезнет, конечно, из почвы, когда она рассолится и превратится в солонец. Продуктом же обмена соды в почве будет труднорастворимый углекислый кальций; если первоначальная почва содержала около 1% поглощенного кальция, то при превращении ее в почву, насыщенную натрием путем воздействия на нее соды, получится в почве около 2% труднорастворимых карбонатов щелочноземельных металлов; т. е. если такая первоначальная почва была бескарбонатной, то образовавшийся из нее указанным путем солонец или солонцовый гори-

зонт будет карбонатным. Поэтому при известных условиях карбонатность солонца может служить указанием на участие соды в его образовании.

Если сода совместно с другими натриевыми солями принимает участие в образовании почв с поглощенным натрием в поглощающем комплексе, то степень ее участия будет обуславливаться, с одной стороны, относительной ее концентрацией, а с другой стороны, теми же особенностями в отношении поглощаемости ее натрия и подвижности, которые отличают ее от хлоридов и сульфатов натрия и которые рассмотрены нами выше.

В заключение вопроса о соде, как источнике поглощенного натрия в почвах, мы подчеркнем крайнюю желательность детального лабораторного изучения процессов воздействия на почву хлористого, сернокислого и углекислого натрия, каждого в отдельности и в различном их смешении. Это необходимо для дальнейшего углубления наших познаний солончаков и солонцов в природе.

МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЧАКОВ

Солончаки большей частью непосредственно малопригодны или вовсе непригодны для сельскохозяйственной культуры; для этого они нуждаются в предварительной мелиорации. Со стороны физических свойств почвы эти вполне благоприятны растениям; неблагоприятными являются их химические особенности, а именно высокая концентрация солей в их почвенных растворах, обусловленная засоленностью этих почв и повышенным содержанием в них растворимых солей. Большинство культурных растений хорошо развивается лишь при сравнительно очень низкой концентрации почвенного раствора; в нормальных, незасоленных и не-солонцеватых почвах (в черноземах, подзолистых почвах, латеритах) концентрация почвенного раствора очень низка; водные вытяжки извлекают из таких почв всего лишь несколько сотых процента (от веса почвы) минеральных веществ, воднорастворимых же солей в солончаках могут быть целые проценты и даже десятки процентов. Поэтому, чтобы улучшить солончак и превратить его в культурную почву, необходимо удалить из него избыток солей, рассолить его, притом рассолить таким образом, чтобы оградить почву от нового ее засоления, а для этого, очевидно, нужно предварительно узнать и изучить причины засоления почвы данной местности, узнать, откуда соли попали в почвенные горизонты и не могут ли они снова появиться в почве после ее рассоления. Если, например, окажется, что источником засоления являются грунтовые воды, богатые в данной местности солями и лежащие так близко к поверхности земли, что они могут капиллярно подниматься в поверхностные слои почвы, то, очевидно, удаление скопившихся уже в почве солей не исправит ее, так как соли вновь подымутся в почву вместе с грунтовыми водами.

Далее необходимо иметь в виду, что, казалось бы, совершенно простой и ясный вопрос об улучшении солончака удалением из него избытка солей значительно осложняется тем, что, как мы видели выше, солончак при известном составе засоляющих его солей дает после рассоления не нормальную культурную почву, а солонец; солонец же, как будет подробнее разобрано ниже, в культурном отношении во всяком случае не лучше солончака; поэтому, получение из солончака солонца, да еще с затратой средств, не представляется вовсе желательным. Во избежание этого, прежде чем приступить к мелиорации солончаков, необходимо изучить количественный и качественный состав засоляющих солей, т. е. подвергнуть его лабораторному исследованию.

Если окажется, что засоляющими солончак солями являются только натриевые соли, то можно определенно утверждать, что удалением засоряющих солей, все равно каким бы способом это удаление ни производилось, мы почву не улучшим, а скорее ухудшим, превратив ее в солонец: ниже мы остановимся на приемах коренного улучшения солонцов и увидим, что в тех случаях, когда удаление из натриевого солончака производится вполне сознательно, с тем чтобы после произвести мелиорацию возникшего из солончака солонца, — что в этих случаях эти два вида мелиорации удобнее соединить вместе.

Если исследование солончака покажет, что его засоряют только кальциевые соли, то удаление из него этих солей представляет операцию вполне безопасную; в результате получится вполне культурная незасоленная и несолонцеватая почва. При кальциевых солончаках возникает вопрос: нужно ли их улучшать, нужно ли из них удалять засоряющие их кальциевые соли? Необходимо знать, какие именно кальциевые соли засоряют почву. В почвах могут встречаться в больших количествах три кальциевые соли: углекислый кальций, сернокислый кальций (гипс) и хлористый кальций. Первая из этих солей (CaCO_3) настолько трудно растворима, что безразлично, в каких бы количествах она ни содержалась в почве, — она вредить растениям не может; наоборот, она является полезной и для растений и для самой почвы, предохраняя ее сложные соли от разрушающего действия воды, поэтому такие почвы мы и не называем солончаками. Гипс уже значительно более растворимая соль, но, повидимому, и засоление им почвы даже в очень больших количествах вследствие все-таки небольшой его растворимости не может вредно отзываться на росте культурных растений; говорю «повидимому», так как этот вопрос нельзя еще считать окончательно решенным, для этого имеется еще недостаточно экспериментальных данных; мое личное мнение таково, что гипсовые солончаки не следует рассолять, так как если даже гипс, может быть, и понижает урожай некоторых растений, то во всяком случае незначительно, а удаление гипса из почвы — операция трудная и дорогая; кроме того, необходимо всегда помнить, что в засушливом климате, где всегда возможно ожидать засоления почвы натриевыми солями, например, при орошении или при том же вымывании гипса, гипс предохраняет почву от превращения ее в солонец, поэтому без особой нужды удалять его из почвы нерационально.

Что же касается третьей из названных выше солей — хлористого кальция, то ее присутствие в почвах в более или менее значительных количествах, конечно, очень вредно, так как эта соль легко растворимая и почвенные растворы таких почв будут обладать высокой концентрацией. Такие солончаки для приведения их в культурное состояние требуют, конечно, мелиоративных мер для удаления избытка хлористого кальция.

Остается еще рассмотреть третью группу солончаков, смешанных, натриево-кальциевых. Удаление из них засоряющих их солей, как мы видели выше, может дать, а может и не дать в результате солонец. И этот вопрос должен быть, конечно, разрешен до производства мелиорации. Уже определение содержания в почве гипса и хлористого натрия может дать некоторое указание, какая почва получится в результате рассоления натриево-кальциевого солончака: если натриевых солей много, а гипса мало, по всей вероятности получится солонец, а если гипса много — то несолонцеватая почва. К сожалению, однако, даже для этих крайних случаев нельзя еще дать числовых данных соотношения между содержанием гипса и натриевых солей, которыми можно было бы как предельными

величинами, руководствоваться при решении лабораторным путем вопроса. Поэтому можно рекомендовать разрешение этого вопроса опытным путем, который даст, совершенно определенный ответ: небольшое количество исследуемой почвы промывать на воронке водой до полного вымывания легкорастворимых солей, а затем исследовать почву после такого промывания на ее солонцеватость.

СОЛОНЦЫ, ИХ ЭВОЛЮЦИЯ И МЕЛИОРАЦИЯ

Почвы земного шара могут быть разделены на две большие группы в зависимости от того, содержат ли они поглощенный натрий или нет. Почвы влажных и умеренно влажных областей, как общее правило, такого катиона в поглощенном состоянии не содержат; почвы засушливых же областей, наоборот, как общее правило, в своем поглощающем комплексе имеют поглощенный натрий. Среди последних почв мы различаем первоначальную стадию, стадию засоленной почвы, солончака; в этой стадии почвы в ее поглощающий комплекс проникает натрий; когда содержание солей в натриевом солончаке вследствие каких-либо причин понизится до известного для каждого солончака вполне определенного предела, стадия солончака сменяется стадией солонца. Как мы выше указывали, солонец может быть определен как почва, с одной стороны, содержащая поглощенный натрий, а с другой стороны бедная легкорастворимыми солями. Именно поглощенный натрий при отсутствии в почве растворимых солей или и в присутствии таковых, но при условии, что концентрация их ниже некоторой определенной величины, является основным, самым существенным признаком солонца, так как его присутствию почвы этого типа обязаны всеми особыми их свойствами, так резко отличающимися солонец от несолонцеватых почв.

СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ

Теперь мы и перейдем к описанию особых отличительных свойств солонцов и к выяснению причин, вследствие которых поглощенный натрий эти свойства вызывает. Это нам необходимо, с одной стороны, потому что именно эти особые свойства солонца и являются отрицательными, неблагоприятными для растительности; а с другой стороны, потому что для правильной и успешной борьбы с этими свойствами нужно ясно понимать причину их существования. Свойства почвы можно для удобства изложения, как это обычно делается, разделить на физические и химические. Начнем с первых.

Физические свойства солонцов

Солонцы принадлежат к почвам, обладающим в сухом состоянии способностью давать крупные структурные элементы (столбы, глыбы); эти структурные элементы, обладая большой прочностью в сухом состоянии, при увлажнении постепенно распыляются, и во влажном состоянии солонец становится почвой бесструктурной; бесструктурная масса влажного солонца отличается клейкостью и вязкостью; вследствие сильной вязкости солонцы очень долго не просыхают, а после сильного высыхания плохо утилизируют атмосферные осадки вследствие крупности структуры и медленного пропитывания структурных элементов водой. Такие свойства почвы являются очень неблагоприятными для культурных растений. Степень выраженности этих свойств находится в прямой зависимости, при

прочих одинаковых условиях, от степени солонцеватости почвы, измеренной количеством поглощенного натрия в почве. Если мы представим себе одну и ту же почву, например какой-либо чернозем, со все возрастающим количеством поглощенного натрия от 0 до полного насыщения им поглощающего комплекса этого чернозема, то получим ряд солонцеватых почв, в котором параллельно с постепенным возрастанием количества поглощенного натрия будут постепенно же нарастать указанные физические свойства: повышаться величина и прочность структурных элементов в сухом состоянии и бесструктурность, вязкость и клейкость во влажном состоянии почвы. Это нарастание начиная с известного момента создает уже неблагоприятные условия для сельскохозяйственной культуры, и тем более неблагоприятные, чем сильнее выросли означенные свойства. Начало проявления неблагоприятного влияния должно лежать во взятом нами ряде почв где-нибудь очень близко к начальному звену, к первоначальному несолонцеватому чернозему, так как даже у сравнительно слабосолонцеватых черноземов неблагоприятные свойства уже ясно проявляются; максимум неблагоприятного влияния совпадает с максимумом нарастания означенных физических свойств, что будет иметь место у конечного звена нашего ряда почв, т. е. у почвы, вполне насыщенной одним только натрием и не содержащей в своем поглощающем комплексе других поглощенных катионов.

Почему увеличение крупности и прочности структурных элементов почвы в ее сухом состоянии и увеличение бесструктурности, вязкости и клейкости во влажном состоянии начиная с известного момента представляют уже явление неблагоприятное для сельскохозяйственной культуры и почему это нарастание идет параллельно содержанию в почве поглощенного натрия и притом при условии полного или почти полного отсутствия в почве легкорастворимых солей, мы сейчас постараемся объяснить; начнем с первого вопроса.

Причины неблагоприятности солонцеватых физических свойств почвы для сельскохозяйственной культуры. Указанные выше структурные особенности солонцов, во-первых, сильно затрудняют механическую обработку почв: трудно разрушить крупные и прочные структурные элементы, когда почва суха, а во-вторых, указанные свойства делают невозможным придать почве то физическое состояние, которое необходимо для хорошего роста растений. Таким состоянием, как известно, является мелкая (зернистая) прочная структурность, так как при такой структуре почва обладает наиболее благоприятными для жизни растений водным и воздушным режимом. Тогда почва наиболее полно утилизирует выпадающие атмосферные осадки, вследствие быстрого просачивания их в почву по крупным порам между структурными отдельностями и быстрого впитывания воды из этих крупных пор капиллярами мелких структурных элементов; тогда вместе с тем почва наилучше сохраняет приобретенные ею запасы воды, так как капиллярная связь между отдельными структурными элементами почти отсутствует (может проявляться только в местах их соприкосновения), а непрерывная сеть пор между структурными элементами слишком крупного диаметра и потому не способна поднимать воду сколько-нибудь высоко, поэтому почва с подобной структурой в засушливую погоду просыхает лишь с поверхности, а более глубокие слои, вследствие почти полного отсутствия капиллярного поднятия находящейся в них воды, остаются влажными.

С другой стороны, такая мелкозернистая структура почвы создает в ней благоприятные воздушные свойства, хорошую аэрацию даже при большой влажности почвы; такая почва обладает высокой капиллярной порозностью, а вместе с тем благодаря обильной сети крупных пор и высокой некапиллярной порозностью; эта некапиллярная сеть почвенных пор не может после выпавшего дождя долго оставаться заполненной влагой вследствие действия силы тяжести и малой выраженности капиллярных сил.

Совсем иное наблюдается в почвах с солонцеватой структурой. Когда у таких почв смачивается атмосферными осадками даже лишь поверхностный слой, то он теряет совершенно свою структурность и набухает; вода, содержащаяся в нем, удерживается с большой силой, и почва становится трудноводопроницаемой; по мере смачивания более низко лежащих слоев почва делается все менее и менее водопроницаемой и наконец заболачивается. Такие водные свойства почвы обуславливают в солонцах очень неблагоприятный для растений воздушный режим: во влажном поверхностном горизонте солонца, вследствие получившейся его бесструктурности и разбухания, все поры заполнены водой, воздуха нет, а нижележащие слои почвы, содержащие воздух, отрезаны этим влажным горизонтом от атмосферного воздуха и аэрация становится невозможной. Таким образом, даже небольшое количество атмосферных осадков, такое, какое у почв несолонцеватых обычно¹ не вызывает каких-либо неблагоприятных изменений в воздушном режиме, создает у солонцов резкое ухудшение аэрации.

Поглощенный натрий как причина солонцеватых физических свойств почвы. Перейдем теперь к объяснению, почему присутствие поглощенного натрия в почве меняет ее физические свойства в только что указанном направлении. Тут дело в том, что вообще физическое состояние почвенного поглощающего комплекса находится в тесной зависимости от рода насыщающих их катионов.

Напомним, что поглощающий комплекс почвы представляет коллоидально раздробленную ее часть. Всякое же вещество в коллоидальном раздроблении представляет неустойчивую систему, стремящуюся изменить это состояние, перейти или в молекулярное раздробление, т. е. повысить степень своей дисперсности, или, наоборот, понизить свою раздробленность, дав более крупные частички.

То же имеет место и в отношении коллоидальной части почвы; так как здесь мы имеем дело с нерастворимыми в воде соединениями, вследствие чего они не могут дать молекулярного распыления, то неустойчивость состояния поглощающего комплекса выражается в стремлении его частичек соединяться вместе в более крупные агрегаты; таким образом, почвенный поглощающий комплекс стремится понизить степень своей дисперсности. Осуществлению этого стремления препятствует электрический заряд, несомый коллоидальными частичками; все частички данного коллоидального вещества заряжены одним каким-либо электричеством, положительным или отрицательным; почвенные коллоидальные частички вообще заряжены отрицательным электричеством. Электрический заряд коллоидальных частиц препятствует этим частицам соединяться при

¹ И между несолонцеватыми почвами встречаются такие, воздушный режим которых заменяется неблагоприятно для растений даже от сравнительно не сильных дождей, но причины этого явления у этих почв совершенно иные.

встрече в агрегаты, т. е. препятствует свертыванию, или коагуляции коллоида, так как частицы, заряженные одноименным электричеством, отталкиваются. Ясно, что все факторы, которые будут увеличивать заряд коллоидальных частиц почвы, будут увеличивать способность их сохраняться в раздельном состоянии, препятствовать их свертыванию и образованию агрегатов; такие факторы носят поэтому название *стабилизаторов*. Все же факторы, уменьшающие величину заряда почвенных коллоидальных частиц, уменьшают способность их к раздельному существованию, вызывают их свертывание с образованием агрегатов большей или меньшей величины; факторы эти носят поэтому название *инстабилизаторов*.

В почвах главнейшими стабилизирующими или инстабилизирующими факторами являются электролиты, растворенные в почвенном растворе, точнее сказать—содержащиеся в этом растворе ионы. Если мы будем иметь в виду только почвенные коллоидальные частицы, несущие отрицательный заряд, то по отношению к ним ионы почвенного раствора, несущие положительный заряд, т. е. катионы, будут фактором инстабилизирующим: положительный заряд этих катионов, нейтрализуя отрицательный заряд коллоидальных частиц поглощающего комплекса, понижает их способность к раздельному существованию; поэтому катионы почвенного раствора вызывают свертывание почвенных коллоидальных частиц и образование из них более крупных отдельностей, агрегатов. Свертывающая сила различных катионов не одинакова—она зависит от величины атомного их веса и величины их значности: чем выше то и другое, тем меньше величина той концентрации, при которой катион начинает уже действовать свертывающе. Из катионов почвенного раствора для нашего вопроса сейчас имеют значение лишь три: H, Ca и Na, они по свертывающей своей способности в убывающей степени располагаются в вышеуказанном порядке: катион водорода обладает наивысшей свертывающей силой¹, т. е. его электролитический порог² меньше, чем у остальных двух, а катион натрия—наименьшей. Анионы, как несущие отрицательный заряд, т. е. одноименный с зарядом почвенных коллоидальных частиц, не могут, конечно, являться инстабилизирующим фактором; они могут действовать лишь обратное—препятствовать свертыванию, но это действие их, если оно и имеет место, значительно слабее, чем противоположное действие катионов³; поэтому, если мы имеем в почвенном растворе какую-либо соль, например хлористый натрий в концентрации выше электролитического порога, то совокупное действие обоих его ионов будет инстабилизирующим; хлористый натрий будет свертывать частички поглощающего комплекса, вызывать образование из них агрегатов, понижать степень дисперсности

¹ Водородный ион представляет исключение из вышеприведенного закона, несмотря на то что это однозначный катион и притом самый легкий из всех катионов: его свертывающая сила выше, чем даже у двузначного катиона кальция, имеющего атомный вес 40.

² Электролитическим порогом иона (или всего электролита) называется та его минимальная концентрация, при которой начинается свертывающее действие его.

³ Объяснить более слабое стабилизирующее действие анионов, нежели инстабилизирующее действие катионов, на отрицательно заряженные коллоиды можно следующим образом: катионы как имеющие противоположный заряд, нежели коллоидальные частички почвы, притягиваются последними и при этом происходит нейтрализация противоположных зарядов; анионы же, как несущие заряд, одноименный с коллоидальными частичками, отталкиваются последними, и потому влияние на заряд этих частичек они или не оказывают вовсе, или, если оказывают, то, конечно, более слабое, нежели катионы.

коллоида, так как катион натрия является инстабилизатором, а анион хлора хотя и стабилизатор, но значительно меньшей силы.

Между анионами в отношении силы действия их на коллоидальные частицы, так же как и между катионами, имеются исключения, а именно гидроксильный ион (ион OH), в отличие от остальных анионов, обладает в отношении отрицательных почвенных коллоидов очень сильным стабилизирующим действием, которое заметно сильнее, чем инстабилизирующее действие катиона натрия, но вместе с тем слабее, чем инстабилизирующее действие катиона кальция.

Приведенные положения очень существенны для понимания свойств поглощающего комплекса различных почв. Остановимся на некоторых частных случаях, вытекающих из этих общих положений.

Едкие щелочи, например NaOH , в слабых концентрациях (в таких, в каких хлористый натрий уже сильно свертывает) не свертывают почвенные коллоидальные частички, а действуют как раз обратно, способствуют существованию их в распыленном состоянии и даже понижают свертывающее действие других катионов; если, например, взять раствор хлористого натрия, свертывающий взмученные в воде почвенные коллоидальные частички, и прибавить к нему немного едкой щелочи, т. е. увеличить концентрацию коагулирующего катиона, то такой раствор, однако, не только не будет сильнее свертывать, но как раз обратно: свертывающая сила такого раствора понизится; если концентрация раствора хлористого натрия будет лишь немного выше электролитического порога, то осаждения и вовсе не будет. Так действует едкий натр, потому что осаждающее действие натрия слабее, чем стабилизирующее действие иона OH . Так же действуют в известных пределах концентрации и углекислые щелочные металлы, например, нормальная сода Na_2CO_3 , так как она в водных растворах вследствие так называемой гидролитической диссоциации дает гидроксильный ион OH ; двууглекислые щелочи, например, NaHCO_3 , стабилизируют почвенные коллоиды значительно слабее, чем углекислые, так как гидроксильного иона они дают меньше. Стабилизирующее действие свободных щелочей, углекислых и двууглекислых щелочей имеет место лишь до известной высоты их концентрации; если концентрация их будет выше этой величины, то они будут уже вызывать свертывание, как и другие электролиты. Это потому, что гидроксильный ион может повысить заряд отрицательного коллоида лишь до известной величины, дальнейшее повышение его концентрации уже не влияет в этом отношении, осаждающее же действие связанного с ним катиона все возрастает с увеличением его концентрации. В почвах концентрация соды обычно бывает невысокая, поэтому в этом частном случае сода всегда является стабилизатором почвенных коллоидов; она не только сама не свертывает коллоидальные частички почвы, но препятствует свертыванию их другими электролитами, повышая их электролитический порог. Таким образом, при щелочной реакции почвенного раствора почвенный поглощающий комплекс может существовать в виде отдельных самостоятельных коллоидальных частиц даже в присутствии в почвенном растворе других электролитов в такой концентрации, при которой, если бы почвенный раствор был нейтральным, имело бы место свертывание почвенных коллоидальных частиц в более крупные комплексы.

Гидрат окиси кальция и углекислый кальций, также обладающие в водных растворах щелочной реакцией, т. е. дающие в этих растворах гидроксильный ион OH , действуют на коллоидальные вещества почвы, однако, иначе, чем едкие и углекислые щелочи. И здесь, конечно, согласно

общему правилу, гидроксильный ион является стабилизирующим фактором, поддерживающим коллоидальные частички почвы в распыленном состоянии и препятствующим образованию ими агрегатов; и здесь катион электролита, в данном случае кальций, стремится свернуть почвенные коллоиды; но в то время как это свертывающее, инстабилизирующее действие катиона Na значительно слабее, чем противоположное стабилизирующее действие OH , и потому в результате NaOH и Na_2CO_3 действуют как стабилизаторы, осаждающее действие Ca значительно сильнее стабилизирующего действия OH , и в результате Ca(OH)_2 и CaCO_3 являются не стабилизаторами, а сильными осадителями почвенных коллоидальных веществ.

Соли, дающие нейтральные или почти нейтральные растворы, как, например, хлориды, сульфаты, нитраты щелочных и щелочноземельных катионов, являются осадителями почвенных коллоидальных веществ, причем осаждающая их способность практически не зависит от рода аниона, а изменяется только в зависимости от рода катиона; поэтому, например хлористый натрий, сернокислый натрий и азотнокислый натрий обладают почти совершенно одинаковой свертывающей способностью (имеют почти один и тот же электролитический порог), между тем как хлористый натрий, хлористый калий, хлористый магний, хлористый кальций и т. д. будут в этом отношении резко отличаться между собой и в направлении, которое указывается вышеприведенным законом зависимости осаждающей способности катиона от его значности и атомности.

Укажем, наконец, что кислоты и кислые соли обладают большей свертывающей силой в отношении почвенных коллоидов, чем соответствующие им нейтральные соли щелочных и щелочноземельных катионов, так как образующийся в водных растворах этих соединений водородный ион обладает большей осаждающей способностью, нежели щелочные и щелочноземельные катионы.

После вышеизложенного нам легко будет понять причину особых физических свойств солонца. Возьмем наиболее типичный случай солонца, а именно такой солонец, в поглощающем комплексе которого нет других поглощенных катионов, кроме натрия, т. е. солонец, насыщенный натрием, и который, кроме того, не содержит легкорастворимых солей, засоливших бывший ранее солончак. В почвенном растворе такого солонца мы всегда найдем гидроксильный ион (об этом см. ниже в изложении химических свойств солонцов), стабилизатор, как мы видели, почвенных коллоидальных частиц, препятствующий им давать агрегаты и поддерживающий эти частицы при влажном состоянии почвы в раздельном состоянии. А так как далее почва не содержит легкорастворимых солей и поглощающий комплекс ее насыщен натрием, то в почвенной влаге из катионов в заметном количестве будет содержаться только натрий, свертывающая способность которого ниже стабилизирующей силы OH . Поэтому в нашем солонце во влажном его состоянии весь его поглощающий комплекс будет состоять из отдельных, самостоятельных, несвернутых коллоидальных частиц; почва наша будет сильно коллоидальна со всеми свойствами, присущими коллоидально раздробленному телу, т. е. вязкостью (так как коллоидальные частички вследствие их ничтожной величины проявляют резко выраженное молекулярное притяжение одна к другой), набухаемостью в воде (так как почвенные коллоидальные частички сильно притягивают к себе воду и каждая из них окружена слоем воды, сильно удерживаемой частичкой почвы; коллоидальная частичка вместе

с этим окружающим ее слоем воды представляет как бы нечто целое), водонепроницаемостью (так как вода, окружающая коллоидальные частички, удерживается громадными силами и протолкнуть ее вниз чрезвычайно трудно). Так как обволакивающая коллоидальные частички вода очень прочно связана с самими частичками, то испарение этой воды сильно замедляется и потому солонцы по сравнению с другими почвами и особенно солончаками очень долго не просыхают. Когда же такая почва высыхает, коллоидальные частички благодаря их молекулярным силам притяжения плотно склеятся между собой и с другими механическими элементами почвы (например, с пылью и песком), а также склеят, сцементируют между собой другие механические элементы, получится крупная и прочная структура. Конечно, все эти физические особенности, присущие солонцам, будут в различной степени проявляться у различных солонцов. Во-первых, при полном насыщении поглощающего комплекса одним лишь натрием степень выраженности этих свойств будет зависеть от величин поглощающего комплекса, т. е. от количества в почве того материала, который может давать отдельные коллоидальные частички; это количество в различных почвах может быть очень различно (от десятых долей процента до 70%): чем больше в почве величина поглощающего комплекса, тем при полном насыщении его натрием коллоидальность его будет сильнее, а значит, и резче будут выражены рассмотренные здесь неблагоприятные физические свойства. Во-вторых, при одной и той же величине поглощающего почвенного комплекса выраженность солонцеватых физических свойств почвы будет зависеть от степени насыщенности почвы натрием, от процентного содержания поглощенного натрия в общем составе поглощенных катионов, от соотношения между органической и минеральной частью поглощающего комплекса (чем относительно больше в почве органической части этого комплекса, тем больше почва будет коллоидальна) и от механического состава остальной неколлоидальной части почвы (чем мельче она, тем «коллоидальность» почвы будет выше), а также, конечно, от количества воднорастворимых солей в солонце, если таковые в нем имеются.

Легко видеть, что почва, не содержащая поглощенного натрия, а имеющая в своем поглощающем комплексе только кальций и магний, как это имеет место в нормальных черноземах, не может обладать солонцеватыми физическими свойствами.

Допустим, что такая почва, подобно рассмотренному типичному солонцу, не засолена легкорастворимыми солями. Почвенный раствор этой почвы будет содержать в заметных количествах лишь катион кальция (и магния) как результат обмена водородного иона почвенного раствора на поглощенные катионы почвы; этот кальций будет в растворе в виде углекислого кальция, а, как мы видели выше, эта соль, несмотря на щелочной свой характер, свертывает и притом очень сильно коллоидальные вещества почвы; в такой почве поэтому мы не будем иметь отдельных самостоятельных коллоидальных частиц; они будут свернуты в агрегаты и притом очень прочные агрегаты, не разрушающиеся действием почвенных вод, так как воды эти содержат свертыватель—катион кальция; почва будет обладать таким образом, микроструктурой; эти микроструктурные элементы будут, конечно, более крупными, нежели отдельные их составляющие коллоидальные частички; почва в ее естественном состоянии будет как бы лишена коллоидальной части, не будет с физической стороны обладать «коллоидальностью», а потому не будет проявлять вышеописанных солонцеватых физических свойств.

Если в поглощающем комплексе почвы имеется в поглощенном состоянии не только кальций и магний, но также водород (деградированные черноземы, оподзоленные почвы и латериты), то почвенные растворы таких почв будут менее богаты катионом кальция (и магния), свертывающая сила почвенного раствора будет здесь слабее, нежели в нормальных черноземах, и «коллоидальность» их может быть выше; но так как солей углекислых щелочей и в этих почвах, конечно, нет, то коллоидальность их далеко не может быть так резко выраженной, как в солонцах.

Поглощенный натрий не может создавать в солончаках солонцеватых физических свойств. Мы видели выше, что солонцеватые физические свойства являются результатом содержания в солонцах поглощенного натрия и что степень выраженности таких свойств солонцов идет параллельно количеству в почве поглощенного натрия. Но, как указывалось раньше, поглощенный натрий содержится не только в солонцах, а также во всех натриевых и натриево-кальциевых солончаках, а между тем такие солончаки вовсе не обладают солонцеватыми физическими свойствами; наоборот, их коллоидальность часто бывает даже значительно ниже, чем коллоидальность нормальных почв; солончаки по своим физическим свойствам относятся к почвам очень благоприятным для сельскохозяйственной культуры. Это кажущееся противоречие разрешается очень просто: солончаки, несмотря на содержание поглощенного натрия, потому не коллоидальны, что они содержат заметные количества легкорастворимых солей, которые благодаря своему количеству и свертывающей способности коагулируют коллоидальные частички поглощающего комплекса; а вместе с тем, как мы увидим ниже при описании химических свойств солонцов, присутствие растворимых солей в солончаке препятствует образованию углекислых солей натрия; таким образом, в солончаках имеются свертыватели (растворимые соли) и нет стабилизатора или имеется его сравнительно мало; вот почему в солончаках поглощающий комплекс находится не в виде отдельных самостоятельных частиц, а в виде агрегатов, и солончаки не коллоидальны. Поэтому мы всюду и подчеркивали, что типичный солонец не содержит уже легкорастворимых солей. Между стадией типичного солонца (в вышеуказанном смысле) и стадией солончака существует переходная стадия солонца-солончака; в типичном солонце нет уже легкорастворимых солей в таком количестве, чтобы они могли оказывать какое-либо свертывающее действие (концентрация их в почвенном растворе тогда ниже электролитического порога); в солончаке этих солей уже так много, что получается полная коагуляция коллоидальных веществ; но между этими двумя величинами концентраций имеется промежуток с такими величинами концентраций, при которых уже проявляются солонцеватые свойства почвы, но, во-первых, не полностью, а во-вторых, сохраняются еще свойства солончаковые. Поясню примером. Если навеску натриевого солончака промывать на воронке водой, то постепенно будут вымываться натриевые соли; когда промывание достигнет известной степени, когда концентрация солей в почвенной влаге понизится до некоторой величины, но еще не до нуля, начнут уже проявляться в очень слабой степени свойства солонца (например, почва на воронке начнет набухать, фильтрация заметно замедляться, фильтрующиеся промывные воды начнут окрашиваться в бурый цвет коллоидально растворяющимся органическим веществом почвы); если промывание продолжать, то солончаковые свойства почвы будут постепенно затухать, а солонцеватые, наоборот, нарастать; при полном удалении солей солончаковые свойства совершенно исчезнут, а солонцеватые достигнут своего

максимума, возможного для данной почвы при имеющемся в ней количестве поглощенного натрия. Та стадия солончака, когда в нем остается еще растворимых солей больше, чем требуется для проявления начала солонцеватых свойств, будет стадией чистого солончака. Та стадия этой почвы, когда в ней не остается уже растворимых солей и проявляются полностью солонцеватые свойства, будет стадией чистого солонца, а при содержании солей между этими концентрациями, когда имеются в почве свойства и солончака, и солонца, будем иметь смешанную стадию солонца-солончака.

Таким образом, солонцеватые физические свойства почвы, очень неблагоприятные для сельскохозяйственной культуры, являются результатом присутствия в почве поглощенного натрия, но такое влияние на почву поглощенного натрия полностью может сказаться лишь в отсутствие в почве легкорастворимых солей, в присутствии же достаточного их количества оно вовсе не будет проявляться; *легкорастворимые простые соли препятствуют поглощенному натрию создавать в почве солонцеватые физические свойства.*

В солончаках и солонцах часто присутствуют, и иногда в очень больших количествах, труднорастворимый углекислый кальций (и углекислый магний); влияние этой соли на проявление солонцом солонцеватых физических свойств не может выразиться в более или менее значительной степени даже при очень значительном содержании ее, во-первых, потому что растворимость ее ничтожна, а во-вторых, потому что присутствие углекислого кальция в солонце очень сильно увеличивает, как мы увидим ниже, концентрацию стабилизирующего фактора ОН; поэтому карбонатные солонцы, если они не содержат легкорастворимых простых солей, могут при достаточном количестве поглощенного натрия проявлять резкие солонцеватые физические свойства. Конечно, некоторое понижающее влияние углекислый кальций несомненно оказывает; так, например, карбонатные солонцы обладают менее крупной и менее прочной структурой, нежели солонцы бескарбонатные; в отношении физических свойств эти солонцы надо считать в общем более благоприятными для сельскохозяйственной культуры, нежели бескарбонатные солонцы. Приходится, однако, отметить, что влияние в этом отношении углекислого кальция на солонцы почти еще не исследовано.

Химические свойства солонцов

Основным химическим свойством солонцеватых почв, отличающим их от всех других почв, кроме натриевых и натриево-кальциевых солончаков, является известное уже нам присутствие в поглощающем их комплексе поглощенного натрия. Это основное химическое свойство влечет за собою другую производную химическую особенность этих почв, делающую эти почвы особенно неблагоприятными для сельскохозяйственной культуры, а именно оно является непосредственной причиной присутствия в почвенном растворе солонцов очень вредной для растений соды.

Образование соды в почве. Сода в солонцах ведет себя во многих отношениях иначе, чем все остальные простые легкорастворимые соли. Во-первых, ее количество в солонцах, как общее правило, никогда не достигает тех величин, в каких могут встречаться в почве другие легкорастворимые соли; десятые процента соды в почве считаются уже большим содержанием. Во-вторых, выщелачивание водой соды из солонца идет иначе, чем остальных легкорастворимых солей из солончака.

Если мы будем промывать, например, хлоридный солончак водой, то сравнительно быстро вымоем из него все содержащиеся там хлориды и в промывных водах получим столько именно хлоридов, сколько их содержалось в почве; причем если промывание вести одинаковыми порциями воды, то после каждого промывания в почве будет оставаться только то количество хлоридов, которое осталось в растворе воды, не удаленной из почвы после предшествующего промывания. Так, если 100 г солончака промывать последовательно водой, каждый раз в количестве 500 куб. см, и каждый раз отфильтровывать 400 куб. см раствора, а оставлять в почве остальные 100 куб. см, то первым промыванием из почвы будет удалено $\frac{4}{5}$ первоначально имевшихся там хлоридов, а с почвой останется $\frac{1}{5}$ этого количества; второе промывание удалит $\frac{4}{5}$ этого оставшегося количества, т. е. $\frac{4}{25}$ первоначального, а с почвой останется $\frac{1}{25}$ первоначального количества; после третьего промывания в почве останется уже только $\frac{1}{125}$ первоначального количества и т. д.; т. е. количество хлоридов будет очень быстро убывать по вполне определенному закону. Не то мы обнаружим при вымывании соды из солонца; поступая так же, как описано выше для солончака, мы найдем, что в солонце после первого промывания осталось, в зависимости от характера взятого солонца, или лишь немного меньше соды, чем было до промывания, или же столько же, или же даже больше; то же мы найдем после второго промывания и т. д. Оказывается, что солонец практически нельзя отмыть от соды, что после каждого промывания ее количество почти не убывает, что общее содержание вымытой из солонца соды, если промывание продолжалось достаточно долго, будет во много раз превосходить количество ее, первоначально найденное в солонце до его промывания. Имеем дело с явлением, очень напоминающим ход выщелачивания из почвы труднорастворимых соединений, например, углекислого кальция. Но само собой понятно, так объяснять это явление не приходится, так как сода легкорастворимая соль и все имеющееся в почве ее количество должно раствориться водой уже первого промывания. Наблюдающееся здесь явление легко может быть понято на основании вышеизложенных свойств поглощающего комплекса солонца.

Образование соды в карбонатных солонцах. Возьмем сначала случаи карбонатного солонца, содержащего углекислый кальций. Поглощающий комплекс солонца содержит натрий, способный обмениваться на любые катионы, содержащиеся в почвенном растворе; а так как солонец содержит углекислый кальций, то в почвенной влаге будет содержаться катион кальция, который будет обмениваться на поглощенный натрий солонца; кальций почвенного раствора будет становиться вместо натрия, а натрий в эквивалентном количестве будет переходить в почвенный раствор вместо кальция углекислого кальция, образуя таким образом соду. Эта реакция образования соды в солонце объясняет все те особенности, какие наблюдаются в солонцах в отношении этой соли. Остановимся несколько на этом. Углекислый кальций, как известно, очень слабо растворим; поэтому в почвенной влаге или в водной вытяжке из карбонатного солонца концентрация углекислого кальция будет очень низкая; ясно, что и количество вытесненного натрия, а значит и количество образующейся соды в солонце не может быть высоким; в каждый данный момент солонец не может содержать много соды. Но реакция вытеснения пойдет дальше, если мы удалим образовавшуюся соду, так как тогда кальций растворенного углекислого кальция снова вытеснит новые количества натрия и т. д.; каждый раз после удаления соды из солонца

она должна образовываться снова и, конечно, каждый раз примерно в тех же количествах. Если углекислого кальция в почве достаточно, то образование соды в солонце будет идти до тех пор, пока весь поглощенный натрий солонца не заменится на кальций углекислого кальция, т. е. до тех пор, пока наша почва не лишится своих солонцовых свойств, пока она не рассолонцует, т. е. не превратится в почву, насыщенную только кальцием и магнием.

Образование соды в бескарбонатных солонцах. Возьмем теперь бескарбонатный солонец. Так как такой солонец не содержит углекислого кальция (или магния), то имеющаяся в нем сода не может образоваться вышеуказанным путем. В этом случае поглощенный натрий солонца вытесняется водородным ионом почвенного раствора; вытесненный натрий с углекислотой почвенного раствора и почвенного воздуха дает соду. Так как концентрация водородного иона в почвенном растворе бескарбонатных солонцов всегда ниже концентрации катиона кальция в почвенном растворе карбонатных солонцов, насыщенном углекислым кальцием, то бескарбонатные солонцы всегда менее богаты содой.

Общее количество соды, могущее образоваться в солонце. Итак, в солонцах как карбонатных, так и бескарбонатных, сода образуется в самой почве в результате взаимодействия между почвенным раствором и поглощающим комплексом, содержащим поглощенный натрий, образуется в сравнительно очень небольших количествах, но непрерывно, если образовавшаяся сода удаляется из раствора тем или другим способом. Общее количество соды, которое солонец может дать, может быть вычислено, если определить содержание в нем поглощенного натрия, помножив процентное содержание последнего (А) на отношение весов Na_2CO_3 к 2Na , т. е. на $106/46$; произведение $106/46 \cdot A$ покажет количество соды в граммах, которое может образоваться из 100 г солонца. Редко можно встретить солонец, в наиболее солонцеватом горизонте которого содержалось бы больше 1% (от веса почвы) поглощенного натрия; поэтому приблизительно можно считать, что максимальное общее количество соды, могущее получиться из 100 г солонца, не превосходит 2,1 г.

Влияние легкорастворимых солей на образование соды в почвах, содержащих поглощенный натрий. Мы указывали выше, что в чистых солончаках (натриевых) присутствие в поглощающем комплексе поглощенного натрия не может проявиться в создании в таком солончаке солонцеватых физических свойств; этому препятствует достаточное содержание в нем легкорастворимых солей, свертывающих почвенные коллоидальные частички. Совершенно так же достаточное содержание в солончаке натриевых солей (хлоридов или сульфатов) препятствует образованию в почве соды; если концентрация катиона натрия этих солей в почвенном растворе значительно выше, чем концентрация там катиона кальция (карбонатные солончаки) или катиона водорода (бескарбонатные солончаки), тогда эти последние два катиона (т. е. кальций и водород) не будут в состоянии вытеснять натрий из поглощающего комплекса, так как в случае их вступления туда, они сами будут вытесняться оттуда катионом натрия имеющихся в растворе натриевых солей. Если концентрация натриевых солей в почвенном растворе солончака будет ниже той, при которой становится совершенно невозможным вытеснение поглощенного натрия катионами кальция и водорода, то сода будет образовываться, но только в пониженном количестве. И здесь, как в отношении солонцеватых физических свойств, мы будем иметь ряд переходных почв от чистых солончаков к чистым солонцам, т. е. от почв.

в которых соды не образуется вовсе, к почвам, в которых она образуется в максимальном для данной почвы количестве, ряд смешанных почв солонцов-солончаков.

Факторы, влияющие на количество соды в солонцах. Так как сода в солонцах является результатом вытеснения натрия из поглощающего комплекса кальцием углекислого кальция или водородным ионом почвенного раствора, то количество соды в солонце будет зависеть, во-первых, от концентрации кальция или водородного иона в почвенном растворе; чем выше их концентрация, тем больше будет вытеснено поглощенного натрия из почвы, тем больше поэтому образуется соды; поэтому все то, что повышает растворимость углекислого кальция и количество водородного иона в почвенном растворе, увеличивает вместе с тем количество соды в почвенном растворе солонца. Таким фактором, повышающим растворимость углекислого кальция и содержание водородного иона в почвенной влаге является углекислота; поэтому все, что увеличивает образование углекислоты в почве, усиливает и образование соды в солонце. Выход соды в солонцах зависит, во-вторых, от содержания в солонце поглощенного натрия; чем больше это содержание, т. е. чем солонцеватее почва, тем она в общем будет богаче содой.

Нормальная и двууглекислая сода солонцов. Угленатриевая соль существует, как известно, в двух формах: в виде нормального углекислого натрия (Na_2CO_3) и в виде двууглекислого натрия (NaHCO_3); первая из них значительно более щелочна (дает больше гидроксильного иона OH в водных растворах), нежели вторая, и поэтому нормальная сода значительно вреднее растениям, чем двууглекислая.

Сода нормальная очень легко в присутствии свободной углекислоты, поглощая последнюю, переходит в двууглекислую, а так как в почвах всегда имеется свободная углекислота, то сода в солонцах никогда не бывает только в виде Na_2CO_3 , а всегда в виде смеси Na_2CO_3 и NaHCO_3 или в виде только NaHCO_3 ; чем больше CO_2 в почве, тем больше в этой смеси преобладает двууглекислая сода; когда содержание свободной углекислоты в почве будет больше некоторой величины, то вся сода будет в виде двууглекислой. Так как содержание углекислоты в почвенном растворе и в почвенном воздухе есть величина переменная, сильно изменяющаяся в зависимости от растительного покрова, микробиологической деятельности почвы, температуры и влажности почвы, то общая концентрация соды в почвенном растворе и соотношение между количеством сильно вредной нормальной и сравнительно мало вредной двууглекислой содой в одном и том же солонце должны меняться из года в год и в разное время года в зависимости от условий погоды; параллельно с этим будет изменяться и отношение растений к этому солонцу. В почвах сильносолонцеватых, где рост растений будет и при наиболее благоприятных внешних условиях сильно угнетен, эти колебания неблагоприятных свойств солонца будут малозаметны; в почвах же среднесолонцеватых и особенно слабосолонцеватых зависимость величины урожая от этих колебаний может быть сильно выражена. Вообще надо иметь в виду, что солонцы между всеми видами почв являются наиболее неустойчивыми образованиями, наиболее сильно реагирующими на всякие изменения внешних условий; и если изучение жизни всякой почвы имеет громадное значение в целях сельского хозяйства, то изучение в этом отношении солонцов, если ими пользуются или предполагают пользоваться под сельскохозяйственной культурой, представляется особенно существенным. Как пример сильного изменения во времени свойств солонцеватых почв, имеющих существенное значение

в жизни растения, приведу в прилагаемой таблице содержание соды и растворимость гумуса в различное время года в солонцеватой почве Носовской опытной станции (образцы брались буром на возможно близком расстоянии один от другого).

Таблица 1

Сроки определения	Нормальная сода в CO_2					Общая щелочность в HCO_3				
	14/VI	17/VII	17/IX	16/XI	4/V	14/VI	17/VII	17/IX	16/XI	4/V
	1926 г.				1927 г.	1926 г.				1927 г.

Слой 5—15 см

Повышенное место	Нет	0,0048	0,0060	Нет	Нет	0,065	0,095	0,077	0,072	0,091
Пониженное »	»	0,0023	0,0023	»	»	0,073	0,061	0,056	0,058	0,067

Слой 20—30 см

Повышенное место	Нет	0,0046	0,0029	Нет	Нет	0,053	0,074	0,069	0,061	0,074
Пониженное »	»	Следы	0,0012	»	»	0,053	0,032	0,034	0,021	0,028

Слой 35—45 см

Повышенное место	Нет	0,0048	0,0031	Нет	Нет	0,061	0,078	0,056	0,069	0,067
Пониженное »	»	Нет	0,0035	»	»	0,057	0,032	0,064	0,026	0,023

Сроки определения	Щелочность щелочных карбонатов в HCO_3					Растворимость гумусов в куб. см 0,02 норм. KMnO_4				
	14/VI	17/VII	17/IX	16/XI	4/V	14/VI	17/VII	17/IX	16/XI	4/V
	1926 г.				1927 г.	1926 г.				1927 г.

Слой 5—15 см

Повышенное место	0,029	0,052	0,043	0,047	0,078	71,6	29,9	20,7	19,5	29,82
Пониженное »	0,035	0,027	0,023	0,029	0,050	62,8	28,0	17,7	10,9	53,68

Слой 20—30 см

Повышенное место	0,022	0,027	0,036	0,032	0,054	61,3	15,3	16,7	13,5	22,84
Пониженное »	0,020	0,013	0,019	0,021	0,026	69,7	17,8	20,2	14,9	45,73

Слой 35—45 см

Повышенное место	0,024	0,025	0,027	0,038	0,033	56,9	11,2	11,3	15,6	20,87
Пониженное »	0,021	—	0,019	0,016	0,023	53,0	19,3	17,7	15,2	41,75

ПОДВИЖНОСТЬ ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА СОЛОНЦОВ

Разрушение поглощающего комплекса почвы водой и зависимость интенсивности этого процесса от состава поглощенных катионов. Нам необходимо остановиться еще на одном свойстве солонцов, резко отличающем эти почвы от других типов почв. Поглощающий комплекс их значительно более подвижен, чем у остальных почв. Подвижность эта

выражается в том, что органическая его часть легко выщелачивается водой, а минеральная часть легко разрушается ею, распадается на более простые соединения и в том числе на конечные продукты распада силикатов, а именно на кремнекислоту и гидроокиси железа и алюминия.

Поглощающие комплексы других типов почв отличаются гораздо большей сопротивляемостью разрушающему действию воды, они значительно менее подвижны. Наименьшая подвижность присуща поглощающему комплексу черноземных почв, насыщенному основаниями и именно кальцием и магнием. Как только в почвенный поглощающий комплекс получает доступ водородный ион (деградированные черноземы, подзолистые почвы и латериты), поглощающий комплекс становится более доступным разрушающему действию воды, начинается его распад, уменьшение его величины и скопление в тех или других местах почвы некоторых из конечных продуктов этого распада (окиси железа и алюминия во всей почвенной толще латеритных почв). Еще несравненно более доступным действию воды становится поглощающий комплекс почвы в том случае, если он содержит поглощенный натрий, но если почва при этом не содержит заметных количеств растворимых солей. В таких именно условиях находится поглощающий комплекс солонцов.

Причины такой зависимости действия воды на поглощающий комплекс от состава в нем поглощенных катионов легко понять, вспомнив то, что было сказано ранее о влиянии этого состава на степень распыленности поглощающего комплекса, на его коллоидальность. Чем мельче раздроблено данное количество сложных солей, тем больше будет поверхность воздействия на эти соли воды, тем больше будет и сам результат воздействия, т. е. разрушение этих солей. Наименьшей распыленностью, или иначе наибольшей агрегатностью, отличается поглощающий комплекс, насыщенный кальцием и магнием (см. стр. 326), поэтому он сильнее всех остальных видов поглощающего комплекса сопротивляется разрушению. Наибольшей распыленностью, т. е. наименьшей агрегатностью, обладает поглощающий комплекс, насыщенный натрием; поэтому такой комплекс при прочих равных условиях (при той же степени увлажнения) сильнее и быстрее всех остальных видов поглощающих комплексов разрушается водой. Поглощающий комплекс с поглощенным водородом занимает по своей распыленности промежуточное место между комплексом, содержащим только щелочно-земельные металлы, и комплексом, содержащим поглощенный натрий (приближаясь ближе к первому), поэтому поглощающий комплекс, насыщенный основаниями, легче разрушается, чем комплекс, насыщенный кальцием и магнием, и несравненно труднее, чем комплекс, содержащий поглощенный натрий.

Разрушение поглощающего почвенного комплекса, самой подвижной и поэтому самой ценной части почвы, представляется явлением чрезвычайно нежелательным в самом широком смысле этого слова и, в частности, в интересах сельскохозяйственной культуры; вопрос о мерах борьбы с этим разрушением приобретает особое значение для солонцеватых почв и по месту залегания их, по той скорости, с которой это разрушение происходит. Мы увидим ниже, что меры борьбы с этим нежелательным явлением совпадают с мерами коренного улучшения солонцов в целях сельскохозяйственной культуры; тем большее значение поэтому приобретает вопрос о коренных мелиорациях солонцов.

Так как естественно происходящее разрушение (деградация) солонцеватых почв ввиду только что указанных последствий такого разруше-

ния, настоятельно требует выработки и применения мер борьбы с ним, то мы считаем полезным несколько познакомить читателя с этим процессом деградации.

ОСОЛОДЕНИЕ СОЛОНЦОВ

Сущность процесса осолодения солонца и отличие этого процесса от оподзоливания. Разрушение солонцов в общем аналогично разрушению почв таежной зоны под влиянием оподзоливания; в том и другом случае из почвы постепенно исчезает ее поглощающий комплекс как таковой; почва обогащается относительно более крупными механическими элементами за счет коллоидальной ее части; те почвенные горизонты, в которых идет это разрушение, обедняются, уже, видимо, на глаз, гумусом и железом, поэтому приобретают белесоватую окраску. Но имея несомненно общие черты сходства, эти два процесса, процесс оподзоливания и процесс деградации солонца, вместе с тем и отличаются один от другого. Во-первых, они различны по причине, вызывающей разрушение: в почвах подзолистой зоны причина его—вхождение водородного иона, и, значит, коренная мера борьбы с этим явлением здесь—достаточное известкование, так как углекислый кальций в почве препятствует вступлению водородного иона в поглощающий комплекс; в почвах солонцеватых причина деградации—присутствие в поглощающем комплексе поглощенного натрия; как мы увидим ниже, здесь известкование является мерой, недостаточной для коренной борьбы с этим явлением; углекислый кальций лишь отчасти препятствует разрушению поглощающего комплекса солонцов, тут необходимы другие средства. Во-вторых, процессы эти протекают в различных условиях климата: оподзоливание требует сравнительно влажного климата, разрушение же солонцов успешно идет и в засушливом климате. В-третьих, скорость процесса в обоих случаях очень различная; разрушение солонцов протекает с гораздо большей скоростью и дает часто в результате значительно более разрушенные, а потому менее ценные почвы, нежели оподзоленные почвы. В-четвертых, не вполне одинакова судьба тех продуктов разрушения, какие получаются при этих двух процессах: в то время как при оподзоливании почв освобождающаяся из сложных солей поглощающего комплекса кремниевая кислота (SiO_2) вымывается из почвы, в солонцах она скапливается в виде аморфной SiO_2 , переходящей, возможно, с течением времени в кристаллическую. В-пятых, углекислый кальций может полностью защитить почву от оподзоливания, солонцы же он защищает от деградации лишь частично.

Ввиду всех этих особенностей процесса разрушения солонцов, чтобы его не смешивать с процессом оподзоливания, ему дается особое название—осолодение, от слова «солодь», одного из местных названий тех почв, которые являются результатом разрушения солонца.

В чем же заключается сущность процесса осолодения? Так как поглощающий почвенный комплекс состоит из органической и минеральной части, то рассмотрим, что делает вода, воздействуя на каждую из этих частей в отдельности.

Органическая часть поглощающего комплекса, содержащая поглощенный натрий («гумат натрия»), является наиболее высоко дисперсной частью почвы; при воздействии воды на солонец эта часть растворяется в ней коллоидально; получаются растворы с настолько мелкими коллоидальными частичками органического вещества, насыщенного натрием,

что они, не задерживаясь, фильтруются через почву и уносятся вниз; почва, таким образом, быстро лишается той части гумуса, которая насыщена натрием, и процесс этот будет продолжаться, пока вся высокодисперсная часть органического поглощающего комплекса, т. е. часть его, насыщенная натрием, не будет вымыта из почвы. Минеральная часть поглощающего комплекса, даже насыщенная натрием, не дает с водой настолько мелких частиц, чтобы они не задерживались почвой; повидимому, потери этой части поглощающего комплекса непосредственной фильтрацией частиц ее через почву не происходит; но эта часть благодаря все-таки высокому раздроблению ее частичек очень сильно разлагается водой с отнятием от нее поглощенного натрия и разложением сложных молекул, находящихся на поверхности алюмосиликатных коллоидальных частиц, на простые окислы кремния, железа и алюминия; эти последние дают с водой уже значительно более высокодисперсные системы, чем сложные соли, благодаря чему эти окислы могут фильтроваться через почву и таким образом вымываться из нее; но при этом оказывается, что коллоидальная кремниевая кислота в условиях солонцеватых почв менее подвижна, чем остальные два окисла, и в то время как окись железа и окись алюминия целиком выносятся из места их освобождения, кремниевая кислота может задерживаться в осолодевающих горизонтах в виде аморфного осадка; так как такого задерживания освобождающейся SiO_2 из сложных солей в оподзоливающих горизонтах подзолистых почв не происходит, то определение аморфной кремниевой кислоты в разрушенном горизонте почвы дает неясное указание, каким процессом произошло разрушение нашей почвы, было ли здесь осолодение или оподзоливание. Процесс разрушения минеральной части поглощающего комплекса будет идти этим усиленным темпом, пока из этой части не исчезнет весь поглощенный натрий, т. е. пока солонец не рассолонится. Из изложенного видим, что процесс осолодения солонцов есть вместе с тем процесс деградации почвы, так как получающиеся новые образования по сравнению с солонцами несут явные признаки разрушения, упрощения; вместе с тем процесс этот есть процесс рассолонцевания солонца, так как по мере осолодения солонца солонцеватость его все уменьшается, и когда процесс осолодения дойдет до конца, солонец перестает быть солонцом, солонцеватость его исчезает совсем, он полностью рассолонцовывается.

Влияние углекислого кальция на процесс осолодения солонцов. Мы видели, что процесс оподзоливания не может протекать, если в почве имеется углекислый кальций; но если мы имеем дело с солонцом, содержащим углекислый кальций, то процесс осолодения все-таки имеет место, но протекает он менее энергично, особенно в отношении минеральной части поглощающего комплекса; тут дело в том, что находящийся в почвенном растворе кальций углекислого кальция постепенно вытесняет поглощенный натрий и постепенно переводит поглощающий комплекс солонца из состояния частичного или полного насыщения натрием в состояние насыщенности кальцием; но этот процесс замены поглощенного натрия кальцием, вследствие ничтожной растворимости углекислого кальция, протекает в природных условиях очень медленно; поэтому в этих солонцах почвенная влага действует на поглощающий комплекс двояко: с одной стороны, разрушает, а с другой стороны, постепенно уменьшает ту его часть, которая способна разрушаться; естественно, что в карбонатных солонцах разрушение поглощающего комплекса хотя несомненно и имеет место, но в конечном результате не может выразиться так сильно, как при прочих равных условиях в солонцах

бескарбонатных; повидному, в этом процессе у карбонатных солонцов теряется главным образом органическая часть поглощающего комплекса, минеральная же часть его сравнительно мало страдает. Таким образом, если имелись два солонца во всех отношениях совершенно одинаковые и отличающиеся только тем, что один карбонатный, а другой бескарбонатный, и если оба эти солонца вполне рассолонцевались, то полученные в результате этого процесса солоды будут между собой отличаться: солоды из бескарбонатного солонца по сравнению с таковой из солонца карбонатного будут представлять почву, гораздо более разрушенную, с меньшим содержанием и органического и минерального поглощающего комплекса, и очевидно, это различие между такими двумя солодами будет тем сильнее, чем сильнее была солонцеватость начальных солонцов, т. е. чем больше они содержали поглощенного натрия.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ПОГЛОЩЕННЫЙ НАТРИЙ

Возвратимся теперь к нашему примеру с черноземом (стр. 316), засолявшимся натриевыми солями. После рассоления он дал солонец. Солонец этот, подвергаясь действию атмосферных осадков, будет разрушаться, рассолонцовываться; в результате получим солоды; этим завершается та эволюция почвы, которая вызывается присутствием в ней натриевых солей; три главных звена в этой эволюции: натриевый солончак—солонец—солоды, связаны между собой постепенными переходами; получается непрерывная (во времени) цепь. Конечное звено—солоды будет резко отличаться от того чернозема, засолением которого получилось первоначальное звено—солончак, в том случае, если чернозем бескарбонатный, и тем резче, чем выше была солонцеватость солонца. Если чернозем был карбонатный, то получившаяся солоды будет значительно ближе по своим свойствам к этому чернозему.

Теперь мы имеем полную картину той эволюции, которую должна пережить почва вследствие засоления ее натриевыми солями; в нашем примере (см. стр. 316) засоленный чернозем, рассолившись, дал вторую стадию эволюции—солонец; стадия эта, как мы видели, отличается очень малым постоянством; уже в период солонца-солончака, когда еще не все растворимые соли успели вымыться, когда еще не полностью проявились солонцеватые свойства, почва начинает разрушаться, осолодевать; процесс этот продолжается вплоть до полного рассолонцевания, до получения в конечном результате солоды, т. е. почвы, которая по сравнению с тем первоначальным черноземом, из которого мы исходили и засоление которого мы предположили, будет обладать меньшей величиной поглощающего комплекса, и тем меньшей, чем больше натрия из засолявших чернозем солей могло вступить в его поглощающий комплекс. Само собой понятно, что эти три стадии эволюции: солончак—солонец—солоды, связаны между собой постепенными переходами. Затем понятно, что в таком чистом виде эволюция солончака может происходить только тогда, когда засоление, сменившись рассолением, уже не возобновляется; в противном случае картина усложняется, и тем более, чем чаще чередовались эти периоды засоления и рассоления. Всякое новое засоление солонца превратит его снова в солончак, и если засоление достаточно сильное, то, конечно, у почвы исчезнут все бывшие ранее солонцеватые свойства. Допустим, например, что наш засоленный натриевыми солями чернозем рассоляется лишь на некоторую глубину во время дождей, а в промежутки между ними капиллярным поднятием снова засоляется до самой поверх-

ности. В период засухи мы будем иметь в поверхностном горизонте почвы скопление солей, горизонт этот будет представлять солончак; ниже будут горизонты, лишенные или сильно обедненные растворимыми солями, — это будут солонцы или солонцы-солончаки. В периоды дождей будем иметь обратное: верхние промытые горизонты будут солонцовыми; нижние, куда вымыты соли, — солончаковые; но в эти периоды дождей верхние горизонты не только будут из солончаковых переходить в солонцеватые, но вместе с тем они будут несколько осолодевать; после каждого дождливого периода степень осолодения верхнего горизонта будет усиливаться. Вновь наступившее в сухую погоду засоление даст уже не тот солончак, какой был до начала осолодения, а в той или другой степени осолоделый солончак, и последовавшая затем дождливая погода превратит эти солончаковые горизонты в осолоделый солонец.

МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ

Нужно различать мелиорацию коренную, когда вполне устраивается первопричина неблагоприятных свойств солонца и притом в сравнительно короткий промежуток времени, и мелиорацию, имеющую целью уменьшить отдельные вредные свойства солонца и большей частью лишь временно.

Коренная мелиорация солонцов

Коренная мелиорация будет, как следует из всего вышеизложенного, заключаться в удалении из солонца содержащегося в его поглощающем комплексе поглощенного натрия и в замене его кальцием как наиболее благоприятным для жизни растений поглощенным катионом.

Г и п с о в а н и е. Единственно известный нам путь для этой замены, пригодный для всех солонцов как карбонатных, так и бескарбонатных, — смешение с почвой какой-либо кальциевой соли. Если отнестись от экономической стороны, то лучше всего для этого взять легкорастворимую соль кальция, например хлористый кальций, так как благодаря возможности высоких концентраций ее в почвенной влаге полное вытеснение поглощенного натрия в этом случае произойдет в возможно более короткий срок. Но соль эта настолько дорога, что применение ее совершенно невозможно. Вообще надо иметь в виду, что коренная мелиорация солонцов — мера очень дорого стоящая и тем более дорогая, конечно, чем солонец более богат поглощенным натрием, так как тем больше надо будет внести в почву кальциевой соли. Из кальциевых солей самая дешевая — углекислый кальций, а затем сернокислый (гипс); но углекислый кальций для мелиорации не подходит: он слишком мало растворим и вытеснение натрия из солонца будет идти слишком долго; этой мерой мы переведем лишь солонец бескарбонатный в карбонатный, а в случае уже карбонатного солонца только повысим содержание в нем CaCO_3 , но в том и другом случае почва останется солонцом, со всеми его отрицательными свойствами; *улучшить солонец внесением в него одного лишь (см. ниже) углекислого кальция невозможно.*

Остановились поэтому на гипсе; он, с одной стороны, достаточно растворим для целей вытеснения, а с другой стороны, он не слишком растворим и потому не будет так бесполезно вымываться из почвы, как, например, хлористый кальций; конечно, вследствие меньшей растворимости гипса мелиорация им потребует большего времени, чем мелиорация хлористым кальцием, но стоимость операции в первом случае будет значитель-

но меньшей и потому, что гипс дешевле, и потому, что его потребуется меньше.

Я остановлюсь несколько подробнее на применении гипса для улучшения солонцов, так как, судя даже по самой новейшей литературе, затрагивающей этот вопрос, сущность этой операции не совсем ясна и этот несомненно правильный прием коренной мелиорации бракуется на основании неправильно произведенных опытов и неправильно толкуемых результатов. Само собой понятно, что любая мера может дать благоприятные результаты лишь тогда, когда она правильно выполнена, и отвергать смысл ее потому, что при неправильном применении она не оправдывает возлагаемых на нее надежд, конечно, совершенно недопустимо.

Применение гипса имеет смысл прежде всего тогда, когда найдено нужным вытеснить весь или почти весь поглощенный натрий из почвы. Количество требуемого для этого гипса может быть приблизительно вычислено, если определить содержание в почве поглощенного натрия на основании процентного содержания его, например, в пахотном слое нужно сделать расчет его количества на единицу площади в толще пахотного слоя; на основании полученного веса поглощенного натрия, например, в пахотном слое 1 га вычисляется эквивалентный вес гипса; а так как нам известно, что ни одна реакция обмена не идет полностью, то это теоретическое количество должно быть увеличено; трудно сказать более или менее точно во сколько раз (подобных исследований не делалось), но можно приблизительно считать, что раза в полтора.

Такое вычисление покажет, что для полной замены содержащегося только в пахотном слое поглощенного натрия при 1% его понадобится на 1 га около 140 000 кг (около 9 000 пудов) гипса¹. Цифра, как видим, колоссальная; может быть, ее можно несколько уменьшить, взяв гипса в этом случае не в $1\frac{1}{2}$ раза больше, чем эквивалентное количество (93 478 кг), а меньше, например 120 000 кг на гектар. Дальнейшее понижение этого количества будет нерационально и вот почему. Допустим, что прибавка 20 000 кг сверх теоретического количества (100 000 кг) как раз та, которая требуется для полного вытеснения поглощенного натрия, и предположим, что вместо нужных 120 000 кг мы внесли, например на $\frac{1}{10}$ меньше, т. е. около 108 000 кг, тогда будет вытеснен из почвы не весь поглощенный натрий (1%), а примерно $\frac{9}{10}$, т. е. в почве останется еще 0,1% поглощенного натрия; при таком содержании почва останется еще сильносолонцеватой и будет давать очень низкие урожаи, т. е., сэкономив сравнительно немного и произведя все-таки колоссальную затрату на 108 000 кг гипса, мы цели мелиорации не достигнем—*гипс в этом количестве не исправит нашей почвы*. Вот одна из причин создавшегося у некоторых исследователей мнения, что гипс непригоден для улучшения солонцов, что гипсование не действует; из изложенного понятно, что дело тут не в гипсе, а в неправильном его применении. Но это еще не все. Если произвести операцию внесения гипса даже в должном количестве и на этом успокоиться, то в результате можно не только не улучшить почву, а сделать ее еще менее пригодной для сельскохозяйственной культуры.

¹ Примерный расчет. Пусть в пахотном слое содержится 1% поглощенного Na (почва чрезвычайно солонцеватая); объем пахотного слоя (при мощности его в 20 см) почвы на 1 га равняется $10\,000\text{ см} \times 10\,000\text{ см} \times 20\text{ см} = 2,10^9\text{ куб. см.}$; принимая объемный вес почвы за 1,25, получим, что пахотный слой почвы с 1 га весит $2,10^9 \times 1,25\text{ г} = 25,16^8\text{ г} = 2\,500\,000\text{ кг}$. Вес поглощенного натрия в этом слое будет $25\,000 \times \frac{1}{100} = 250\,000\text{ кг}$, или 1 600 пудов; эквивалентное ему количество гипса будет равно $25\,000 \times (\frac{1}{2}\text{ CaSO}_4 + \text{aq}) : \text{Na} = 25\,000 \times 86 : 23\text{ кг} = 93\,478\text{ кг} = 5\,842\text{ пуда гипса}$. Увеличив это теоретически необходимое количество гипса в $1\frac{1}{2}$ раза, получим 8 763 пуда на гектар.

Действительно, мы видели раньше, что полное замещение поглощенного катиона другим обработкой почвы солью этого другого катиона возможно лишь при удалении из почвы продуктов обмена. Продуктом обмена между почвой с поглощенным натрием и гипсом будет легкорастворимый сернокислый натрий. *Гипсование солонца может привести к положительным результатам только тогда, когда из почвы будет удаляться образующийся сернокислый натрий*, а для этого почва должна хорошо увлажняться и хорошо дренироваться; если естественнo-исторические условия места таковы, что это необходимое условие не выполняется, а искусственнoе орошение и искусственный дренаж устроить нельзя, то гипсование может быть применено не ко всякому солонцу, так как, при содержании поглощенного натрия в солонце выше некоторой величины, результат будет не только не положительный, но даже может быть отрицательным: из солонца будет вытеснена только часть поглощенного натрия (реакция вытеснения не может пойти до конца), оставшаяся солонцеватость может быть еще в той же степени вредна растениям, как и первоначальная, а кроме того, прибавится еще вредная растениям легкорастворимая сернокислая соль натрия.

Таким образом, коренная мелиорация солонца гипсованием—мера дорогая и требует для успешности умелого применения; в противном случае, как и всякая другая мера, она не даст положительного эффекта, а в некоторых случаях произведет даже отрицательное действие. *Гипсование солонцов необходимо производить достаточными количествами гипса и при условии достаточного увлажнения почвы и хорошего ее дренажа.*

Гипсование одинаково пригодно и для бескарбонатных и для карбонатных солонцов. Специально же для карбонатных солонцов гипс может быть заменен серной кислотой или серой. Рассмотрим то и другое отдельно.

Применение серной кислоты. Очень часто карбонатные солонцы содержат кальция в своем углекислом кальции значительно больше, чем его нужно для полного вытеснения из почвы поглощенного натрия. Но, как мы уже указывали, реакция обмена этого кальция на поглощенный натрий вследствие очень малой растворимости углекислого кальция происходит чрезвычайно медленно: процесс этот во всяком случае порядка вековых процессов. Чтобы воспользоваться имеющимся уже в солонце кальцием, надо его из углекислого перевести в другую, более растворимую соль. Этого можно достичь внесением в почву поливкой любой кислоты. Повидимому, дешевле всего применение для этой цели серной кислоты; внесенная в почву серная кислота будет давать с углекислым кальцием почвы сернокислый кальций, кальций которого будет вытеснять поглощенный натрий из почвы; в конце концов эта операция приводит к гипсованию и к ней поэтому применимо все то, что было сказано о гипсовании. Общее количество серной кислоты, необходимое для полного вытеснения поглощенного натрия, должно быть рассчитано так, чтобы получилось нужное количество гипса; кислоту надо вносить поливкой водными растворами ее слабой концентрации (1—2%), чтобы она не разрушила других почвенных соединений. Если опять взять наш предельный случай солонца с 1% поглощенного натрия, то для образования в нем 120 000 кг гипса на 1 га в слое в 20 см понадобится около 70 000 кг H_2SO_4 ; для получения 2% раствора это количество кислоты надо будет развести в 3 500 000 л воды, т. е. в 300 000 ведрах. Таким количеством 2% серной кислоты надо полить гектар карбонатного солонца, содержащего 1% поглощенного натрия, чтобы образовавшегося гипса

было достаточно для полного рассолонцевания верхнего 20 см слоя этого солонца. Один кв. метр солонца для этого нужно оросить около 30 ведрами раствора. И здесь приходится оперировать с колоссальными количествами. Но если имеем дело с почвами средне- и слабосолонцеватыми, то коренное улучшение их поливкой серной кислотой, так же как и непосредственным гипсованием, представляется уже более осуществимым: так, если почва содержит только 0,1% поглощенного натрия, то для полного его вытеснения из слоя в 20 см понадобится 7 000 кг H_2SO_4 на гектар: на каждый кв. метр площади придется внести около трех ведер 2% серной кислоты.

Применение серной кислоты в целях мелиорации солонцов для получения положительных результатов требует выполнения тех же условий, как и гипсование: она должна быть внесена в количестве не меньшем, чем нужно для полного или почти полного рассолонцевания, и почва должна поддерживаться при достаточной влажности и обладать хорошим дренажем для удаления получающегося сернокислого натрия; если по каким-либо причинам (например, экономическим) это полностью невыполнимо, то такую мелиорацию не надо производить, так как в этом случае могут получиться даже отрицательные результаты. Если солонец бескарбонатный, то серную кислоту можно применять только совместно с внесением углекислого кальция.

Применение серы. Не так давно американскими исследователями разработан вопрос об окислении элементарной серы в почвах до серной кислоты под влиянием деятельности особых бактерий (процесс, носящий название сульфификации), широко распространенных в почве. В почву вносится возможно тонко раздробленная сера (например, серный цвет), и эта сера постепенно будет в почве окисляться в серную кислоту и рассолонцевывать карбонатный солонец. С какой интенсивностью будет протекать процесс сульфификации, как скоро вся сера окислится в серную кислоту, а значит, в течение какого времени может произойти рассолонцевание солонца—все эти вопросы для данной почвы могут быть разрешены лишь опытным путем. И в этом случае, если солонец бескарбонатный, то мелиорация его серой требует совместного известкования.

Заключение. Этим мы и заканчиваем вопрос о коренной мелиорации солонцов. В заключение можно отметить, что вопрос о коренной мелиорации, являясь теоретически вполне ясным и определенным, практически почти совершенно еще не разработан. Даже гипсование, наиболее простой и старый метод, нуждается еще в детальном экспериментальном исследовании. Необходимо иметь в виду, что такое исследование связано с громадными и разнообразными трудностями. Достаточно указать на те серьезные затруднения, на какие наталкивается исследователь вследствие необыкновенной пестроты агрономических свойств почвенного покрова даже на очень небольших солонцеватых площадях, что уже одо чрезвычайно усложняет и удорожает производство опытов. Так, например, на солонцовом участке Носовской станции площадью всего лишь 5 десятин вегетационный опыт, произведенный с 34 образцами почв, взятых с разных мест этого участка, показал, что урожай овса (без удобрения) колеблется в зависимости от места взятия образца в очень широких пределах; если наименьший из полученных урожаев принять за 100, то наивысший выразится цифрой 650; анализ водных вытяжек 21 из этих образцов дал такие колебания для различных величин¹:

¹ Анализ принадлежит Е. Э. Гейне.

просушенный остаток	минимум	0,076%	максимум	0,109%
прокаленный »	»	0,035%	»	0,062%
общая щелочность в HCO_3	»	0,044%	»	0,077%
щелочность щелочных карбонатов в HCO_3	»	0,017%	»	0,060%
растворимый гумус (в куб. см 0,02 норм. KMnO_4)	»	57%	»	110%
CaO	»	0,009%	»	0,023%
MgO	»	0,008%	»	0,013%

Но и помимо этой пестроты почвенного покрова, постановка опытов по улучшению солонцов по самому существу своему требует и больше затрат и более углубленной работы, нежели большинство других полевых исследований; кроме того, для успешности этих работ необходима углубленная лабораторная разработка вопроса с выработкой соответствующей методики. Все это может быть осуществлено при наличии хорошо оборудованной лаборатории с достаточным по числу и своей химической подготовке научным персоналом. Можно с уверенностью сказать, что ни одно из наших опытных учреждений, ведающих вопросами солонцов, не удовлетворяет всем этим необходимым для действительно производительной работы условиям, а большинство влачит просто жалкое существование. Между тем можно указать целый ряд исследований, разработка которых сразу практически продвинула бы вопрос о мелиорациях. Остановлюсь на одном из таких вопросов.

Выше мы видели, что коренная мелиорация солонцов, содержащих около 1% поглощенного натрия, практически неосуществима, так как требует колоссальных затрат. Далее мы видели, что при уменьшении этих затрат всего даже на $\frac{1}{10}$ необходимого количества гипса может не дать уже положительных результатов. Но другое дело, если мы имеем слабосолонцеватую почву, содержащую, например, всего около 0,05% поглощенного натрия, но дающую все-таки лишь ничтожные урожаи. Коренная мелиорация такой почвы гипсованием потребует для полного удаления поглощенного натрия около 7 000 кг (440 пуд.) гипса на гектар, но с несомненностью можно утверждать, что некоторое количество поглощенного натрия в почве может быть даже вовсе безвредным для растений; так вот допустим, что для вышеозначенной солонцеватой почвы опытное исследование покажет, что содержание 0,025% поглощенного натрия безвредно или лишь очень мало вредно; тогда вместо 7 000 кг гипса можно будет для коренной мелиорации с полным успехом ограничиться лишь 3 500 кг на гектар, т. е. уменьшить расходы вдвое. Возможны, таким образом, такие случаи, когда знание максимального количества поглощенного натрия в почве, которое выносятся сельскохозяйственными растениями без заметного для них вреда, превратит коренную мелиорацию почвы из экономически невыгодной во вполне доступную. Очевидно, это такой вопрос, которым следовало бы заняться.

Когда почва сравнительно слабо солонцевата, т. е. содержит сравнительно мало поглощенного натрия, но во всяком случае еще столько, что он заметно понижает урожаи, то для таких почв могут оказаться пригодными все приемы, понижающие дальше содержание поглощенного натрия и потому увеличивающие производительность почвы. Приемы эти нельзя будет отнести к коренной мелиорации, так как ими не достигается полное удаление поглощенного натрия, т. е. перевод почвы в нормальное состояние, но вместе с тем они приближаются к этой категории мелиораций, так как основаны на одном и том же с нею принципе, т. е. на вытеснении

из почвы поглощенного натрия, но лишь частичном. Сюда будет относиться внесение в такие слабосолонцеватые почвы гипса, серной кислоты, элементарной серы в количествах, недостаточных для полного вытеснения поглощенного натрия; но такие способы улучшения могут дать благоприятные результаты, повторяем, лишь тогда, когда почва хорошо дренируется и когда небольшое понижение количества поглощенного натрия, а значит, и небольшое уменьшение концентрации соды в почвенном растворе, может уже благоприятно отзываться на урожай; то и другое условие может выполняться на данной почве, а может и не выполняться; это будет зависеть от свойств почвы, а потому эти приемы могут давать, а могут и не давать положительных результатов; решение этого вопроса в настоящее время может дать лишь опыт на данной почве.

То, что было сейчас сказано в отношении гипса и серной кислоты, будет относиться, конечно, ко всем веществам, достаточно растворимым, содержащим щелочноземельные катионы, способные к обмену с поглощенным натрием, а также и к кислым веществам; внесение их на известных почвах даже в небольших количествах может дать положительный эффект. Наоборот, внесение в почву веществ, содержащих катионы натрия (а также калия), на таких почвах может сопровождаться отрицательным влиянием вследствие повышения в почве количества поглощенного натрия. Так, суперфосфат благодаря своей кислотности и содержанию гипса может улучшить слабосолонцеватую почву; фосфорит же и томасшлак такого благоприятного действия оказывать не могут. Если процессы нитрификации протекают в почве достаточно интенсивно, то удобрение слабосолонцеватых почв сернокислым аммонием может также понизить солонцеватость, так как образующаяся свободная кислота и освобождающаяся при этом серная кислота будут отнимать от почвы поглощенный натрий. Понижать солонцеватость таких почв будет также известковая селитра $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$, между тем как применение натриевой и калиевой селитры вызовет повышение солонцеватости. Вообще, зная состав вносимых в почву материалов, всегда можно, пользуясь изложенным в настоящей статье, предусмотреть, в каком направлении они будут влиять на солонцеватость почвы.

Мы указывали выше, что улучшить натриевый солончак, а в некоторых случаях и натриево-кальциевый солончак простым удалением из него промывкой засоряющих солей нельзя, так как такие солончаки дадут в этом случае солонцы; из того, что было сейчас сказано о коренной мелиорации солонцов, должно быть совершенно ясно, что для действительного улучшения таких солончаков нужно внести в них достаточное количество гипса (согласно данному выше вычислению) и тогда уже промывать, т. е. соединить рассоление почвы с рассолонцеванием. Если солончак карбонатный, то вместо гипсования можно применить промывку водой, содержащей серную кислоту.

Временное улучшение солонцов

Мы видели выше, что коренное исправление солонцов представляет прием чрезвычайно дорогой и большей частью экономически совершенно невыгодный. Тем большее значение приобретают поэтому такие способы улучшения солонцов, которые хотя и не уничтожают первопричины вредности солонцов, но понижают в той или другой степени вредные их свойства и этим повышают урожайность и вместе с тем окупаются этим повышением.

К рассмотрению их мы теперь и перейдем и, так же как в вопросе о коренных мелиорациях, остановимся лишь на научных основаниях этих приемов, не касаясь их практической стороны.

Улучшение физических свойств солонцов. Все те изменения в физических свойствах почвы, которые происходят в ней вследствие появления в поглощающем ее комплексе поглощенного натрия, можно кратко, одной фразой, выразить так: данная почва становится более связной, более тяжелой. Все те приемы, которые будут понижать эту избыточную связность, которые будут разрыхлять почву, будут вместе с тем понижать неблагоприятное влияние физических свойств солонца на растения. Отсюда благоприятное действие на солонцеватых почвах соломы, навоза вообще и соломистого в частности, торфа и т. п. материалов, необходимость возможно более тщательной и глубокой обработки почвы, а так как очень часто солонцеватые почвы вследствие их физических свойств труднопроницаемы для воды и долго не высыхают, необходимость осушки канавами, что вместе с тем облегчит и обработку.

Улучшение химических свойств солонцов. Мы видели, что с химической стороны солонцы вредны потому, что в них образуется сода; уменьшить ее выход какими-нибудь другими приемами, кроме удаляющих из почвы поглощенный натрий, нельзя¹, но зато можно повлиять на соотношение в почве между количествами нормальной соды, очень ядовитой для растений, и значительно менее ядовитой двууглекислой соды. Все те приемы, которые будут уменьшать количество нормальной соды в почве, переводя ее в двууглекислую, будут поэтому улучшать химические свойства солонца. Нормальная же сода будет переходить в двууглекислую, если имеется свободная углекислота; поэтому все то, что увеличивает количество углекислоты в солонце, будет вместе с тем уменьшать вредные его химические свойства; в этом заключается причина второго влияния навозного удобрения; оно улучшает не только физические свойства солонца, но и химические, так как благодаря своему разложению является источником свободной углекислоты в почве; так же должно действовать и всякое другое органическое вещество, в том числе и торф. Нужно иметь в виду, что под влиянием повышения количества углекислоты в почве общее количество соды (т. е. сумма нормальной + двууглекислая сода) в почве, конечно, увеличивается; особенно сильно оно увеличивается в карбонатных солонцах, так как чем больше в почве углекислоты, тем больше растворимость в почве углекислого кальция, тем, значит, дальше идет обмен его кальция на поглощенный натрий и больше получается соды, но зато при известных соотношениях это, может быть, будет одна лишь двууглекислая сода; но так как и двууглекислая сода ядовита при высоких концентрациях, то мыслимы такие случаи, когда искусственными приемами количество CO_2 будет настолько повышено в почве, что, несмотря на полное уничтожение нормальной соды, растения будут сильнее страдать, нежели при меньших количествах углекислоты. Таким образом, и этот, казалось бы, совершенно ясный прием временного улучшения солонцов требует в действительности изучения его опытным путем как во избежание отрицательного результата, так и для наилучшего его использования.

¹ Есть еще способ понижения количества соды, образующейся в солонце, — это превращение его в солончак засолением натриевыми солями; но, очевидно, это не выход из положения.

САМОМЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ

Мы выше видели, что солонцы наиболее неустойчивые из всех существующих на земном шаре типов почв; благодаря присутствию в них поглощенного натрия они, если этому не препятствует периодическое их засоление, должны в конце концов рассолонцеваться на ту глубину, на какую происходит их примачивание атмосферными осадками; этот процесс рассолонцевания будет продолжаться, пока из почвы не исчезнет поглощенный натрий, т. е. пока почва в сельскохозяйственном отношении не станет нормальной. Этот процесс деградации солонцов, ведущий часто, как мы видели раньше, к сильному обеднению почвы очень ценной коллоидальной частью, приводит все-таки к почвам, непосредственно более пригодным к сельскохозяйственной культуре, чем первоначальный солонец. Поэтому мы его с полным правом можем назвать процессом самомелиорации солонцов или естественной их мелиорации; в конечном результате этого процесса мы можем получить почву, малоценную в других отношениях, но во всяком случае не обладающую неблагоприятными солонцеватыми свойствами.

Нужно различать самомелиорацию карбонатных и бескарбонатных солонцов.

Рассолонцевание карбонатных солонцов, как мы видели, в конечном результате приводит к несолонцеватым почвам, сравнительно очень мало пострадавшим в этом процессе; их поглощающий комплекс в большей своей части сохраняется. Поэтому самомелиорация таких солонцов с сельскохозяйственной точки зрения является процессом желательным, полезным. Существенным недостатком этой естественной мелиорации для человека представляется длительность этого процесса, так как хотя мы и говорим, что процесс деградации солонцов протекает гораздо быстрее, чем аналогичные процессы в других типах почв, но по сравнению с продолжительностью жизни человека процесс этот все-таки очень медленный. Желательно поэтому по возможности ускорить его. На этом вопросе мы сейчас и остановимся.

Рассолонцевание карбонатных солонцов происходит главным образом вследствие вытеснения из них поглощенного натрия кальцием углекислого кальция. Все, что будет способствовать этой реакции обмена, будет вместе с тем ускорять самомелиорацию солонца. Способствует же этой реакции: 1) удаление продуктов обмена (в данном случае сода) и 2) увеличение концентрации в почвенном растворе катиона кальция; поэтому все те приемы воздействия на карбонатный солонец, которые оказывают такое влияние, будут способствовать самомелиорации.

К приемам, ускоряющим самомелиорацию солонцов вследствие того, что приемы эти способствуют удалению из почвы продуктов обмена катионами между поглощающим ее комплексом и углекислым кальцием, относятся все те, которые усиливают промываемость почвы, уменьшают ее водозадерживающую способность и повышают водопроницаемость, например: искусственное орошение, улучшение дренажа, хорошая обработка почвы, внесение в почву разрыхляющих веществ (навоза, соломы, торфа).

К приемам, ускоряющим самомелиорацию солонцов своим влиянием на второй из указанных факторов, а именно повышением концентрации катиона кальция в почвенном растворе, будут относиться следующие.

1. Внесение в почву веществ, содержащих растворимые кальциевые (и магниевые) соли (гипс, суперфосфат, известковая селитра, дефекационная грязь и т. п.).

2. Все то, что повышает растворимость углекислого кальция в карбонатном солонце: обработка почвы кислотами, внесение в почву кислотных веществ (например, удобрение суперфосфатом) и веществ, дающих в почве свободные кислоты. К последним будут относиться сера, дающая в почве путем сульфотакции ее серную кислоту; аммонийные соли, дающие в почве путем нитрификации свободную азотную кислоту с освобождением, кроме того, той кислоты, аммонийная соль которой была взята; органические удобрения, благодаря разложению которых повышается в почве концентрация углекислоты, усиливающая растворимость углекислого кальция, и пр.

К последней категории факторов, усиливающих самомелиорацию солонцов, будет относиться и растение, возделываемое на солонце; выделяя своими корнями углекислоту, оно способствует растворимости углекислого кальция; вместе с тем оно поглощает из почвы и образующуюся соду. Очевидно, чем сильнее развивается растение, тем больше углекислоты оно будет давать, тем сильнее оно будет способствовать самомелиорации солонца. Поэтому культура на солонцах растений, хорошо мирящихся с солонцеватостью и дающих высокие урожаи (например донник, сахарная свекла), кроме непосредственной выгоды, будет ускорять процесс рассолонцевания.

Вообще можно сказать, что при малой интенсивности сельского хозяйства и при высокой стоимости всех искусственных приемов улучшения солонцов в вопросе утилизации солонцов главное внимание должно быть направлено на разыскание солонцовоустойчивых растений, на вывод новых солонцовоустойчивых сортов растений и на разработку приемов культуры на солонцах таких растений.

Сильноразвитый растительный покров на солонце способствует его самомелиорации не только усилением растворимости углекислого кальция (магния) почвы, сильно развитая корневая система его разрыхляет почву, пронизывает ее системой каналов, что, конечно, улучшает дренаж почвы, ее промывание, а значит, опять-таки ускоряет рассолонцевание. Но культура растений на солонцах может оказывать и отрицательное влияние на их самомелиорацию, поглощая почвенную влагу и понижая этим промываемость почвы во время вегетации.

Мы указывали раньше, что углекислый кальций при рассолонцевании карбонатных солонцов не полностью защищает их поглощающий комплекс от разрушения и особенно от вымывания органической его части; поэтому конечный результат рассолонцевания, самомелиорации карбонатных солонцов—получившаяся уже совершенно несолонцеватая почва—будет несколько беднее поглощающим комплексом.

Самомелиорация бескарбонатных солонцов будет отличаться от таковой карбонатных солонцов тем, что она протекает лишь под влиянием разрушающего действия воды; разрушение произойдет тем быстрее, чем больше будет просачиваться через почву воды и чем сильнее будет разрушающее действие ее, т. е. чем больше в ней будет углекислоты. Таким образом, те же приемы, какие ускоряют самомелиорацию карбонатных солонцов, будут ускорять ее и у бескарбонатных солонцов, но только не в такой степени. Далее так как эта самомелиорация, протекая в среде, лишенной катионов кальция, приводит к сильно разрушенным почвам и тем более разрушенным, чем выше солонцеватость первоначального солонца, то здесь особенно полезно внесение всех тех веществ, которые содержат соли кальция; этим, с одной стороны, ускоряется самомелиорация, так как к действию воды присоединяется вытеснение натрия кальцием,

а с другой стороны, понижается разрушение самой ценной в почве части — ее поглощающего комплекса.

В заключение подчеркну, что и вопросы самомелиорации солонцов, так же как и их мелиорация, почти не изучены; эта область открывает широкое поле для исследовательской работы соответствующих научных и опытных учреждений.

ДОПОЛНЕНИЕ

Настоящий очерк был уже совершенно подготовлен к печатанию, когда я получил с Калифорнийской сельскохозяйственной опытной станции работу D. Samuels'a¹, в которой излагаются результаты изучения действия на солонцы и натриевые солончаки серы, гипса и серной кислоты в различных комбинациях помощью лабораторного исследования и опытов (сосудных и полевых) с растениями. Насколько мне известно, это первая работа, довольно широко охватившая лабораторным изучением вопросы, связанные с улучшением солонцов, и потому она, несмотря на некоторые дефекты, представляет большой интерес и для освещения вопросов мелиорации и как опыт такого изучения для наших опытных станций, имеющих дело с солончаками и солонцами. По этим причинам я остановлюсь здесь на этом исследовании и довольно подробно с аналитическими данными изложу главнейшие результаты. Самым существенным дефектом в этой работе я считаю то, что совершенно не изучались изменения в содержании поглощенного натрия при воздействии на солонцы серы, серной кислоты и гипса; объясняется этот дефект, повидимому, тем обстоятельством, что исследование это было начато в 1923 г., когда учение о поглощенном натрии, как причине солонцеватости почвы, только еще начинало проникать в Америку.

Мы указывали выше, что солонцеватые почвы (это же относится и к солончакам) отличаются чрезвычайной пестротой своего химического состава, а значит, и своих солонцеватых свойств даже на самых небольших площадях; в подтверждение этого приведем в таблице 2 данные из означенной статьи. Для полевых опытов по действию серы, гипса и серной кислоты

Таблица 2

№ образцов	Делянка 21		Делянка 22		Делянка 23		Делянка 24		Делянка 25	
	CO ₂	SO ₄	CO ₂	SO ₄	CO ₂	SO ₄	CO ₂	SO ₄	CO ₂	SO ₄
1	0,0000	0,031	0,0156	0,004	0,0210	0,017	0,0330	0,033	0,0330	0,031
2	0,0180	0,053	0,0204	0,015	0,0180	0,072	0,0200	0,035	0,0150	0,007
3	0,0270	0,053	0,0138	0,020	0,0120	0,043	0,0390	0,046	0,0300	0,025
4	0,0285	0,057	0,0210	0,069	0,0300	0,040	0,0261	0,038	0,0270	0,017
5	0,0186	0,079	0,0180	0,065	0,0180	0,065	0,0210	0,011	0,0230	0,017
6	0,0210	0,050	0,0189	0,046	0,0130	0,065	0,0240	0,011	0,0180	0,010
7	0,0186	0,047	0,0174	0,019	0,0141	0,009	0,0290	0,033	0,0300	0,058
8	0,0342	0,049	0,0231	0,078	0,0150	0,132	0,0291	0,026	0,0201	0,011
9	0,0444	0,076	0,0390	0,053	0,0405	0,065	0,0510	0,217	0,0702	0,101
10	0,0619	0,071	0,0489	0,074	0,0360	0,062	0,0354	0,029	0,0465	0,031
11	0,0540	0,062	0,0402	0,088	0,0270	0,070	0,0216	0,072	0,0360	0,051
12	0,0429	0,052	0,0438	0,088	0,0420	0,079	0,0150	0,063	0,0270	0,099
13	0,0558	0,079	0,0531	0,085	0,0390	0,052	0,0171	0,046	0,0189	0,031

¹ Charles Danziger Samuels. The oxidation of Sulfur in Alkali Soil and Its Effect on the Replaceable Bases. Hilgardia, vol. 3, № 1, May, 1927 (26 стр.).

на солонцеватые почвы Калифорнийская станция заложила в 1923 г. опыты на 5 небольших делянках (40×135 футов = 110 кв. саж.).

Перед заложением этих опытов почва на всех делянках исследовалась на содержание нормальных карбонатов (ион CO_3) и серной кислоты. Для этого на каждой делянке было взято по 13 проб по средней линии, параллельной длинной стороне делянки, каждая проба на расстоянии 10 футов от соседней. Приводимые в таблице 2 (на стр. 350) данные (в процентах от сухой почвы) относятся к верхнему слою почвы в 0—12 дюймов.

Из таблицы мы видим, что на протяжении 135 футов содержание нормальных карбонатов (в CO_3) колеблется: на делянке 21 от 0 до 0,0609%, на делянке 22 от 0,0138 до 0,0531; на делянке 23 от 0,0120 до 0,0420; на делянке 24 от 0,0150 до 0,051 и на делянке 25 от 0,0150 до 0,0702%; содержание SO_4 : на делянке 21 от 0,031 до 0,079%, на делянке 22 от 0,004 до 0,088; на делянке 23 от 0,009 до 0,132; на делянке 24 от 0,011 до 0,217 и на делянке 25 от 0,007 до 0,101%.

Для лабораторного изучения действия серы на солонцы образцы почв смешивались с серой в количестве от 0,15 до 2,00% от веса почвы; смеси держались приблизительно при оптимальной влажности; через каждые две недели из этих смесей брались образцы для исследования; делалась водная вытяжка, в которой определялось количество нормальных карбонатов (ион CO_3), бикарбонатов (ион HCO_3), SO_4 и pH.

Мы приведем (табл. 3 на стр. 352) из данных автора только результаты, полученные для одной почвы, солонча-солончака, богатого содой и содержащего хлористый и сернокислый натрий (Cl —0,82%, SO_4 —0,43%). Данные автора показывают, что окисление серы в серную кислоту шло усиленно на всех исследовавшихся почвах и особенно сильно на почве, богатой содой и легкого механического состава (табл. 3). Из приводимых данных мы видим, что по мере образования серной кислоты в водных вытяжках становится все меньше и меньше нормальной соды (CO_3), количество же двууглекислой соды сначала все возрастает до тех пор, пока имеется еще нормальная сода, так как при этих условиях из нормальной соды получается двууглекислая; когда же образовавшейся серной кислоты оказалось достаточно для перевода всей нормальной соды вытяжки в двууглекислую, следующие количества серной кислоты разрушали уже двууглекислую соду. С той почвой, для которой я привожу здесь результаты, опыты велись 30 недель; за это время из наибольшего количества внесенной серы (опыт с 2% серы от веса почвы) образовалось серной кислоты 1,5217% минус 0,4354% (это количество SO_4 содержалось в первоначальной почве), т. е. 1,0863%, что по перечислению на S будет равно 0,3287%; таким образом, из 2 г серы, внесенных в этом опыте на 100 г почвы, за 30 недель в оптимальных условиях увлажнения успело окислиться 0,329 г; на 28-й неделе реакция водных вытяжек стала уже вместо щелочной, каковой она была до этого времени, слабокислой; значит, образование соды в почве уже прекратилось; но это еще не означает вовсе, что из данной почвы серная кислота вытеснила весь поглощенный натрий; в рассматриваемой статье, к сожалению, не приводятся результатов определения поглощенного натрия ни в первоначальной почве, ни после 30-недельной сульфатификации; но и без этих данных можно определенно утверждать, что поглощенный натрий остался еще в почве и после того, как реакция ее под влиянием действия образовавшейся серной кислоты стала слабокислой; к этому времени в почве на 100 г ее накопилось 0,896% сернокислого натрия, что вместе с первоначальным содержанием его в почве (0,643%) составляет 1,539%; этот сернокислый натрий не давал возможности оставшемуся в почве поглощенному натрию

Таблица 3
 Состав водных вытяжек из солонча-солончака после взаимовействия почв с различными количествами серы
 в течение различного периода времени

Время взаимо- действия (в неде- лях)	0,15% серы				0,25% серы				0,50% серы				1,0% серы				2,0% серы			
	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	pH	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	pH	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	pH	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	pH	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	pH
0	0,117	0,085	0,435	9,8	0,117	0,085	0,435	9,8	0,117	0,085	0,435	9,8	0,117	0,085	0,435	9,8	0,117	0,085	0,435	9,8
2	0,106	0,117	0,459	9,8	0,103	0,109	0,480	9,8	0,108	0,107	0,476	9,8	0,100	0,113	0,482	9,8	0,095	0,106	0,460	9,8
4	0,098	0,081	0,489	9,8	0,096	0,091	0,501	9,8	0,098	0,096	0,512	9,8	0,089	0,100	0,536	9,8	0,098	0,081	0,500	9,8
6	0,090	0,074	0,519	9,8	0,082	0,078	0,530	9,8	0,076	0,074	0,551	9,8	0,070	0,070	0,574	9,8	0,112	0,087	0,522	9,8
8	0,083	0,094	0,541	9,8	0,074	0,080	0,578	9,8	0,071	0,082	0,592	9,8	0,065	0,088	0,620	9,8	0,078	0,121	0,557	9,8
10	0,076	0,101	0,568	9,8	0,071	0,110	0,614	9,8	0,062	0,098	0,637	9,8	0,051	0,091	0,662	9,8	0,043	0,145	0,582	9,8
12	0,072	0,123	0,581	9,8	0,068	0,098	0,653	9,8	0,055	0,102	0,684	9,8	0,043	0,087	0,712	9,8	0,037	0,178	0,621	9,8
14	0,064	0,095	0,602	9,8	0,066	0,107	0,682	9,8	0,067	0,111	0,718	9,8	0,039	0,108	0,760	9,8	0,023	0,199	0,678	9,8
16	0,051	0,081	0,618	9,8	0,053	0,121	0,708	9,8	0,041	0,119	0,752	9,8	0,036	0,122	0,806	9,8	0,014	0,220	0,763	9,8
18	0,044	0,083	0,631	9,8	0,041	0,114	0,731	9,8	0,043	0,104	0,792	9,8	0,022	0,116	0,841	9,8	0,007	0,141	0,852	9,8
20	0,032	0,121	0,645	9,8	0,028	0,132	0,756	9,8	0,019	0,141	0,835	9,4	0,011	0,128	0,901	9,0	0,003	0,169	0,942	8,4
22	0,027	0,093	0,669	9,8	0,016	0,167	0,772	9,6	0,010	0,136	0,856	9,4	0,058	0,121	0,931	8,6	0	0,101	1,029	8,0
24	0,026	0,154	0,681	9,8	0,013	0,198	0,794	9,4	0,009	0,131	0,888	9,2	0,044	0,113	0,954	8,6	0	0,094	1,094	7,6
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0,081	1,182	7,2
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0,080	1,300	6,8
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0,020	1,522	6,8

образовывать соду, а водородному иону того небольшого количества свободной серной кислоты, которое обнаружено в почве через 28 и 30 недель опыта, не позволял вытеснять поглощенный натрий. Если бы опыт продолжался дольше и накопившийся сернокислый натрий был удален из почвы, то вне всякого сомнения почва полностью бы рассолонцевалась. Таким образом, можно считать, что опыты Калифорнийской опытной станции полностью подтверждают теоретические соображения о возможности полного рассолонцевания солонцов внесением в почву элементарной серы; если солонец был карбонатным, то в результате получим почву, насыщенную кальцием; если же солонец был бескарбонатным, то получим почву, в которой поглощенный натрий будет заменен водородом, т. е. почву, ненасыщенную основаниями.

Кроме действия элементарной серы на солонцы, в цитируемой работе лабораторно изучалось действие растворов различной концентрации серной кислоты и гипса. Несмотря на то что рамки этого исследования были ограничены лишь однократным воздействием растворов на почву (почва обрабатывалась пятерным количеством соответствующего раствора, и фильтрат исследовался на содержащиеся в нем вещества), полученные данные представляют для нас интерес.

Мы приведем здесь по действию серной кислоты данные лишь для одной почвы, натриевого солончака (табл. 4, данные в процентах от сухой почвы), как наиболее полно исследованной. Почва содержала большое количество углекислого кальция.

Таблица 4

Состав вытяжек из натриевого солончака раствором серной кислоты различной концентрации по Ch. Samuels'y

Чем делалась вытяжка	CO ₂	HCO ₃	CO ₂	Cl	SO ₄	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K
H ₂ O	0,034	0,050	0,040	0,483	0,177	0,0097	0,0028	0,0016	0,410	0,0020
0,0005 норм. H ₂ SO ₄	0,031	0,048	0,039	0,483	0,192	0,0088	0,0028	0,0013	0,416	0,0031
0,0010 » H ₂ SO ₄	0,027	0,063	0,039	0,482	0,208	0,0087	0,0028	0,0012	0,419	0,0049
0,0015 » H ₂ SO ₄	0,026	0,065	0,039	0,489	0,222	0,0074	0,0030	0,0012	0,427	0,0068
0,0020 » H ₂ SO ₄	0,020	0,071	0,041	0,486	0,228	0,0069	0,0031	0,0014	0,434	0,0077
0,0025 » H ₂ SO ₄	0,018	0,081	0,044	0,488	0,233	0,0069	0,0035	0,0013	0,438	0,0091
0,0030 » H ₂ SO ₄	0,019	0,082	0,047	0,483	0,238	0,0066	0,0042	0,0018	0,431	0,0086
0,0035 » H ₂ SO ₄	0,014	0,108	0,060	0,483	0,250	0,0062	0,0046	0,0017	0,440	0,0100
0,0040 » H ₂ SO ₄	0,014	0,114	0,061	0,489	0,265	0,0063	0,0047	0,0021	0,443	0,0121
0,0045 » H ₂ SO ₄	0,012	0,119	0,066	0,492	0,273	0,0064	0,0049	0,0022	0,458	0,0138
0,0050 » H ₂ SO ₄	0,012	0,123	0,069	0,486	0,285	0,0061	0,0056	0,0027	0,465	0,0144
0,0055 » H ₂ SO ₄	0,010	0,137	0,085	0,483	0,298	0,0060	0,0068	0,0031	0,470	0,0169
0,0080 » H ₂ SO ₄	Следы	0,178	0,102	0,484	0,373	0,0090	0,0132	0,0037	0,528	0,0188
0,0150 » H ₂ SO ₄	0	0,293	0,186	0,481	0,546	0,0128	0,0321	0,0056	0,619	0,0224
0,0250 » H ₂ SO ₄	0	0,358	0,230	0,487	0,712	0,0157	0,0779	0,0068	0,653	0,0287

Приводимые данные интересны прежде всего в том отношении, что показывают, что обработка даже такой разведенной серной кислотой, как 0,0005 норм. (0,00245 г H₂SO₄ в 100 куб. см воды; раствора бралось в пять раз больше, чем почвы), уже рассолонцовывает почву, так как при этом, как показывает пересчет данных таблицы 4, нейтрализуется на миллион частей почвы 0,40 эквивалентов присутствующей в почве нормальной соды и, кроме того, вытесняется из поглощающего комплекса 2,74 эквивалента поглощенного натрия. Данные содержания HCO₃ и CO₂ в вытяжках разной

крепости серной кислоты показывают, что процесс воздействия серной кислоты на исследовавшуюся карбонатную почву заключался в нейтрализации нормальной соды и растворении углекислого кальция с образованием двууглекислой соды, сернокислого кальция и двууглекислого кальция; данные же содержания в этих вытяжках натрия и кальция показывают, что кальций CaSO_4 и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ вытеснил уже из почвы поглощенный натрий. Таким образом, таблица 4 вполне подтверждает наши теоретические представления, изложенные выше.

Наиболее концентрированная серная кислота из применявшихся в рассматриваемом исследовании (0,0250 норм.; в 100 куб. см этого раствора содержалось 0,1225 г H_2SO_4) вытеснила из почвы уже заметные количества поглощенного натрия (106 эквивалентов на миллион частей почвы, или 0,244 г из 100 г почвы); если принять во внимание, что такое вытеснение было достигнуто однократной обработкой почвы раствором серной кислоты и притом без удаления продуктов воздействия (если бы почва промывалась таким же количеством той же кислоты, то эффект был бы несомненно еще значительнее), то нужно сделать заключение, что серной кислотой можно достаточно быстро и достаточно экономно рассолонцовывать карбонатные солонцы.

Из результатов по изучению действия гипса на почвы, содержащие поглощенный натрий, мы приведем данные (табл. 5) тоже только для одной почвы и именно для того же солончака-солонца, для которого в таблице 4 даны результаты действия серной кислоты. Опыты с действием растворов гипса различной концентрации велись здесь параллельно с учетом действия растворов серной кислоты тех же концентраций и производились так же, как ранее описанные: почва взбалтывалась с пятерным количеством соответствующего раствора и фильтрат анализировался. Результаты показывают, что гипс действует слабее, чем эквивалентные количества серной кислоты; так при действии на почву 0,015 норм. растворами (в этом случае на 100 г почвы приходилось 0,367 г H_2SO_4 и 0,510 г CaSO_4) серная кислота извлекла из почвы 0,209% поглощенного натрия, а гипс—0,128%.

Таблица 5

Состав вытяжек из натриевого солончака растворами серной кислоты и гипса различной концентрации по Ch. Samuels'у

	CO_3	HCO_3	CO_2	Cl	SO_4	SiO_2	Ca	Mg	Na	K
H_2O	0,034	0,050	0,040	0,483	0,172	0,0097	0,0028	0,0016	0,410	0,0020
0,0025 норм. H_2SO_4	0,018	0,080	0,044	0,487	0,233	0,0069	0,0035	0,0013	0,438	0,0020
0,0025 » CaSO_4	0,035	0,019	0,018	0,483	0,218	0,0080	0,0046	0,0030	0,410	0,0084
0,0050 » H_2SO_4	0,012	0,123	0,069	0,486	0,285	0,0060	0,0056	0,0027	0,465	0,0144
0,0050 » CaSO_4	0,033	0,021	0,015	0,489	0,275	0,0062	0,0072	0,0035	0,435	0,0121
0,0150 » H_2SO_4	0	0,293	0,186	0,481	0,546	0,0128	0,0321	0,0056	0,619	0,0224
0,0150 » CaSO_4	0,031	0,085	0,010	0,491	0,529	0,0061	0,0160	0,0039	0,538	0,0194

Вегетационные опыты с применением серы, серы с углекислым кальцием, серы с гипсом и серной кислоты в сосудах высотой 24 дюйма показали лучший рост ячменя на почве обработанной, нежели в контрольных сосудах; однако ячмень нигде не рос удовлетворительно. Опыт описан недостаточно детально, поэтому трудно судить о причине такого роста ячменя; возможно, что почвы сосудов промывались слишком слабо.

Полевые опыты производились на пяти делянках. Делянки получили (по расчету в килограммах на гектар): 1—3 362 серы и 4 572 гипса; 2—3 362 серы и 3 362 углекислого кальция; 3—контрольная; 4 и 5—по 3 362 серы. Вещества эти были внесены в июне 1923 г. Промывка почвы затоплением производилась через несколько месяцев после этого. В апреле 1925 г. был высеян Huban clover. В октябре 1925 г. клевер дал на обработанных делянках великолепный урожай, тогда как на контрольной делянке урожая вовсе не получилось. Исследование почвы на делянках показало заметное понижение щелочности на всех обработанных делянках.

В статье приводится еще один опыт на том же поле с внесением серы в количестве 3 930 кг на гектар. Через два года в верхнем футе почвы щелочность упала с $pH=10$ до $pH=6,8-8,4$ (в разных местах делянки), а в четвертом футе с $pH=9,0-9,6$ до $pH=8,2-8,6$. Через четыре года после внесения серы эффект на люцерне был поразительный, делянка дала великолепный урожай этого растения.

Описанные опыты с несомненностью показывают на положительное действие серы, серной кислоты и гипса на солонцах и натриевых солончаках, а последний опыт показывает, что действие серы, хотя и медленное, так как процесс здесь микробиологический, распространяется на значительную глубину.

Август 1927 г.

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ ЛУЧШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТЕНИЯМИ ФОСФОРНОКИСЛЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОЛЯХ НОСОВСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ ПОСЛЕ КУЛЬТУРЫ КЛЕВЕРА

Полевыми и вегетационными опытами Носовской сельскохозяйственной опытной станции установлено, что фосфор в почвах станции находится в первом минимуме. Между тем, по данным полевых опытов, фосфорнокислые удобрения как в отдельности, так и в комбинациях с азотом и азот+калий, чрезвычайно слабо повышают урожаи яровых хлебов.

Объяснить это тем, что почвы Носовской станции обладают способностью понижать усвояемость фосфорной кислоты суперфосфата или томасшлака, нет никаких оснований. В этих почвах, как деградированных черноземах, углесолы находятся сравнительно низко; и на таких почвах скорее можно допустить более высокое использование, нежели на нормальных черноземах, фосфорной кислоты, по крайней мере томасшлака. Отсутствие понижающего действия у носовских почв и усвояемость фосфатов подтверждаются и вегетационными опытами станции. Здесь урожаи в присутствии НРК значительно выше, нежели на почвах без удобрений.

Таким образом, слабое действие фосфатов на полях Носовской станции обуславливается другими причинами. Их надо искать или в недостаточном количестве других кроме фосфора, питательных веществ в почве, или в присутствии в почвах в полевой обстановке каких-либо условий, не позволяющих яровым и озимым хлебам дальше развиваться, несмотря на достаточное количество в почве всех необходимых растению питательных веществ. Наконец, можно допустить, что в рассматриваемом явлении роль играет и та и другая причина. Рассмотрим каждую в отдельности.

Полевые опыты станции определенно показывают, что в почвах станции, кроме фосфора, в первом минимуме находится также и азот. С другой стороны, эти же опыты показывают, что и один азот и один фосфор все-таки хотя и не сильно, но повышают урожай,—явление, замечаемое почти всегда в почвах с двумя минимумами (N и P) и вовсе не противоречащее закону минимума, а объясняющееся тем, что в течение вегетационного периода оба минимума могут и не совпадать во времени. Дело в том, что в использовании растением из почвы, с одной стороны, азота, а с другой, фосфора существует существенное различие. Весь азот, находящийся в почве в каждый данный момент в форме, пригодной для растений (нитратный и аммиачный азот), находится в растворе; растворяющая способность корней всего количества не играет никакой роли. Иное дело с фос-

форм,—фосфорнокислые соединения почвы труднорастворимы и количество фосфорной кислоты, воспринимаемой растениями из почвы, находится в прямой зависимости от растворяющей деятельности растений. В силу этого различные растения на почвах, очень бедных азотом и фосфором, не одинаково испытывают недостаток в этих элементах в различные стадии своего развития. В первые периоды его, когда растения еще малоразвиты и потребность их в азоте еще ничтожна, аммиачного и нитратного азота в почве, даже в очень в общем бедной этими соединениями, может быть достаточно и азот тогда не будет в первом минимуме; растворенной же фосфорной кислоты будет мало, а сами растения, вследствие малого еще развития их, будут оказывать менее ничтожное влияние на растворение труднорастворимых фосфатов; фосфор, таким образом, будет здесь в первом минимуме.

В этот начальный период развития растений на почвах с двумя минимумами—N и P—растения не будут нуждаться в азоте и потому удобрение почвы одними фосфатами повышает урожай на величину, соответствующую имеющемуся в почве избытку усвояемого азота. Но так может продолжаться лишь до тех пор, пока растения не достигнут известного развития, при котором имеющегося в почве доступного азота уже недостаточно; азот перейдет в первый минимум, фосфор же, благодаря большему развитию растения и, вследствие этого, большей растворяющей деятельности его корневой системы, может оказаться уже во втором минимуме; растение не будет нуждаться в нем, а потому одно азотистое удобрение будет вызывать некоторый эффект.

С такого рода явлениями мы как раз и сталкиваемся на почвах Носовской станции, и этим объясняется, что 1 пуд азота+фосфаты, внесенные под озимь или ярь, повышают урожай зерна этих растений как раз на величину, равную сумме эффектов от каждого из этих удобрений в отдельности. В связи с этим же находится и наблюдающееся на почвах станции отсутствие действия азотистых удобрений на озимь осенью и, наоборот, сильное действие в это время фосфатов. Осенью, благодаря слабой потребности еще мало развитой озимой ржи и сравнительно сильной нитрификации, в первом минимуме в почвах станции находится фосфор; азот находится во втором минимуме; азота почвы в условиях станции хватает на повышение урожая в присутствии фосфатов на 14 пудов; с весны же азот переходит в первый минимум, а фосфор во второй; если же в почву внести, кроме фосфатов, 1 пуд азота, то урожай зерна должен повышаться еще на ту величину, которая соответствует действию этого одного пуда азота. А этот эффект, как показывают опыты с внесением одного лишь азота в указанном количестве, равен 15 пудам, т. е. общий эффект от комбинации N+P и должен равняться примерно 30 пудам зерна на десятину.

Подтверждением этого может служить следующее. Если принять во внимание процентное содержание азота в озимой ржи и среднюю величину процента использования селитры растениями, то окажется, что 1 пуд азота в чилийской селитре может дать прибавку урожая зерна примерно в 20 пудов, т. е. как раз величину очень близкую, принимая во внимание точность полевого опыта, к получаемой Носовской станцией. Таким образом, с несомненностью можно утверждать, что малое использование растениями вносимых на почвах станции фосфатов обуславливается в первую очередь недостаточным в этих почвах количеством усвояемого азота и малым количеством селитры, вносившейся совместно с фосфатами.

Практически существенным является вопрос о причинах малой подвижности азотистых соединений в почвах станции. Исследования станции, правда неполные, совершенно еще недостаточные для освещения всего вопроса, показывают, что процессы нитрификации идут в почвах станции очень слабо; нужно думать, что и процесс аммонификации также малоинтенсивен. Само собой разумеется, что важно было бы иметь возможность повысить интенсивность этих процессов, но для этого в первую очередь необходимо детально изучить само явление. Процессы аммонификации и нитрификации в почвах станции должны быть всесторонне изучены; кроме того, необходимо исследовать причины малой их интенсивности и влияние на нее различных факторов.

Из возможных причин малой интенсивности мы сейчас можем указать на следующие.

1. Возможно, что слабая аммонификация и нитрификация азотистых веществ почвы обусловлены самой их природой. Почвы Носовской станции сравнительно очень бедны гумусом и относятся обычно к деградированным черноземам. Если это действительно деградировавшийся чернозем, то в процессе деградации из верхних слоев его должен был вымыться гумус, причем вымылась, конечно, наиболее подвижная часть, а вместе с тем и наиболее доступная воздействию микроорганизмов часть азотистых соединений почвы. Как подтверждение тому, что в этих почвах действительно имеется лишь слабо подвижное органическое вещество, можно привести то, что, по данным анализа, к сожалению, одного лишь образца почвы, растворимость гумуса оказывается значительно ниже не только чем в подзолистых почвах, но и в нормальных черноземах.

Отмечу, что принадлежность носовских черноземов к деградированным черноземам еще недостаточно доказана; вообще генезис этих почв еще мало выяснен и требует со стороны станции дальнейшего, более детального изучения местных почв. Весьма вероятно, что почвы эти иного происхождения, что они представляют собой деградированные солонцеватые почвы. Но во всяком случае и тогда они должны быть лишены наиболее активной части азотистых веществ. Для выяснения вопроса, в какой мере характер азотсодержащих органических веществ носовских почв является причиной низкого содержания в них аммиака и нитратов, станции необходимо подробно изучить растворимость гумуса в ее почвах и состав азотистых веществ этих почв и сравнить полученные результаты с соответствующими данными для почв с высокой нитрифицирующей способностью.

2. Слабые аммонифицирующие и нитрифицирующие способности носовских почв могут обуславливаться и другой причиной, а именно слабой деятельностью соответствующих микроорганизмов, а быть может, и денитрификацией. Почвы станции несомненно обладают, по недостаточно выясненным причинам, не вполне благоприятными физическими свойствами: они легко заплывают и в сухом состоянии пылят. Заплывание почвы—явление, конечно, неблагоприятное для нитрификации, понижающее деятельность нитрифицирующих бактерий и создающее благоприятные условия для процессов денитрификации, так как оно понижает аэрацию почвы. Для выяснения степени влияния этого фактора чрезвычайно существенно было бы изучение состава почвенного воздуха на полях станции при различной влажности почвы, а также постановка специальных опытов по влиянию рыхления на ход процессов аммонификации и нитрификации.

Возможно далее вредное влияние на нитрификационные процессы в почвах Носовской станции оказывает присутствие в этих почвах

ненасыщенных органических и минеральных соединений, содержание в поглощающем органическом и минеральном комплексе этих почв поглощенного водородного иона, обуславливающего в присутствии растворенных солей кислую реакцию почвенного раствора, понижающую деятельность нитрификаторов. Но этот вопрос лишь затронут исследованиями станции. Насыщенность носовских почв для меня, по крайней мере, остается еще под вопросом; необходимы дальнейшие и систематические в различные периоды года исследования почв станции в связи с определением высот горизонта углесолей в этих почвах. Насколько видно сейчас, в различных местах станции высота его различна; там, где горизонт этот сравнительно близок от поверхности—около 60 см (такие почвы имеются на станции), там трудно допустить существование постоянной ненасыщенности почвы, так как, несомненно, в известные, по крайней мере, периоды почвенные растворы должны быть богаты углесолями, уничтожающими ненасыщенность.

Таким образом, несомненная бедность носовских почв доступным растению азотом может вызываться как малой подвижностью, малой доступностью микроорганизмам азотистых соединений почвы, так и неблагоприятными физико-химическими свойствами почвы, препятствующими нормальной деятельности нитрификаторов и, наоборот, способствующими деятельности денитрификаторов. Роль каждого из этих факторов может быть выяснена лишь постановкой соответствующих исследований и опытов. Практические же меры для усиления количества доступного растениям азота могут быть выработаны лишь после детального изучения самого явления (ход процессов аммонификации и нитрификации) и причин, обуславливающих его характер.

Рассмотренная выше причина слабой деятельности фосфатов на почвах Носовской станции—недостаток доступного растениям азота—является, по моему мнению, основной причиной, в первую очередь обуславливающей указанное явление. Но весьма вероятно, что она не единственная.

Я указывал выше, что физические свойства носовских почв таковы, что вызывают заплываемость почвы, что затрудняет аэрацию. Отсутствие достаточной проветриваемости почвы должно влиять неблагоприятно не только на процессы нитрификации, но и на само развитие растений, затруднять дыхание корневой системы. Кроме того, в те периоды, когда почва находится в заплывшем состоянии, процессы разложения органических веществ в почве могут идти в направлении образования вредных для растений соединений.

В нашем распоряжении не имеется прямых указаний на то, что носовские почвы обладают этими неблагоприятными свойствами в такой мере, чтобы это отражалось заметно на величине урожаев. Наоборот, результаты вегетационных опытов, произведенных станцией, как будто указывают на противное: полное удобрение, по данным этих опытов, сильно повышает урожай на носовских черноземах и до такой же величины, как и на других неисследованных станцией черноземах. Но на самом деле такие результаты не могут служить доказательством того, что в полевой обстановке физические свойства носовских почв не проявляются заметно на растениях своих неблагоприятных физических свойств; вегетационный метод в обычном своем виде вообще непригоден для исследования этого вопроса, так как условия аэрации почвы в сосудах всегда значительно благоприятнее, нежели в поле. Во всяком случае, ввиду важности вопроса об азотистом питании растений на почвах такого характера, как почвы Носовской опытной станции, очень существенно было бы затронутый здесь вопрос подвергнуть всестороннему освещению путем

исследования количества почвенного воздуха и состава его в различные периоды и испытания носовских почв на содержание в них в различные периоды вредных для растений веществ помощью, например, водных культур с водными вытяжками из этих почв.

Опыты Носовской станции, установив слабое действие фосфатов на озими и яровые на почвах станции, вместе с тем показали, что эффект фосфатов на те же растения во много раз увеличивается после культуры на этих почвах клевера; так же, повидимому, благотворно действует и эспарцет на использование фосфатов растениями. Что касается других исследованных станцией бобовых—вики, гороха, то их действие оказалось значительно ниже, нежели клевера.

Каковы причины такого влияния клевера? Мы прежде всего указали, что имеющихся у станции и вообще в литературе опытных данных совершенно недостаточно для определенного, исчерпывающего ответа на этот вопрос. Вообще надо сказать, что действие на почву растений до настоящего времени, к сожалению, изучено чрезвычайно мало; еще в большей степени это относится к сравнительному действию различных растений на почву; а между тем с этим вопросом в практике опытного дела приходится встречаться на каждом шагу. Само собою разумеется, что я не могу дать какой-либо определенный ответ на этот вопрос. Я могу лишь указать на вероятные причины указанного явления и наметить в самых общих чертах тот путь, по которому я лично пошел бы в начале своих исследований этого вопроса. Говорю в начале, потому что очень возможно, что уже первые шаги в этом направлении показали, бы, что в дальнейшем путь должен быть видоизменен.

Клевер, как растение бобовое, обогащает почву азотом; корневые остатки его содержат значительно больше азота, нежели корни ржи и овса: по данным химической лаборатории Носовской станции процентное содержание азота в сухих корнях клевера 2,17, ржи 1,24 и овса 0,81. Кроме того, клевер оставляет в почве почти вдвое больше корневых остатков, чем рожь, и почти втрое больше, чем овес. Это факт твердо установленный, а так как, мы выше видели, существеннейшей причиной слабого использования растениями фосфатов на носовских почвах является недостаток в этих почвах доступного растениям азота, то, конечно, причину благоприятного влияния культуры клевера на степень использования фосфатов мы должны искать прежде всего в том, что культура эта обогащает почву азотом.

Такое влияние клевера не подлежит сомнению; но и здесь мы наталкиваемся на целый ряд не выясненных еще вопросов. Азот корневых остатков клевера находится в виде органических соединений; с этими остатками в почве остается, по данным Носовской станции, больше 3 пудов азота на десятину. И вот эти 3 пуда органического азота действуют на растения значительно сильнее, нежели 1 пуд азота во вполне доступной растениям форме. Правда, исследования Носовской станции показывают, что к осени процессы нитрификации на клеверном пару идут несколько интенсивнее, нежели на чистых неудобренных и удобренных навозом, и в это время как раз озимая рожь, по данным станции, в азоте не нуждается. Весной же, именно тогда, когда обнаруживается сильная потребность у ржи и овса в азоте на носовских почвах, интенсивность нитрификации после клевера во всяком случае не больше, чем на полях без клевера.

Совершенно ясно, что вопрос недостаточно выяснен. Необходимы дальнейшие, более детальные и продолжительные исследования хода процессов аммонификации и нитрификации на почвах под клевером.

Возможно, например, что здесь усиленное идет аммонификация. Затем необходимо исследование в отдельности аммонифицирующей способности клеверных остатков; необходим более точный учет корневых остатков клевера в почвах. Кроме того, я считал бы очень существенным исследование форм органического азота как в корневых остатках клевера, так и в почве после многолетней культуры клевера на ней.

Затем является вопрос, почему другие бобовые, те же азотособиратели, действуют значительно слабее на почву, нежели клевер. Конечно, можно ответить, что, значит, они в меньшей степени обогащают почву азотом, нежели клевер, или что азот в их корневых остатках менее подвижен. Но такой ответ без подтверждения исследованием вовсе неубедителен. Совершенно необходимо, параллельно с указанными выше исследованиями над клевером, произвести таковые же и для других бобовых растений, а для необходимой полноты к этим растениям нужно присоединить рожь и овес.

Далее непонятно, почему 6 пудов азота и 2,4 пуда фосфорной кислоты в навозе (1 200 пудов навоза на десятину) действуют на рожь слабее, нежели 3 пуда азота в корневых остатках клевера и 3 пуда фосфорной кислоты в суперфосфате. Чрезвычайно интересно было бы сравнить аммонификационную способность навоза и корней клевера. Считаю достаточным и этих вопросов, чтобы показать, что объяснение влияния культуры на использование фосфатов обогащением почвы после клевера азотом вовсе уже не так обоснованно, чтобы оно не нуждалось в дальнейшем изучении и чтобы было правильно теперь же отбросить всякие другие возможности объяснения этого действия, конечно, не в его целом, но в некоторой части.

Без всякого сомнения клевер оказывает влияние на химические и физические свойства почвы, и несомненно, что влияние это иное, нежели влияние других растений. Весь вопрос в том, насколько различны эти влияния различных растений и в какой мере это влияние может сказываться на степени использования фосфатов. Здесь мы опять попадаем в область малоисследованную, в область предположений и догадок.

Прежде всего укажу на весьма вероятное, почти что доказанное свойство клевера обеднять почву фосфорной кислотой, и именно легкодоступной, в более значительной степени нежели, например, злаки. Такое обеднение должно, конечно, вызывать больший эффект фосфорнокислых удобрений на следующие за клевером культуры растений. Клевер оставляет после себя значительно больше корневых остатков, нежели рожь и овес; известно же, какое громадное значение имеет органическое вещество в отношении улучшения физических свойств почвы. Конечно, количество органического вещества, получаемое почвою таким способом, значительно ниже того, какое почва получает с навозным удобрением, но здесь необходимо принять во внимание не только количество, но и качество органического вещества. Весьма вероятно, что по качеству своему в отношении благоприятного действия на физические свойства почвы органическое вещество корней клевера стоит выше навоза, а главное в том, что это вещество значительно теснее перемешивается с почвой и проникает глубже, чем навоз. Для выяснения этого вопроса чрезвычайно интересно было бы произвести исследование влияния культуры клевера на проветриваемость почвы.

Весьма существенное влияние клевера на физические свойства почвы должно проявляться и в другом отношении. Хорошо развитая мелкая корневая система клевера пронизывает почву в различных направлениях

и на большую глубину; корни клевера, по всей вероятности, сравнительно быстро перегнивают и вместо них остается сеть мелких воздушных каналов в почве, облегчающих проветриваемость ее на большую глубину. И в этом направлении возможны экспериментальные исследования для выяснения количественной стороны этого влияния. Если исследования подтвердят высказанные предположения, если корневые остатки клевера действительно значительно улучшают физические свойства почвы, нежели корневые остатки других растений, то отсюда на основании ранее сказанного придется сделать тот вывод, что культура клевера влияет на лучшее использование фосфатов последующими растениями не только повышением количества азота почвы, но и улучшением ее физических свойств.

Наконец, возможно, что культура клевера способствует лучшему использованию фосфатов содержащимися в корневых остатках другими, кроме азотистых, веществами. Так, например, согласно данным химлаборатории Носовской опытной станции, корневые остатки клевера содержат значительно больше кальция, нежели корневые остатки ржи и овса. Конечно, количество кальция на десятину, извлекаемое клевером из глубоких слоев почвы и оставляемое в верхних ее слоях все-таки в общем невелико, форма соединений, в которых он находится в корневых остатках клевера, не может быть более подвижной, нежели соединения извести, обычно вносимые в почву при известковании. Но дело в том, что известь в корневых остатках локализована именно в тех местах почвы, где находится и само органическое вещество корней с его азотистыми соединениями; она находится как раз там, где она так необходима в биологических процессах разложения органических веществ и где она крайне нужна для нейтрализации образующихся при нитрификации азотистой и азотной кислот, а также для уничтожения могущей быть здесь ненасыщенности, несомненно вредно влияющей на деятельность нитрификаторов.

Возможно, что химический состав корней массы клевера и в других отношениях отличен от такового корней других растений. Возможно, например, что корни клевера менее богаты углеводами, нежели злаки, а в таком случае процесс аммонификации корней клевера должен протекать интенсивнее, нежели аммонификация корней ржи и овса, так как теперь выяснено, что в присутствии углеводов и жиров разложение азотистых веществ микроорганизмами с накоплением аммиака замедляется. Из вышеприведенного ясно, насколько существенно было бы для решения рассматриваемых здесь вопросов изучение элементарного состава и форм соединений в корнях различных растений.

Носовская станция своими исследованиями поставила ребром рассмотренные здесь два чрезвычайно практически важных, но вместе с тем очень сложных и еще очень мало разработанных вопроса—малая подвижность азотистых соединений в почвах типа Носовской станции и благоприятное влияние культуры клевера на использование последующими растениями фосфорнокислых удобрений на почвах этой станции. В этом большая заслуга станции. Теперь дело за агрохимиками и химиками-почвоведом. Они должны детально разработать и выяснить эти вопросы.

ПОДВИЖНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЛИЯНИЕ НА НЕЕ КАЛЬЦИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ

До самого последнего времени известкование почвы рассматривалось почти исключительно с точки зрения эффекта его на растение; что касается влияния его на почву, то и здесь исследователи изучали преимущественно роль извести в тех почвенных процессах, которые имеют непосредственное отношение к растению, т. е. в плодородии почвы, и притом главным образом в плодородии азотом (ход процессов аммонизации и нитрификации в кислых почвах под влиянием известкования). Что касается другой стороны того же вопроса—более глубокого, коренного, так сказать, влияния известкования, то она была поставлена вплотную лишь в последнее время в связи с развитием учения о поглощающем почвенном комплексе и роли в нем поглощенных оснований (работы проф. Соколовского и автора настоящей заметки).

Другой характерной чертой в развитии вопроса об известковании почвы и вообще роли кальция в почве является то обстоятельство, что изучалось преимущественно положительное действие извести; и понятно почему, так как действительно в общем и целом именно таково действие кальция и на растения и на почву: отрицательному действию извести отводилось сравнительно мало внимания (исследование отрицательного эффекта от сильного известкования на подзолистых почвах в бывшей Сельскохозяйственной лаборатории в Петрограде, в лаборатории проф. Д. Н. Прянишникова и в институте по удобрению в Москве, а затем изучение понижающего действия извести на усвояемость удобрительных и почвенных фосфатов в лаборатории проф. Д. Н. Прянишникова и автором настоящей заметки).

В настоящей статье я, во-первых, хочу подробнее остановиться на положительном эффекте известкования на почву как коренной мере предохранения ее от разрушительного действия атмосферных осадков, мере, имеющей большое значение в подзолистой зоне и в лесостепной области, а во-вторых, пока только теоретически осветить, насколько это возможно в настоящее время, вопрос о возможном понижении кальцием почвы подвижности азотистых органических соединений в почвах черноземной зоны.

I

Исследование почв Носовской опытной станции, произведенное летом 1924 г. обнаружило здесь присутствие таких почв, где разрушительное действие воды уже проявляется совершенно определенно; поэтому

поставленный мною вопрос имеет непосредственное отношение к части почв территории станции и тем более к почвам всего района станции, в котором означенные разности почв занимают, по всей вероятности, немалое пространство; разрушительному действию воды здесь подвергается наиболее ценная в сельскохозяйственном отношении часть почв, обуславливающая собой богатство почвы, ее плодородные и благоприятные для растений физические свойства—именно наиболее мелкозернистая часть почвы, преимущественно коллоидально распыленная фракция. Конечно, этот разрушительный процесс—процесс очень длительный, но он идет и, раз почва вступила в стадию его, идет непрерывно; поэтому необходимо озаботиться подысканием способов борьбы с этим процессом и скорейшим применением их. Одним из таких способов борьбы с этим природным явлением, способом практически вполне выполнимым, и является известкование почвы.

Защитная роль известки обуславливается следующим. Ниже я всюду буду иметь в виду углекислый кальций, так как это соединение кальция наиболее подходящее для означенной цели и оно именно и выполняет защитную роль в природных условиях.

Если оставить в стороне содержащийся в почве кварц—соединение совершенно недействительное и ту часть органических веществ почвы, которые объединяются под общим названием индифферентных веществ, то почти все остальные соединения почвы представляют соли органических и минеральных кислот; катионами этих солей являются натрий, калий, кальций и магний; может быть, в небольших количествах еще железо (по всей вероятности, в виде двузначного катиона), аммоний и другие металлы, играющие во всяком случае совершенно второстепенную роль в том почвенном процессе, о котором будет речь ниже. Почвенные соли минеральных кислот по их отношению к воде могут быть разбиты на две группы. Соли одной группы будут характеризоваться тем, что вода действует на них только растворяюще: при соприкосновении с водой они в том или другом количестве переходят в раствор; то, что останется нерастворенным, будет иметь тот же состав, что и первоначальный продукт до воздействия на него воды, и то, что выделится вследствие тех или других причин из полученного раствора, будет опять-таки того же состава, что и первоначальный продукт; эта группа солей, только растворяющаяся при действии воды, может быть названа группой простых солей.

Сюда будут относиться хлориды, сульфаты, карбонаты, нитраты, нитриты, фосфаты и очень незначительное количество солей почвенных органических кислот. В эту группу солей, как видно, входят соли и очень трудно растворимые (карбонаты кальция и магния, фосфаты кальция, магния и железа), и среднерастворимые (сульфат кальция), и легкорастворимые. Легко- и среднерастворимые простые соли в заметных количествах могут встречаться лишь в почвах засушливых районов, труднорастворимые, кроме того, и в районах умеренно засушливых; вообще в более или менее значительных количествах соли этой группы не являются необходимой принадлежностью почвы; почвенное образование, в котором не происходит скопления простых солей или из которого выщелочены простые соли, остается все-таки почвой.

Ко второй группе солей почвы относится большая часть солей почвенных органических кислот; назовем эти соли гуматами; из минеральных солей во вторую группу входят силикаты (соли ортокремневой и метакремневой кислот), алюмосиликаты (соли алюмосиликатных кислот) и ферри-алюмосиликаты (соли ферри-алюмосиликатных

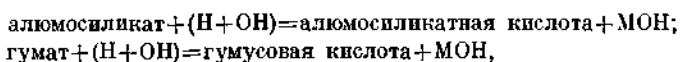
кислот). Соединения этой группы являются существеннейшей и неременной частью всякой почвы.

В воде они в общем чрезвычайно мало растворимы¹, вода на них действует преимущественно разлагающе, разрушающе, что и обуславливает выделение их в особую группу.

Для уяснения защитного на почву действия извести необходимо подробнее остановиться на этом разлагающем действии воды в отношении солей рассматриваемой сейчас группы. Под разлагающим действием воды в данном случае я понимаю такое взаимодействие между водой и твердым соединением, в результате которого то, что извлекается водой из этого соединения, и то, что остается в твердом состоянии после такого воздействия, имеет неодинаковый состав и притом состав каждого из этих продуктов иной, нежели состав первоначального вещества. Когда, например, вода действует на ортоклаз, то, быть может, он несколько и растворяется как таковой (что, впрочем, сомнительно и во всяком случае не доказано), но несомненно очень незначительно; разрушающее же действие воды здесь несомненно; вода будет извлекать из ортоклаза калий, от алюмосиликатного ядра будет отщепляться некоторое количество кремнекислоты и ортоклаз будет постепенно каолинизироваться, т. е. переходить в соединение иного состава, чем взятое исходное вещество.

Механизм разлагающего действия воды на силикатную и гуматную часть почвы можно представить в виде двух последовательных стадий.

В первой стадии воздействия на силикат или гумат вода играет роль электролита, хотя и чрезвычайно слабо диссоциированного на ионы H и OH. Схема такого взаимодействия может быть представлена так:



т. е. получающимися продуктами взаимодействия в случае простого силиката будет соответствующая кремневая кислота и гидрат окиси катиона силиката; в случае алюмосиликата—соответствующая алюмосиликатная кислота и гидрат окиси катиона; в случае гумата—соответствующая гумусовая кислота и опять-таки гидрат окиси катиона гумата.

Здесь мы имеем, таким образом, реакцию взаимного обмена между катионом силиката (или гумата) и водородным ионом воды; реакция происходит между твердым телом и жидкостью, а потому протекает лишь по поверхности твердого тела и в этой реакции участвуют только те молекулы силиката и гумата, которые расположены на поверхности твердых частичек этих веществ. Таким образом, в первой стадии разлагающего действия воды мы имеем частный случай проявления в почве физико-химической поглотительной способности почвы—обмен силикатных и гуматных почвенных поглощенных оснований на водородный ион воды. А потому реакция эта управляется законами этого вида поглотительной способности, т. е. энергия ее зависит: 1) от величины общей поверхности почвенных частиц; она увеличивается с увеличением степени дисперсности (раздробленности) твердых почвенных частиц, достигая заметной величины в коллоидально распыленной части, т. е. в почвенном поглощающем

¹ Углекислый кальций защищает вторую группу почвенных солей не только от разрушающего, но и от растворяющего действия на них почвенной влаги: главным основанием, особенно в почвах черноземных, в этих солях является кальций; углекислый кальций как соль, имеющая с этими соединениями общий катион, и как соль, притом значительно более растворимая, будет по общему правилу значительно понижать их растворимость.

комплексе; 2) от концентрации водородного иона в воде; в чистой воде концентрация эта ничтожна: в литре воды при 22° содержится всего 0,0000001 г свободного водородного иона; но величина эта в почвенных водах, содержащих всегда растворенную уголекислоту, а в почвах достаточно выщелоченных и другие свободные кислоты, может быть и значительно выше; к тому же надо иметь в виду, что в отношении содержащихся в почве поглощенных катионов и в отношении катионов, могущих содержаться в почвенном растворе, водородный ион обладает наибольшей энергией поглощения и вытеснения, во много раз превосходящей таковую у иона кальция; поэтому водородный ион даже чистой воды может проявлять свое вытесняющее действие при условии, что поглощающий комплекс почвы содержит достаточно высокодисперсных частичек, если, конечно, при этом не имеется особых условий, препятствующих этому проявлению, о чем см. ниже; 3) от присутствия в воде других (кроме водородного) катионов и их концентрации. Для нашего вопроса это последнее влияние особенно существенно, а потому мы на нем несколько остановимся.

Из смеси солей различных катионов каждый катион поглощается почвой в количестве, зависящем не только от его энергии поглощения и концентрации в растворе, но и от концентрации остальных катионов, находящихся в данном растворе, т. е. это количество находится в зависимости и от абсолютной и от относительной концентрации рассматриваемого катиона. Для данной концентрации любого катиона (если она только не слишком высока) можно подобрать настолько сравнительно высокую концентрацию другого катиона (или катионов), если этому не препятствует предел растворимости, что первый катион практически вовсе не будет поглощаться почвой.

Вода—чрезвычайно слабо диссоциированное соединение; в чистой воде концентрация свободного водородного иона при 22° достигает всего лишь одной десятиллионной грамма на литр (10^{-7}). Если мы возьмем заведомо высшую возможную концентрацию водородного иона в почвенной влаге, сделав такие допущения:

1) почвенный раствор насыщен уголекислотой при давлении CO_2 в 1 атмосферу и при 0°, т. е. содержит в литре 4,0 г CO_2 ;

2) вся эта уголекислота находится в растворе в виде гидрата $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$;

3) ионизация этой кислоты достигает максимальной возможной величины (константа диссоциации равна 3×10^{-7});

то при таких самых благоприятных условиях, никогда не могущих полностью осуществляться в почве, концентрация водородного иона в почвенном растворе может достигнуть лишь одной десяти тысячной грамма на литр (10^{-4}), т. е. 0,1 м-экв. на литр.

При такой ничтожной концентрации водородного иона в почвенной влаге уже очень небольшие количества простых солей в почве создают в почвенном растворе такую сравнительно высокую концентрацию металлических катионов, что, несмотря на сравнительно большую энергию поглощения водородного иона почвой, вхождение его в почвенный поглощающий комплекс становится совершенно невозможным. Так, если почва будет содержать 0,029% NaCl, то, принимая влажность почвы равной 50%, получим на 1 литр почвенного раствора 0,58 г NaCl, т. е. 10 м-экв. хлористого натрия или иона натрия в литре; если влажность почвы упадет до 10%, то концентрация иона натрия повысится до 50 м-экв.; таким образом, уже при содержании в почве 0,029% NaCl концентрация иона натрия в почвенном растворе в 100—500 раз (в зависимости от величины влажности) выше, нежели максимально возможная концентрация водород-

ного иона¹; в этих условиях можно определенно утверждать, что водородный ион практически не будет входить в поглощающий почвенный комплекс.

Таким образом, мы видим, что присутствие в почве легкорастворимых простых солей даже в очень сравнительно небольшом количестве (самая слабая степень засоленности почвы) препятствует водородному иону почвенного раствора вступать в поглощающий почвенный комплекс и вытеснять из него поглощенные основания.

Легко видеть, что такое же препятствие к вступлению в почвенный поглощающий комплекс встречает водородный ион и со стороны даже такой трудно растворимой соли, как углекислый кальций, если таковой содержится в почве. Для того случая содержания углекислоты в почвенной влаге, при котором мы имеем максимально мыслимую контрацию водородного иона — 0,1 м-экв. в литре, растворимость углекислого кальция достигает 1 г CaCO_3 на литр, или 10 м-экв. Са иона на литр почвенного раствора; т. е. и в случае присутствия в почве углекислого кальция концентрация катиона кальция в почвенном растворе будет достигать величины, раз в 100 большей, чем вышепринятая максимальная концентрация водородного иона; при этом надо иметь в виду еще то обстоятельство, что в присутствии углекислого кальция максимально возможная концентрация водородного иона в почвенном растворе должна значительно понизиться, так как, во-первых, значительная часть угольной кислоты будет связана с CaCO_3 в виде двууглекислого кальция, а во-вторых, электролитическая диссоциация угольной кислоты значительно понизится в присутствии углекислого кальция².

Таким образом, мы видим, что присутствие в почве каких-либо простых солей как легко-, так и труднорастворимых, и притом даже в количествах сравнительно очень низких, препятствует вхождению водородного иона почвенной влаги в почвенный поглощающий комплекс, препятствует вымыванию из алюмосиликатной и гуматной части почвы оснований и образованию соединений, ненасыщенных основаниями, т. е. соли эти и в том числе углекислый кальций защищают, предохраняют почву от первой вышерассмотренной стадии разлагающего действия воды.

Если бы даже процесс воздействия воды на алюмосиликатную и гуматную часть почвы ограничивался вышерассмотренной первой стадией, то и в этом случае сельскохозяйственная ценность почвы под влиянием такого процесса сильно понижалась бы, так как в результате из почвы теряется наиболее доступная растениям часть кальция и магния, почва приобретает неблагоприятные физические свойства (сильная распыленность поглощающего почвенного комплекса) и, что особенно важно, почва вследствие появления ненасыщенности приобретает неблагоприятные для жизни растений и микроорганизмов санитарные условия: кислую реакцию почвенного раствора вообще, которая, например, в случае внесения в почву минеральных азотистых удобрений или калийных туков, может выра-

¹ Можно, конечно, допустить, что условия разложения органических веществ таковы, что будут образовываться органические кислоты, более сильно диссоциированные, нежели угольная кислота; но таковые условия можно ожидать в почвах более влажных областей; очень сомнительно, чтобы они имели место в черноземной области.

² По данным W. Breuner'a («Ueber die Reaktion finländischer Böden». Geologiska Kommissionen i Finland, agrogeologiska Meddelanden, № 19, 1924) — реакция финляндских почв, образовавшихся на доломите, слабощелочная $\text{pH} = 7,7$. В данных Д. В. Дружинина («К вопросу о факторах, определяющих реакцию водной вытяжки из почвы». Труды Научного института по удобрениям, вып. 27) pH в водных вытяжках из почв известковавшихся колеблется между 6,6—8,2.

зяться очень заметной величиной; и нужно сказать, что в отношении санитарных условий то обстоятельство, что за первой стадией воздействия воды на почву обязательно следует вторая стадия, представляет, как мы увидим дальше, явления очень благоприятные в сельскохозяйственном отношении.

Обращаемся теперь к рассмотрению второй стадии воздействия воды на алюмосиликатную и гуматную часть почвы.

По мере того как молекулы алюмосиликата и гумата, расположенные на поверхности твердых частиц этих соединений, вследствие обменной реакции их оснований на водородный ион воды переходят из солей в соответствующие кислоты (алюмосиликатную или гумусовую), происходит распыление твердых алюмосиликатных и гуматных частиц почвы, «дисперсность» их повышается; до вступления водородного иона в поверхностные молекулы этих частиц они представляли прочные в отношении воды агрегаты более мелких частиц; благодаря же замене оснований водородным ионом и по мере этой замены прочность агрегатов уменьшается и вода начинает их распылять; явление это может быть объяснено постепенным обеднением поглощающего почвенного комплекса поглощенными кальцием и магнием и параллельно с этим идущим постепенным обеднением почвенной влаги этими свертывающими катионами. Распыление гуматных частиц происходит настолько сильно, что некоторая часть гуматов дает с водой если не истинные растворы, то во всяком случае очень высоко дисперсные коллоидальные растворы, близкие уже к истинным растворам; гуматная часть в этих условиях легко разлагается микроорганизмами и легко вымывается циркулирующими в почве водами.

Что касается силикатной части, то простые силикаты при замене их оснований водородным ионом мало-помалу переходят из деятельных, обладающих поглотительной способностью в почти недействительную аморфную SiO_2 , сложные же силикаты, превратившиеся в соответствующие алюмосиликатные кислоты и распылившиеся под действием воды, становятся менее устойчивыми: их комплексный анион распадается на составляющие его окислы, кремнекислоту и окиси железа и алюминия.

Таким образом, во второй своей стадии процесс разлагающего действия воды приводит к усиленному вымыванию и разложению гуматной части почвы, к переходу простых силикатов в аморфную кремнекислоту и к распаду алюмосиликатного ядра сложных силикатов на окислы кремния, алюминия и железа; процесс этот особенно энергично идет в коллоидально раздробленной части почвы, т. е. в почвенном поглощающем комплексе.

Итак, раз в почвенном растворе нет достаточного количества растворенных солей, почва под действием атмосферных осадков медленно, но неуклонно теряет свою наиболее существенную и наиболее ценную для земледелия часть, свой поглощающий комплекс; та же часть этого комплекса, которая в каждый данный момент остается неразрушенной, оказывается до известной степени ненасыщенной основаниями и потому является причиной неблагоприятных для жизни растений и бактерий санитарных условий в почве. Почва постепенно из совокупности очень сложных, сравнительно мало устойчивых соединений, обуславливающих ее пригодность как среды для жизни растений и микроорганизмов, приходящих ей высокую реакционную способность и резко выраженную отзывчивость на всякие изменения внешних условий, превращается в смесь простых и устойчивых соединений, т. е. в мертвое тело. Простые соли почвы, как предохраняющие ее от такого разрушительного действия воды, яв-

ляются поэтому чрезвычайно существенным фактором; из этих солей в отношении производительности почвы особое значение выпадает на долю карбонатов кальция и, по всей вероятности, магния; все остальные простые почвенные соли благодаря высокой растворимости и специфической ядовитости своих анионов (хлора-иона и SO_4) могут вредить растениям или оказывать неблагоприятное влияние на физические свойства почвы (соли щелочных катионов), действие же углекислого кальция на почву, растения и микрофлору может быть только благоприятное.

Для того чтобы углекислый кальций мог оказывать предохраняющее действие на почву, нет необходимости, чтобы в почве он содержался в самых верхних горизонтах; достаточно, чтобы горизонт вскипания почвы был настолько высок, чтобы почвенный раствор и в верхнем слое содержал растворенный углекислый кальций. Те почвы лесостепи и, в частности, района Носовской опытной станции, где горизонт вскипания лежит еще в почвенной толще, большую часть года, в большей или меньшей степени предохранены и в верхних своих слоях от процессов разрушения; разрушаются ли такие почвы и в какой степени в периоды сильного увлажнения—это вопрос, к которому можно подойти только опытным путем. В тех же деградированных черноземах, в которых углекислый кальций вымыт уже и из подпочвенных слоев, разрушение поглощающего комплекса, конечно, идет.

Ежегодное внесение небольших доз углекислого кальция в деградирующие черноземы остановит дальнейший процесс деградации и вместе с тем улучшит физические, химические, биологические и санитарные условия этих почв.

Для того чтобы установить то минимальное количество углекислого кальция, внесение которого (ежегодно) обеспечивало бы почву от разрушения, необходимо знать прежде всего годовое количество воды, просачивающейся через почвенную толщу; данными для учета этой величины мы не обладаем, поэтому указать необходимое минимальное количество CaCO_3 для носовских почв я сейчас не могу. Могу лишь указать максимальное количество, если принять самые благоприятные условия для выщелачивающей деятельности атмосферных осадков, т. е. полное отсутствие испарения и стока, максимальное содержание углекислоты в почвенной влаге, максимальную растворимость углекислого кальция и пр. При этих условиях и при 500 мм атмосферных осадков с десятины может быть растворено до 340 пудов CaCO_3 . Конечно, таких условий в природе не может быть; количество CaCO_3 , необходимое для защиты почвы от деградации, должно быть значительно меньше; подходя к этому вопросу с качественной стороны, думаю, что уже 10 пудов CaCO_3 на десятину в год должно быть вполне достаточно.

II

Главное значение известкования (и гипсования как источника кальция, но не серной кислоты) нужно рассматривать как меру, благодаря которой поглощающий комплекс почвы, обеспеченный достаточным содержанием иона кальция в почвенной влаге, защищен от вступления в него во влажных областях водородного иона, а в областях с засушливым климатом иона натрия. В том и другом случае почва предохраняется от неблагоприятной для растений реакции почвенного раствора (кислой во влажных областях и щелочной в засушливых), от постепенного ухудшения физических ее свойств и от быстрого разрушения ее поглощающего комплекса.

Относительно защиты поглощающего комплекса почвы от разрушения можно, кажется, с полной уверенностью утверждать, что чем полнее будет он насыщен именно кальцием, а значит, и чем больше будет в почве избыток углекислого кальция, тем полнее будет проявляться это влияние кальция как одного из элементов почвы. Что же касается предохранения почвы от неблагоприятной для растений реакции почвенной влаги и от ухудшения физических свойств почвы, то здесь нельзя с такой определенностью утверждать, что оптимум этих свойств почвы в отношении растения (а тем более растений и почв вообще) лежит обязательно в точке полного насыщения поглощающего комплекса почвы кальцием, и если он находится именно в этой точке, то что дальнейшее повышение в почве содержания углекислого кальция не будет уже явлением отрицательным. Наши сведения об отношении растений к реакции почвенного раствора и к физическим свойствам почвы еще так примитивны, а в природных условиях то и другое переплетается с такой массой других факторов (например, метеорологические условия места, буферные свойства данной почвы и т. д.), что в указанной области в настоящее время возможны лишь одни более или менее вероятные предположения. Мне кажется, что при настоящем состоянии этого вопроса мы с одинаковым правом можем считать, что означенные оптимумы (для реакции почвенного раствора и для физических свойств) наступают как при полном насыщении поглощающего комплекса почвы кальцием, так и при содержании в этом комплексе небольших количеств поглощенного водорода или поглощенного натрия. Таким образом, если мы имеем полное право утверждать, что, например, тучный чернозем, содержащий в своем поглощающем комплексе только поглощенный кальций и магний, в отношении реакции почвенного раствора и своих физических свойств несомненно более благоприятен для роста растений, нежели происшедшая из него ясно солонцеватая почва или заметно деградированный чернозем, то у нас совершенно нет достаточных оснований распространять это заключение и на первые, самые начальные стадии осолонения или деградации этого чернозема; может быть, в какой-нибудь из этих начальных стадий эти свойства почвы будут еще лучше. Поставленный здесь нами вопрос о двух случаях возможного отрицательного действия избытка кальция в почве на растение несомненно заслуживает полного внимания и соответствующей разработки. Но среди многочисленных проявлений действия кальция на почву, на агрономические ее свойства, есть одно, где отрицательное влияние поглощенного кальция, когда степень насыщенности поглощающего комплекса кальцием переходит известные границы, должно, по моему мнению, несомненно иметь место. К анализу этого явления мы сейчас и перейдем.

Мы имеем очень много данных как полевого, так и вегетационного опыта, показывающих, что черноземные почвы, несмотря на громадные запасы в них питательных элементов, могут очень сильно нуждаться и реагировать на азот и фосфор; особенно ясно это проявляется в вегетационных опытах благодаря тому, что в сосудах мы имеем возможность остальные факторы вегетации (влажность, проветривание) поставить в условия более оптимальные, нежели в поле. При нашем рассмотрении, нам особенно существенны показания именно вегетационного метода. В вегетационных исследованиях Петроградской сельскохозяйственной химической лаборатории часто встречались случаи, когда тучные черноземы (пахотные горизонты) с содержанием общего азота до 0,5% (т. е. с запасом азота на десятине в слое почвы в 4 вершка, достигающем громадной цифры—около 500 пудов азота) давали без азотистого удобрения (по фосфору

и калию) заметно меньшие урожаи, нежели оподзоленные почвы, содержащие всего лишь около 0,1% общего азота. Подобное же получается в вегетационных опытах Носовской станции; так, например, по фосфору и калию почвы: полтавский чернозем (около 5% гумуса), деградированный носовский чернозем (около 3% гумуса) и светлый сильно деградированный суглинок Чемера (около 1% гумуса) дали урожаи овса, по величине как раз обратные процентному содержанию валового азота. Таким образом, совершенно определенно можно говорить о малой подвижности органических азотистых соединений в нормальных черноземах (фосфорнокислых соединений я сейчас не касаюсь). Черноземы оказываются в отношении перевода недоступных растениям органических соединений азота менее деятельными, нежели почвы подзолистого типа. Каковы же причины малой подвижности органического азота черноземов? Так как превращение органического азота в доступные растениям минеральные его формы есть процесс микробиологический, то причины малой подвижности органических соединений азота почвы могут быть двоякого порядка. Почва может представлять собой среду, неблагоприятную для развития и деятельности микроорганизмов, минерализующих органический азот; например, почвенный раствор имеет неблагоприятную для этих микроорганизмов реакцию, содержит какие-либо вредные для них вещества, почва находится при избыточной или недостаточной влажности, обладает неблагоприятным воздушным режимом и пр. В таком случае аммонизация и нитрификация в почве будет идти слабо и почвенный органический азот, как бы велики запасы его в почве ни были, будет оставаться недействительным. Возможно, что некоторые из перечисленных неблагоприятных условий имеются налицо в тех или других естественных черноземных почвах; так, например, на полях Носовской станции имеются основания предполагать неблагоприятный воздушный режим; но, к сожалению, эта сторона рассматриваемого вопроса на Носовской станции вследствие отсутствия микробиологических изысканий еще не затронута, да и вообще на наших опытных станциях она почти вовсе до настоящего времени не разрабатывалась. К счастью, мы имеем возможность осветить этот вопрос иным косвенным путем, пользуясь именно данными вегетационных опытов. Мы указывали выше, что в вегетационных сосудах использование растениями почвенного азота черноземов очень часто ниже, чем использование его из почв подзолистых и деградированных черноземов; величина урожая в сосудах по фосфору и калию получается часто чрезвычайно низкая; а между тем со стороны внешних условий (влажность и проветривание) почва в сосуде находится в условиях, во всяком случае близких к оптимальным; кроме того, в отношении очень важного фактора—реакции почвенного раствора—нормальные черноземы находятся несомненно в лучших условиях, чем почвы оподзоленные; и казалось бы, процессы аммонификации и нитрификации должны в сосудах с нормальным черноземом идти значительно успешнее, нежели в сосудах с подзолистыми почвами. Однако мы видим обратное.

Возможно, что тут дело в причинах иного порядка, которые, может быть, не всецело обуславливают неподвижность азотистых соединений чернозема, но во всяком случае принимают то или другое участие в этом явлении. Можно именно утверждать, что на степень подвижности органических азотистых соединений почвы влияют не только микробиологические условия в почве, но и сам характер (химический состав и физические свойства) этих соединений. А почвенные органические вещества в этом отношении у подзолов, деградированных черноземов и нормальных черноземов,

конечно, не одинаковы. В нормальных черноземах разложение органических остатков шло и идет в среде достаточно богатой кальцием, содержащей сравнительно близко углесоли кальция; образующийся гумус находит в такой среде достаточно кальция для насыщения им своей поглотительной способности; кальций закрепляет гуматную часть гумуса, делает ее малорастворимой и понижает степень ее дисперсности; поэтому, во-первых, минерализация гумуса останавливается здесь на ранних стадиях и, во-вторых, в этих стадиях гуматная часть, вследствие насыщенности ее кальцием и приобретенной поэтому крупнозернистой и прочной в отношении действия воды микроструктуры, лишь в очень малых количествах коллоидально растворяется в воде; почвенные микроорганизмы, даже при очень благоприятных всех прочих условиях для своей жизнедеятельности, находят очень мало гумуса в доступной для них форме; поэтому гумусовые вещества, а в том числе и органические азотистые соединения, оказываются малоподвижными, несмотря на большое содержание их в почве.

В почвах подзолистого типа имеются обратные условия. Здесь разложение органических остатков идет при заведомом недостатке кальция и вообще оснований; закрепления образующихся продуктов разложения не происходит; само разложение идет поэтому дальше, а имеющаяся в каждый данный момент гуматная часть в большей или меньшей степени всегда не насыщена основаниями, а потому дает в воде частично высокодисперсные системы, дисперсная фаза которых—мелкораспыленный гумус является легкодоступным почвенным микроорганизмам; и если подзолистую почву поставить в условия, благоприятные для жизнедеятельности аммонизаторов и нитрификаторов (например, известковать), то бывают случаи, что она даже в вегетационных сосудах почти вовсе не нуждается в азотистом удобрении.

В деградированных черноземах часть органического поглощающего комплекса почвы, образовавшегося при прежних, иных условиях почвообразования (при стадии черноземного типа почвообразования), теперь будет находиться в состоянии ненасыщенности основаниями; в таком же состоянии будет и вновь образующийся органический поглощающий комплекс; поэтому степень дисперсности части гумусовых веществ деградированного чернозема будет выше, нежели в нормальных черноземах, доступность его микроорганизмам будет больше, азотистые органические вещества почвы будут более подвижны.

Еще большей подвижностью должны обладать азотистые органические вещества солонцов и солонцеватых почв; натрий, входящий в поглощающий комплекс этих почв, обладает среди всех остальных элементов, встречающихся в почве в поглощенном состоянии, способностью вызывать наибольшее распыление органической и минеральной частей поглощающего комплекса; по доступности микроорганизмам своих азотистых соединений почвы этого типа занимают первое место между остальными почвами; но, несмотря на это, процессы минерализации органического азота в этих почвах, должно быть, идут очень слабо (исследований в этом направлении почти не имеется), они подавлены неблагоприятными для жизни микроорганизмов условиями в этих почвах, как химическим (высокая концентрация сильноядовитого для них гидроксильного иона в почвенном растворе), так и физическими (плохая проветриваемость этих почв в сыром состоянии как результат сильной распыленности поглощающего комплекса).

Наконец, нам остается еще рассмотреть в отношении подвижности азотистых соединений почвы, происшедшие из солонцов и солонцеватых почв, имеющие значение в районе Носовской опытной станции и вообще

в области Днепровского ледникового языка. Повидимому, в прежние времена засоленность почвенного покрова Днепровского ледникового языка, следы которой теперь обнаруживаются в различных частях этого языка, имела широкое распространение; параллельно этому и следующая стадия эволюции таких почв—почвы солонцеватые, встречающиеся в настоящее время только пятнами среди почвенного покрова этой области, представляли в ней преобладающий фон, здесь могли встречаться почвы самых различных степеней солонцеватости, начиная от очень слабовыраженной солонцеватости до типичных солонцов; кроме того, и в отношении степени карбонатности и высоты горизонта вскипания эти солонцеватые почвы должны были быть очень разнообразными, вследствие разнообразия почвообразующих пород в области Днепровского языка; в общем карбонатность должна была понижаться к северу к долине Десны. Мы думаем, что большинство современных почв Днепровского ледникового языка представляют собой деградированные (осолодевшие) солонцеватые почвы. В связи с высотой горизонта вскипания в солонцеватых почвах, поднимающегося в существующих в настоящее время солонцах окрестностей Макиевского опытного поля до самой поверхности, разрушение поглощающего комплекса почвы при осолодении солонцеватых почв Носовской опытной станции и дальше на юг Днепровского языка могло выразиться лишь в слабой степени; в конечном результате осолодевшие солонцеватые почвы этих мест остались черноземными же почвами (вторичные черноземы), лишь несколько более бедными коллоидальной частью, потеряв при осолодении долю гуматной части и в значительно меньшей степени силикатную часть поглощающего комплекса. Поэтому носовские черноземы отчасти обеднены гуматной частью, а следовательно, и азотистыми органическими веществами, и притом наиболее активными, которые в процессе осолодения были вымыты в грунтовые воды; таким образом, к той общей для черноземов причине малой подвижности азотистых соединений почвы, на которую мы указывали раньше,—насыщенность гуматной части кальцием, в носовских и более южных вторичных черноземах Днепровского ледникового языка присоединяется другая—выщелоченность части органических веществ. Если бы эти почвы оставались в девственном состоянии, то гуматная часть постепенно пополнялась бы вновь образующимся гумусом естественной растительности, что в условиях сельскохозяйственной культуры идет, конечно, гораздо слабее.

В почвах Днепровского языка, более северных, нежели носовские, процесс деградации солонцеватых почв, вследствие отсутствия карбонатов, выразился значительно резче; между почвами окрестностей, например Чемерского опытного поля, встречаются уже очень светлые подзолообразные почвы, с маломощным и очень слабо окрашенным гумусовым горизонтом и с весьма мощным под ним белесовым слоем.

Из этих вторичных подзолистых почв разной степени осолодения также вымыта часть гумуса, и еще большая, нежели из носовских почв; они, таким образом, также сильно обеднены подвижными азотистыми соединениями; но оставшаяся в них гуматная часть поглощающего комплекса не вполне насыщена кальцием, а содержит также поглощенный водород, и поэтому невымытые в процессе осолодения азотистые органические вещества в этих почвах должны обладать большей подвижностью, нежели в нормальных черноземах; кроме того, эти вещества во вновь образующейся гуматной части из корневых остатков полевой растительности, не закрепляясь кальцием, вследствие отсутствия в этих почвах углекислого кальция и вообще бедности почвы соединениями кальция также будут нахо-

даться в более подвижном состоянии, нежели азотистые органические вещества вновь возникающей гуматной части нормальных черноземов.

Какие же практические выводы могут быть сделаны из вышеизложенного теоретического выяснения причин малой подвижности азотистых органических веществ черноземных почв? Каким образом можно было бы практически повысить эту подвижность, поскольку это вызывается малой дисперсностью гуматной части почвы, малой ее растворимостью в воде (малой подвижности азотистых соединений почвы, обусловливаемой неблагоприятными условиями для жизни микроорганизмов, я здесь не касаюсь). Само собою разумеется, что готового рецепта, который можно было бы сейчас же применить в практике, я дать не могу. Целью моей статьи является лишь несколько освоить этот вопрос, изложить мои соображения, возбудить интерес к нему и дать таким образом толчок к изучению его опытным путем. Вопрос существенный, но очень сложный и очень тонкий.

Мы видим, что по имеющимся данным и теоретическим соображениям полная насыщенность поглощающего комплекса кальцием благоприятная, повидимому, для культуры растений в различных других отношениях, создает, однако, понижая растворимость гумуса, малую подвижность органических азотистых соединений почвы; достаточно хоть несколько повысить растворимость гумуса, чтобы эти вещества стали доступнее микроорганизмам почвы, что, в свою очередь, вызовет усиление аммонизации и нитрификации. Такое повышение растворимости может быть вызвано заменой небольшого количества поглощенного кальция чернозема водородом или натрием. Об искусственной замене кальция водородным ионом как практическом приеме говорить не приходится. Замену же этой части кальция на натрий произвести легко, и такая замена несомненно повысит растворимость органических азотистых соединений почвы. Но сложность вопроса тут в том, что натрий в поглощающем комплексе почвы создает неблагоприятные физические свойства почвы и вызывает образование в почвенном растворе соды—одним словом, делает почву солонцеватой; поэтому введение натрия в почву, с одной стороны, ухудшает ее культурные свойства, а с другой стороны, делает азот ее более подвижным, и вопрос в том, может ли почва быть настолько слабосолонцеватой, чтобы вредные свойства этой солонцеватости еще не проявлялись, а полезное действие уже появилось бы. Относительно первого можно почти с уверенностью сказать, что очень слабая степень солонцеватости не вредна, по крайней мере многим культурам. Но эта предельная солонцеватость (т. е. максимальное содержание в данной почве поглощенного натрия безвредных последствий для растений) для каждой почвы должна быть найдена опытным путем и опытным же путем должно быть исследовано, получается ли уже при этой солонцеватости большая подвижность азотистых органических соединений у исследуемой почвы, отражающаяся в достаточной степени на увеличении количества минерального азота в почве. Опытов с вышеозначенными целями, насколько мне известно, не производилось, и поэтому каких-либо данных в этом отношении я привести не могу; можно лишь указать на некоторые явления, объяснить которые возможно, допуская повышенную способность к минерализации почвенного органического азота вследствие солонцеватости почвы. Так, например, сахарная свекла роскошно развивает ботву темнозеленого цвета на сравнительно слабо солонцеватых почвах. В Соединенных Штатах Северной Америки (например, в штате Колорадо), среди солончаковых и солонцеватых почв имеются пятна, иногда очень богатые нитратами (содержание достигает до 5,7%

NaNO_3). Происхождение этих нитратов трактуется различными исследователями различно. По W. P. Headden'у (см. «*Alkalis in Colorado. Bull. 239, 1918. Agr. Exp. Sta. Colorado Agr. College*»), селитра в этих пятнах местного происхождения и обязана усиленной деятельности азотобактера, которой благоприятствует сода этих почв (почвы солонцеватые); при таком толковании явления приходится, очевидно, допустить еще усиленную, нитрификационную деятельность в почвах этих пятен, обусловленную той же солонцеватостью почвы.

Введение в почвенный поглощающий комплекс, насыщенный исключительно кальцием и магнием, небольшого количества натрия для создания слабой солонцеватости может быть достигнуто внесением в почву любой натриевой соли. В каком количестве должна быть внесена такая соль, без исследования соответствующими опытами трудно сказать. По всей вероятности, это количество должно быть не больше того, которое при наименьшей возможной влажности пахотного горизонта в вегетационный период дало бы концентрацию в почвенном растворе 0,1 норм. (для хлористого натрия это составит около 60 пудов на десятину, а для азотнокислого — около 90 пудов), — выше этой концентрации внесенная соль, возможно, будет уже вредить растительности. Далее это количество, по всей вероятности, должно быть не меньше того, которое при той же влажности почвы даст в почвенном растворе 0,01 норм. внесенной соли (для хлористого натрия около 6 пудов на десятину, для азотнокислого натрия около 9 пудов на десятину); меньшие количества, по всей вероятности, смогут вызвать лишь такую слабую солонцеватость, при которой подвижность азотистых органических соединений в почве практически уже не повысится. В указанных выше пределах концентрации в первую очередь и следует изучить действие натриевых солей на чернозем. Нужно при этом иметь в виду, что предел той солонцеватости, выше которой почва приобретает уже неблагоприятные физические свойства у различных почв, будет, конечно, неодинаков; чем почва более богата поглощающим комплексом, тем выше будет этот предел, и, наоборот, чем меньше в почве этого комплекса, тем меньше можно вводить в него поглощенного натрия, не ухудшая физического состояния; дело в том, что почвенные коллоидальные вещества, содержащие поглощенный натрий, лишаются способности склеивать во влажном состоянии; эти же вещества с поглощенным кальцием и во влажном состоянии представляют прочный цемент; чем больше в почве количества поглощающего комплекса, содержащего кальций (нормальный чернозем), тем большая часть его без ущерба для физических свойств почвы может быть превращена в насыщенную натрием и тем лишенную способности прочно цементировать.

Для создания солонцеватости в почве с рассматриваемой здесь целью наиболее подходящими солями являются, конечно, те, анион которых представляет питательное вещество, т. е. фосфорнокислый и азотнокислый натрий, а затем сернокислый натрий; хлористый натрий будет значительно вреднее и опаснее, но он наиболее дешев; поэтому, по всей вероятности, наиболее выгодной комбинацией будет внесение в почву смеси из азотнокислого натрия в том количестве, в котором он обычно в данную почву вносится как азотистое удобрение, плюс недостающее количество натрия в хлористом натрии. Если для данной почвы возможна такая степень солонцеватости, которая, не вызывая еще проявления специфического вреда солонцеватости, даст положительный эффект в отношении азотистого питания растений, то правильное удобрение черноземов натриевой селитрой должно достигать, конечно, той же цели, что и внесение в почву любой

натриевой соли, т. е. в данном случае плодородие почвы азотом должно повышаться и от внесения в почву нитратного азота и от повышения подвижности почвенного органического азота; поэтому, по всей вероятности, обычное удобрение черноземов чилийской селитрой также сопровождается в той или другой мере усилением минерализации почвенного азота. Было бы чрезвычайно интересно подойти к выяснению величины этого побочного влияния натриевой селитры. Конечно, как внесение в почву хлористого натрия так и всякой другой натриевой соли, в том числе и азотнокислого натрия, может вызвать отрицательное влияние в том случае, когда это внесение повысит содержание натрия в поглощающем комплексе выше некоторой для каждой почвы определенной величины; всем известное ухудшение физических свойств почвы после многолетнего удобрения ее чилийской селитрой есть результат такого чрезмерного обогащения почвы поглощенным натрием, источником которого в данном случае является вносимый в почву азотнокислый натрий; благодаря этому создается высокая концентрация гидроксильного иона в почвенном растворе и в почве остается мало таких коллоидальных веществ (а именно только та часть поглощающего комплекса, в которой поглощенными катионами остаются еще кальций и магний), цементирующая способность которых не исчезает во влажном состоянии; оставшая часть поглощающего комплекса (часть насыщенная натрием) такой способности уже лишена; взамен она приобретает другую способность сильно цементировать почвенные частички в сухом состоянии, создавая очень крупную и прочную структуру; и то и другое с точки зрения среды для сельскохозяйственных растений представляет отрицательное свойство; почвы, обладающие таким свойством, трудно поддаются обработке, имеют водный и воздушный режим, неблагоприятный для развития растений. Укажу, кстати, что и калийные соли должны производить в почве эффект, подобный натриевым солям, т. е. они также, с одной стороны, делают органические азотистые соединения почвы более доступными микроорганизмам, а с другой стороны, вызывают щелочную реакцию в почвенном растворе и ухудшают физические свойства почвы, так как поглощенный калий качественно ведет себя так же, как и поглощенный натрий, но только несколько слабее.

В вышеизложенном об усилении подвижности азота в почве я говорил только о черноземах, и притом нормальных, понимая под последними черноземами недеградированные и несолонцеватые; естественные солонцеватые черноземы в введении в их поглощающий комплекс натрия, очевидно, не нуждаются, он там уже имеется, а потому доступность микроорганизмам их азотистых органических соединений уже повышена. Что касается деградированных черноземов, а также оподзоленных почв, то они в этой мере тоже не нуждаются (точнее, быть может, сказать—нуждаются меньше), потому что азотистые соединения их обладают уже подвижностью благодаря присутствию в поглощающем комплексе этих почв поглощенного водорода и бедности вообще кальцием; кроме того, мера эта для оподзоленных почв и для черноземов с ясно выраженной деградацией была бы нецелесообразна. Несомненно, для каждой данной почвы должно существовать в отношении ее сохраняемости и ее культурных свойств (подвижность ее питательных веществ, физических свойств, в частности водного и воздушного режима) оптимальное соотношение между количествами катионов, находящихся в поглощенном состоянии в ее коллоидальной части и влияющих в противоположном смысле на эти свойства почвы, т. е. между натрием и водородом, с одной стороны, и кальцием и магнием, с другой стороны. Для нормальных черноземов, содержащих сравнительно близко от поверх-

ности карбонаты кальция и магния, желательное равновесие, повидимому, нарушено в одну сторону, в сторону преобладания вышеуказанной второй группы поглощенных катионов; в почвах подзолистых, в заметно уже деградированных черноземах и в ясно солонцеватых почвах—в другую, а именно в сторону очень опасного преобладания водорода или натрия, причем несомненно отклонение от равновесия в первую сторону (в сторону преобладания кальция и магния) при нынешних приемах культуры значительно менее неблагоприятно и менее опасно, нежели отклонение его в сторону преобладания водородного иона или натрия. Почвы носовские занимают среднее место, и лишь только опыт может решить для этих почв, в каком состоянии находится здесь вышеуказанное равновесие. Вопрос о подвижности питательных веществ и в том числе азотистых в почвах Носовской станции является одним из основных вопросов программы Агрохимического отдела; но пока отдел не имел возможности приступить к непосредственному его изучению, и должен был ограничиваться теоретическим подходом и косвенными исследованиями ввиду отсутствия соответствующего оборудования для микробиологических исследований; ясно, что без микробиологии этот вопрос разрешить нельзя.

Носовская сельскохозяйственная
опытная станция
Июль, 1925 г.

ПОЧВА КАК КУЛЬТУРНАЯ СРЕДА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

ПОЧВЕННЫЕ КОЛЛОИДЫ И СОЛОНЦЕВАТОСТЬ ПОЧВ

*По данным Агрохимического отдела Носовской сельскохозяйственной
опытной станции*

ВВЕДЕНИЕ

Иель всякой полеводственной сельскохозяйственной станции повысить насколько возможно количество органической массы известного качества, даваемой полями района станции. Для осуществления этой цели станция должна стремиться овладеть теми внешними условиями, которые влияют на рост растения и создают тот или другой его урожай и которые носят общее название факторов вегетации.

Овладеть каким-либо фактором вегетации—это значит прежде всего изучить его в районе действия станции, независимо от действия его на растение с качественной и количественной стороны; а так как вся совокупность факторов вегетации составляет то, что известно под общим именем естественнo-исторических условий района, то необходимой предпосылкой для достижения конечной цели станции является познание этих условий в своем районе. Далее необходимо установить зависимость между факторами вегетации, ростом растений и качеством урожая, т. е. найти законы их влияния на растение и, наконец, найти способы изменять интенсивность этих факторов в том или другом направлении и этим регулировать их влияние на растение.

Одним из таковых факторов вегетации является почва; точнее сказать, в почве мы имеем сложную совокупность отдельных факторов вегетации: растение произрастает на почве, а существенная часть растения—его корень всю жизнь свою проводит в самой почве, откуда он берет необходимые для растения питательные вещества, воду и необходимый для его дыхания кислород.

Громадная роль в урожайности растений принадлежит далее метеорологическим факторам (влага, теплота, воздух); но большинство из этих факторов на растение преломляется, так сказать, через почву, причем степень и направление такого преломления находятся в тесной зависимости от свойств данной почвы; так, например, одно и то же количество атмосферных осадков при их одинаковом распределении во времени могут повлиять на урожай на глинистой почве или на почве, богатой перегнойными веществами, совершенно иначе, нежели на песчаной или бедной гумусом почве. Такое посредственное, через почву преломляющееся влияние метеорологических факторов придает еще большее значение изучению почвы как среды, в которой растут и развиваются сельскохозяйственные растения, изучению всех тех свойств почвы, которые так или иначе могут влиять на величину урожая. Вместе с тем такое посредствен-

ное действие на растение метеорологических факторов очень усложняет изучение почвы в агрономическом отношении, так как вносит целый ряд новых, сложных и трудных вопросов; достаточно указать, что для возможности управлять величиной урожая на данной почве является необходимым изучить законы передвижения атмосферной влаги в почве, законы обмена воздухом между почвой и атмосферой и т. д.

Наконец, для более ясного представления о всей сложности вопроса о почвенных факторах вегетации, нельзя не отметить значения особой группы почвенных факторов—факторов микробиологических. Почва населена громадным количеством живых микроскопических организмов (бактерии, грибки, водоросли, простейшие); в 1 куб. см почвы насчитываются миллионы этих микроорганизмов. Одни из этих микроорганизмов являются очень полезными в почве как среде для культивируемых растений (таковы, например, микроорганизмы, разлагающие азотистые органические вещества с образованием аммиака—аммонизаторы; бактерии, окисляющие аммиак дальше в азотистую и азотную кислоты—нитрификаторы; бактерии, питающиеся газообразным азотом воздуха и переводящие его в связанное состояние, и т. д.); другие, наоборот, в процессах своей жизни производят вредные для растений вещества или разрушают полезные для растений соединения (например, так называемые денитрификаторы, которые разрушают азотнокислые соли в почве, являющиеся наряду с аммиачными соединениями почвы источником азотистого питания растений). Интенсивность деятельности почвенных микроорганизмов находится в тесной зависимости от свойств почвы; эти свойства могут быть таковы, что полезная для растений деятельность микробов будет преобладать над вредной. Всякая сельскохозяйственная опытная станция должна, очевидно, изучить микрофлору почв своего района и те свойства почвы, которые так или иначе влияют на жизнедеятельность этого населения, с тем чтобы различными искусственными приемами направлять их деятельность в желательную сторону.

Таким образом, те свойства почвы, которые, являясь факторами вегетации, подлежат изучению на опытных станциях, чрезвычайно разнообразны. Изучение их сосредоточивается в особых отделах станций, носящих различное название. На Носовской сельскохозяйственной опытной станции такой отдел называется агрохимическим. Настоящая статья имеет целью познакомить читателя с направлением работ этого отдела Носовской станции и с главными выводами, к которым он пришел за время своей деятельности.

Так как свойства почвы вообще и особенно те ее свойства и особенности, в которых проявляется жизнь почвы, ее постоянная изменчивость и отзывчивость на внешние условия и от которых в конце концов зависит сельскохозяйственное достоинство почвы и приемы ее улучшения самым тесным образом связаны с коллоидальными веществами почвы и с темп реакциями, которые обуславливаются свойствами вещества в коллоидальном состоянии, то для общедоступности моего изложения я считаю необходимым в соответствующих местах настоящей статьи ввести в самой краткой и доступной форме главнейшие основы учения о почвенных коллоидах и реакциях взаимобмена между ними и солями, растворенными в почвенной влаге. Буду из указанной области останавливаться только на том, что имеет непосредственное отношение к работам Агрохимического отдела Носовской станции. В изложении же буду руководствоваться данными общей коллоидальной химии и результатами своих работ по изучению коллоидальных свойств почвы.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Между различными свойствами почв имеются такие, которые можно назвать *основными свойствами почвы*; их необходимо знать, во-первых, для того, чтобы иметь общее представление о почве, об ее происхождении и принадлежности к тому или другому почвенному типу, подтипу и т. п.; а во-вторых, для того, чтобы можно было изучать дальнейшие свойства почвы, так как все остальные ее свойства являются производными от основных свойств почвы.

Определить, что я понимаю под термином «основные свойства почвы», можно приблизительно так: это такие свойства, которые, определяя общую физиономию почвы, отличаются известным постоянством; конечно, и они изменяются во времени, так как в почве нет ничего абсолютно постоянного; но, чтобы изменения основных свойств почвы произошли естественным путем и чтобы они при этом стали доступными нашим методам исследования и повлияли на рост возделываемых растений, нужны периоды времени, измеряемые десятками и сотнями лет. Для того чтобы эти свойства изменить искусственно и в течение сравнительно короткого времени, земледельцу нужно прибегнуть к коренным мелиорациям, обычными же приемами обработки и удобрения основные свойства почвы могут более или менее ощутимо изменяться лишь при применении их в течение очень многих лет. К таковым основным свойствам почвы нужно отнести прежде всего ее элементарный валовой состав, под которым понимается следующее. Я останавлиюсь подробнее на выяснении этого понятия, так как это нам пригодится и для последующего изложения.

Почва состоит из минеральной и органической части. Та и другая представляют совокупность многих отдельных соединений. Сказать, какие это соединения и сколько их, мы при настоящем состоянии наших знаний не можем. Но мы знаем, что минеральная часть почвы содержит только соединения, имеющие характер или так называемых окислов, или так называемых солей, причем из свободных окислов в почве всегда имеется в том или в другом количестве окисел кремния— SiO_2 (кремнезем в виде кристаллической кремнекислоты—кварц, или аморфная кремнекислота), и могут быть еще окислы железа— Fe_2O_3 и алюминия— Al_2O_3 . Остальная минеральная часть почвы представляет соли, т. е. соединения кислотных окислов с основными (или кислоты, в которых водород замещен металлом). В органической части почвы, в ее гумусе, также содержатся соли, но соли органических кислот, связанных также с металлами, а кроме того, часть гумуса представляют вещества иной химической природы (например, белки, углеводы); это группа, так называемых индифферентных органических веществ почвы. Нам известно, что в минеральную часть входят кремний, алюминий, железо, марганец, кальций, магний, калий, натрий, кислород, азот, фосфор, сера; кроме того, почва содержит целый ряд других элементов (например, титан, барий, цезий, рубидий, литий), но эти элементы при обычном валовом анализе не учитываются; их количества, кроме разве титана, вообще очень ничтожны; почвы в этом отношении еще очень мало изучены, и роль этих элементов в жизни почвы и растения нам еще совершенно неизвестна*. Не умея определять, в каких именно соеди-

* За последние годы проведены многочисленные исследования по изучению действия микроэлементов на рост, развитие и урожай сельскохозяйственных растений, влияние их на химический состав и обмен веществ в растительном организме (работы О. К. Кедрова-Зихман, Е. В. Бобко, М. Я. Школьника, М. В. Катымова, Я. В. Пей-

яниях в почве находится каждый из этих элементов и какая часть данного элемента почвы находится в том или другом ее соединении, мы можем определить общее количество каждого элемента в любой почве. Так вот общее содержание в почве каждого элемента во всех имеющихся соединениях его в данной почве носит название валового содержания этого элемента в почве, а валовое содержание всех встречающихся в минеральной части почвы элементов носит название валового состава минеральной части почвы; определяется оно в почве помощью химического исследования почвы, носящего название валового анализа почвы. Полученное этим анализом валовое содержание каждого элемента выражается не прямо в количестве этого элемента, а в количестве его окисла, т. е. соединения его с кислородом, потому что, как сказано было выше, почва содержит элементы или в виде свободных окислов (например, SiO_2), или в виде соединения кислотного окисла с основным, т. е. в виде соответствующей соли (например, кремний и кальций могут быть в почве в виде соли SiO_4Ca_2 , т. е. $\text{SiO}_2 + 2\text{CaO}$). Поэтому, если, например, в 100 г минеральной части почвы определить валовым анализом количество каждого содержащегося в ней элемента и на основании полученных данных вычислить для каждого элемента вес его окисла, то сумма окислов всех этих элементов должна дать ровно 100 г, если бы не было ошибки в анализе; вследствие же неизбежности ошибок сумма получится несколько иная—около 98 г. В органической части почвы определяется общее содержание углерода и азота. На основании общего содержания углерода можно приблизительно узнать и общее содержание в почве гумуса, так как можно с некоторым приближением допустить, что в гумусе всякой почвы (кроме торфянистой) содержится около 58% углерода. Нужно помнить в виду, что гумус почвы всегда содержит минеральные элементы (золу), которые частью входят в него как основания органических кислот, частью же как необходимый элемент в молекулу того или другого органического соединения гумуса, например фосфор и сера в молекуле некоторых белковых веществ. При валовом анализе почвы эти элементы учитываются вместе с остальными в валовом составе минеральной части почвы.

Если оставить в стороне содержащийся в почве свободный кремнезем (SiO_2), содержание которого зависит главным образом от степени мелкозернистости почвы (чем почва глинистее, тем меньше в ней этого кремнезема, чем она песчанее, тем больше она содержит этого вещества), то можно сказать, что почва состоит главным образом из различных солей. Все соли, составляющие минеральную часть почвы, можно разбить на две большие группы: 1) соли кремневых, алюмокремневых и феррикремневых кислот (будем их называть сложными солями) и 2) соли всех остальных минеральных кислот—простые соли. Вода действует на эти две группы солей не одинаково. Сложные соли она почти вовсе не растворяет, но зато разлагает, разрушает их, превращая в другие соединения. Простые же соли вода

ве, В. В. Яковлевой и других исследователей). Эти работы показали высокую эффективность применения бора, марганца, меди, молибдена и других микроэлементов. В частности работами О. К. Кедрова-Зихман и его сотрудников установлено положительное действие кобальта на рост и развитие растений и переход соединений молибдена в дерново-подзолистых почвах под влиянием известкования в более доступное для растений состояние.

Помимо ряда статей в различных сборниках и журналах, можно указать следующую литературу по микроэлементам: 1) «Микроэлементы в жизни растений и в земледелии». Труды конференции по микроэлементам. Изд. АН СССР, 1952 г.; 2) М. Я. Школьник «Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии», 1950 г.; 3) М. В. Каталимов «Значение бора в земледелии», 1948 г.—*Ред.*

не разлагает, но растворяет. Нас сейчас интересует вторая группа солей, соли простые. Прежде всего укажу, какие именно простые соли встречаются в почве: 1) углекислые соли кальция, магния, натрия, калия, иногда закиси железа; 2) сернокислые соли кальция, магния, натрия, калия; 3) хлористые соли кальция, магния, натрия, калия; 4) фосфорнокислые соли кальция, магния, железа и алюминия; 5) азотистокислые и азотно-кислые соли кальция, магния, натрия, калия. Можно утверждать, что все перечисленные соли в каждой почве имеются, вопрос лишь в том, каково их количество в данной почве. Из указанных солей одни трудно растворимы в воде (углекислый кальций и магний и фосфорнокислые соли); другие среднерастворимы (сернокислый кальций); остальные же легко растворимы. Для определения в почве количества содержащихся в ней легкорастворимых солей применяется метод *водной вытяжки*. Водная вытяжка дает возможность решить очень важный в агрономическом отношении вопрос о таком основном свойстве почвы, как содержит ли она какие-либо из этих легкорастворимых солей в количествах, могущих вредно влиять на растительность.

Следующим очень важным основным свойством почвы является состав *поглощенных катионов в поглощающем почвенном комплексе* и величина последнего. Под именем *поглощающего почвенного комплекса* мы обозначаем очень мелко раздробленную часть почвы, размеры частиц которой ниже примерно 0,0001 мм; эта часть почвы состоит из нерастворимых в воде солей кремневых, алюмокремневых и различных органических кислот, причем часть связанных с этими кислотами металлов (в том числе в некоторых случаях и водород) оказывается способной вступать в обмен с металлами (катионами) тех простых солей, которые находятся в растворе почвенной влаги (в почвенном растворе); таким образом, эти мельчайшие почвенные частички, как минеральные, так и органические, оказываются способными «поглощать» из растворов катионы солей; поэтому вся совокупность этих частиц, ближайший химический состав которых нам неизвестен, назван нами «почвенным поглощающим комплексом», а те содержащиеся в нем катионы, которые способны обмениваться на катионы солей почвенного раствора — «поглощенными катионами». Как мы увидим ниже, величина поглощающего комплекса почвы и состав его поглощенных катионов играют существеннейшую роль в сельскохозяйственных свойствах носовских почв.

Наконец, последнее основное свойство почвы, на котором мы остановимся, — это *механический состав почвы*. Почва состоит из твердых частичек (кристалликов или осколков кристалликов) различной величины; эти отдельные частички носят название механических элементов почвы, а общее количество в почве частичек данной величины называется механической фракцией почвы. Имеются способы, дающие возможность выделить из почвы ту или другую механическую фракцию, например все механические элементы, диаметр которых заключается между 0,05—0,01 мм (приблизительно допускается, что почвенные частички имеют шарообразную форму); такими методами можно разделить взятую навеску почвы на составляющие ее механические фракции, полученные фракции взвесить и определить таким образом то, что называется *механическим составом почвы*; нужно только предварительно условиться, на какие фракции разделять почву, так как само собой разумеется, что границы для каждой механической фракции могут быть выбраны различно: можно выделять фракцию с размерами частиц между 0,05 и 0,1 мм, а можно с размерами между 0,06—0,02 мм или же вместо одной фракции размерами 0,05—0,01 мм можно выделить две:

одну с размерами 0,05—0,025, а другую—0,025—0,01 мм. Таким образом, данную почву можно различным способом разбить на составляющие ее механические фракции или, иначе говоря, в основу механического анализа почвы может быть положена та или другая классификация почвенных механических фракций с теми или другими пределами между отдельными фракциями и той или другой дробностью механических фракций. Нужно отметить, что до сих пор еще не удалось выработать такую классификацию, в которой границы между фракциями были бы не произвольны, а основывались на изменении каких-либо важных свойств фракций при переходе через эти границы: для этого недостаточно еще изучены свойства отдельных механических фракций. Из классификаций почвенных механических фракций наиболее дробной и наиболее распространенной (особенно в России) в настоящее время является классификация проф. Вильямса, несколько видоизмененная проф. Сабаниным. По этой классификации мелкоземом почвы, т. е. вся та часть почвы, частицы которой имеют диаметр меньше 1 мм (в носовских почвах нет частиц крупнее 1 мм), разбивается на следующие механические фракции.

Частицы с диаметром от 1	до 0,25	мм—фракция среднего песка
» » » » 0,25	» 0,05	» мелкого »
» » » » 0,05	» 0,01	» крупной пыли
» » » » 0,01	» 0,005	» средней »
» » » » 0,005	» 0,001	» мелкой »
» » » » меньше 0,001	»	» ила

Вся совокупность фракций с диаметрами частиц от 1 до 0,01 мм называется иногда песком, а вся совокупность более мелких фракций с диаметром частиц меньше 0,01 мм—глиной.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ НОСОВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ

Изучение почв полей Носовской опытной станции в отношении вышеуказанных трех основных свойств дает возможность охарактеризовать эти почвы таким образом: по характеру гумуса (нейтральная реакция), по распределению его в вертикальном разрезе почвы (очень постепенное убывание количества гумуса с глубиной и распределение его на большую глубину), по составу поглощенных катионов (в поглощающем комплексе исследованных уже носовских почв найдены только кальций и магний; более подробные исследования, быть может, обнаружат присутствие там, по крайней мере в некоторых разностях почв, ничтожных количеств поглощенного водорода или поглощенного натрия, в зависимости от стадии эволюции, переживаемой почвой на том или другом элементе микрорельефа, сильно выраженного на полях станции), по довольно высокому залеганию уровня горизонта, содержащего углекислый кальций (в некоторых разностях почв носовских полей этот горизонт встречается уже на глубине около 60 см от поверхности и только местами он не обнаружен даже на глубине 3 м)—носовские почвы несомненно должны быть отнесены к почвам черноземного типа почвообразования; на то же указывает очень слабое изменение в валовом содержании кремниевой кислоты, окиси железа и окиси алюминия в различных горизонтах вертикального почвенного разреза; такое однородное содержание этих веществ в вертикальном направлении—указание на очень слабое разрушение водой сложных (силикатных и алюмосиликат-

ных) солей почвы, а это является одним из существеннейших признаков, отличающих черноземный тип почвообразования от подзолистого. Но по содержанию гумуса (около 3,5%) носовские черноземы должны быть отнесены к очень низко гумусным черноземам; в этом отношении они близки уже к почвам подзолистого типа, отличаясь, однако, от последних в отношении гумуса значительно большей мощностью гумусового горизонта. Причинами такого малого содержания перегнойных веществ в носовских почвах являются их переходный характер (близость границы подзолистозоны), механический состав и некогда бывшая, повидимому, их солонцеватость (на этом свойстве почв я остановлюсь дальше).

Механический состав. По механическому составу почвы Носовской станции приходится отнести к легким суглинкам; хотя они содержат довольно высокий процент так называемых глинистых частиц (диаметром меньше 0,01 мм), а именно около 33% от веса почвы, но эта глинистая фракция состоит почти исключительно из частиц диаметром от 0,01 до 0,001 мм, т. е. из средней и мелкой пыли; этих двух фракций в почве около 25%, а на долю самой мелкой почвенной фракции, частицы которой меньше 0,001 мм (илистая фракция), приходится всего около 7%. Мы увидим ниже, что такое малое содержание ила в носовских почвах в связи со сравнительно большим содержанием средней и мелкой пыли накладывает своеобразный отпечаток на агрономические свойства этих почв.

Валовой состав. Валовой анализ почвы дает указания не только в отношении генезиса почвы, — на основании валового содержания в почве питательных элементов: азота, фосфора, серы, калия, кальция и магния, мы можем судить о богатстве нашей почвы, т. е. об общем запасе в ней этих элементов. Само собой разумеется, что чем запас этот выше, чем почва богаче питательными веществами, тем ценность ее больше. Относительно носовских почв валовой анализ показывает, что они сравнительно богаты калием, кальцием и магнием; содержание же остальных питательных элементов и в том числе наиболее существенных в сельском хозяйстве — азота и фосфора сравнительно низкое. Так, валовое содержание азота в пахотном горизонте этих черноземов достигает всего лишь около 0,2%, между тем как в тучных черноземах оно бывает более 0,5%; по содержанию азота в этом горизонте носовские почвы очень близки к подзолистым, выгодно отличаясь, однако от них значительно большим богатством азота в нижележащих горизонтах: в то время как у подзолистых почв уже в подпахотном горизонте (на глубине 20—30 см) общего азота содержится лишь ничтожное количество (сотые процента), в носовских почвах такие ничтожные количества обнаруживаются только на глубине около 1 м. Для суждения о запасах валового азота в почвах Носовской станции, об их богатствах азотом интересно сравнить запасы его на десятину (или на гектар) в верхнем слое (глубиной до 1 м) этих почв с запасами в других почвах, например у тучного чернозема (Тульской губернии) и подзолистой лесной почвы (Вологодской губернии): в тучном черноземе этот запас достигает 1 800 пудов (27 000 кг на гектар), в носовских почвах до 1 100 пудов (17 000 кг на гектар) и в подзолистой почве до 600 пудов на десятину (9 200 кг на гектар). Мы видим, что по общему запасу азота в том слое, откуда растения могут еще черпать питательные вещества, носовские почвы значительно беднее, нежели тучные черноземы, но, с другой стороны, значительно богаче подзолистых почв. Если теперь принять во внимание количество азота, уносимое ежегодно из почвы убираемыми урожаями (хороший урожай ржи — около 100 пудов зерна на десятину — уносит с десятины около

2,5 пуда азота), то увидим, что запасы азота в носовских почвах, несмотря на то что они между черноземными почвами являются одними из наиболее бедных этим веществом, колоссальны.

Валовое содержание в носовских почвах фосфорной кислоты достигает в пахотном слое до 0,1%; книзу это содержание постепенно понижается, достигая на глубине примерно 1 м от поверхности минимума (около 0,07%), а дальше книзу снова повышается (на глубине около 2 м фосфорной кислоты найдено около 0,08%). Таким образом, мы видим, что ход изменения содержания валовой фосфорной кислоты в почвах с углублением иной, нежели в случае азота; там мы имели максимум содержания в самом верхнем горизонте, а затем количество азота с углублением постепенно и параллельно уменьшению количества гумуса падало и на глубине примерно 1 м достигало почти нуля. Различие обусловлено тем, что азот в почвах можно сказать, почти целиком (кроме ничтожных следов, составляющих около 0,001% от веса почвы) находится в виде органических соединений, т. е. в гумусе почвы, в материнской же породе его нет; поэтому его распределение в вертикальном разрезе почвы то же, что и гумуса; источником же фосфора в почвах является материнская порода, ее фосфорнокислые соединения, и во всем почвенном разрезе содержание фосфорной кислоты поэтому приблизительно одинаковое; в верхних горизонтах ее обычно несколько больше вследствие так называемой аккумулятивной (собирающей) деятельности растений; растение своими корнями собирает питательные вещества, а в том числе и фосфорную кислоту из различных слоев почвы, и, между прочим, из довольно глубоких, и переносит их в надземные свои части и в верхнюю, самую мощную часть корневой системы, поэтому верхний горизонт почвы вместе с обогащением гумусом, а значит, и азотом, постепенно все больше и больше обогащается и такими питательными элементами, как фосфор, сера, кальций, калий; само собой разумеется, что аккумулятивная деятельность растений в девственных почвах, где урожай не убирается, значительно, нежели на почвах культурных, с которых надземная, а иногда и подземная масса уносится; в последних может идти даже обратный процесс (если почвы не удобряются или удобряются слабо) постепенного обеднения пахотного горизонта питательными элементами.

Процентное содержание валовой фосфорной кислоты в носовских почвах сравнительно низкое; правда, встречаются почвы еще значительно беднее общим фосфором; так, например, по анализам многочисленных образцов почв бывших Остзейских губерний, произведенным проф. Томсом, там это содержание падает в некоторых случаях до 0,036% (минимум), достигая максимальной цифры 0,140%; в почвах Нижегородской губернии, анализировавшихся проф. Шмидтом, содержание валовой фосфорной кислоты колебалось от 0,040 до 0,257%. Во всяком случае для чернозема носовские почвы нужно признать бедными по содержанию валовой фосфорной кислоты; между черноземами встречаются такие, где валовой фосфорной кислоты больше 0,3%. Но в отношении фосфорной кислоты, как и в отношении азота, приходится признать, что несмотря на сравнительную бедность носовских черноземов фосфором, запасы этого элемента на полях по сравнению с теми количествами его, какие уносит с полей ежегодный урожай, очень велики: в пахотном горизонте (верхних 20 см почвы) содержится около 140 пудов фосфорной кислоты на десятине (около 2 200 кг на гектар), а в слоях в 1 м толщиной—около 660 пудов на десятину (или 10 000 кг на гектар), между тем как урожай ржи 100 пудов зерна с десятины уносит с поля всего лишь около $1\frac{1}{2}$ пудов фосфорной кислоты.

Мы остановимся еще на одном данном валового состава носовских почв, на общем содержании в них серы. В то время как на азот, фосфор, калий и кальций, как питательные элементы, очень давно уже обратили внимание, серой в этом отношении стали заниматься сравнительно очень недавно. Одной из причин такого невнимания к этому питательному элементу было отсутствие сколько-нибудь удовлетворительных методов определения серы в растительных остатках. Она определялась в золе растений, полученной обыкновенным озаливанием растительной массы, а при этом часть серы улетучивается и потому не может быть учтена анализом. Поэтому создавалось мнение, что серы в растениях вообще очень мало и что той серы, которая в почвах вообще имеется, хотя ее там очень часто и очень мало, должно хватить для урожая; и во всяком случае если растения и могут нуждаться в этом элементе на данной почве, то лишь после удовлетворения потребности этой почвы в азоте, фосфоре, калии, а может быть, и в кальции. Таким образом, сере как удобрительному веществу отводили последнее место. Толчком к пересмотру вопроса о сере как питательном веществе послужили наблюдения над действием на растения серы, применявшейся для борьбы с болезнями растений. Были разработаны новые методы определения серы в растительном веществе и в почвах, дающие возможность переводить органическую серу в сульфаты, в виде которых она определяется без потери. Теперь имеется уже громадная литература по вопросу о содержании серы в растениях, в почве, о потребности почв в сернокислом удобрении, о различных побочных влияниях удобрения почвы серой в различных формах ее соединений на почвенные процессы и на растение. Теперь мы знаем, что содержание серы в растениях вовсе не так мало, как это предполагалось раньше; оказалось, что содержание серы (выраженной в виде SO_3) в растениях приблизительно такое же, как и фосфора (выраженного в P_2O_5); в некоторых растениях оно больше, в других меньше, чем P_2O_5 . Исследование почв показало, что в них очень часто содержится серы значительно меньше, чем фосфора; поэтому вопрос о потребности почвы в сернокислых удобрениях заслуживает полного внимания.

Валовое содержание серы в носовских почвах достигает почти такой же величины, что и фосфора (0,1% SO_3 в верхнем горизонте, книзу оно понижается); главная масса серы находится здесь, повидимому, в форме органических соединений; в виде серной кислоты ее здесь, очевидно, мало. В общем это содержание должно быть признано небольшим и носовские почвы приходится считать если не бедными этими элементами, то во всяком случае не отличающимися богатством. Укажу, что в вегетационных сосудах носовская почва нуждается в серной кислоте, и больше, чем в калии.

Нам остается еще сказать несколько слов о данных водных вытяжек, поскольку они характеризуют основные свойства почвы (обсуждение этих данных с точки зрения плодородия носовских почв будет сделано дальше); те очень немногие почвенные разрезы, которые изучались водными вытяжками, оказались незасоленными легкорастворимыми слоями (т. е. сульфатами и хлоридами); только в одном случае на значительной глубине (260 см) обнаружены следы хлора. Кроме того, водные вытяжки показали, что исследованные образцы почвы были и не солонцеватыми.

Заключивая вопрос об основных свойствах носовских почв, необходимо указать, что для достаточного суждения вообще об этих почвах (а не только об исследованных образцах) мы располагаем еще очень малым количеством данных; благодаря сильно выраженному микрорельефу (поверхность испещрена мелкими углублениями, «блюдцами» диаметром в несколь-

ко сажень, имеющими глубину до $1\frac{1}{2}$ сажени), создающему неодинаковые условия увлажнения почв в различных местах, почвенный покров территории Носовской станции в отношении морфологии и основных своих свойств отличается большой пестротой; одной из ближайших задач станции является изучение основных свойств этих почв в зависимости от микрорельефа. Агрохимический отдел давно уже ясно сознает необходимость такого исследования, но недостаток средств (химические анализы почв требуют много времени и стоят дорого) не давал возможности еще вплотную приступить к этой важной задаче. Для носовских почв такое исследование представляет особое значение в целях выяснения тех агрономических особенностей этих почв, которыми эти почвы обладают, повидимому, вследствие того, что они были когда-то засоленными, а затем солонцеватыми.

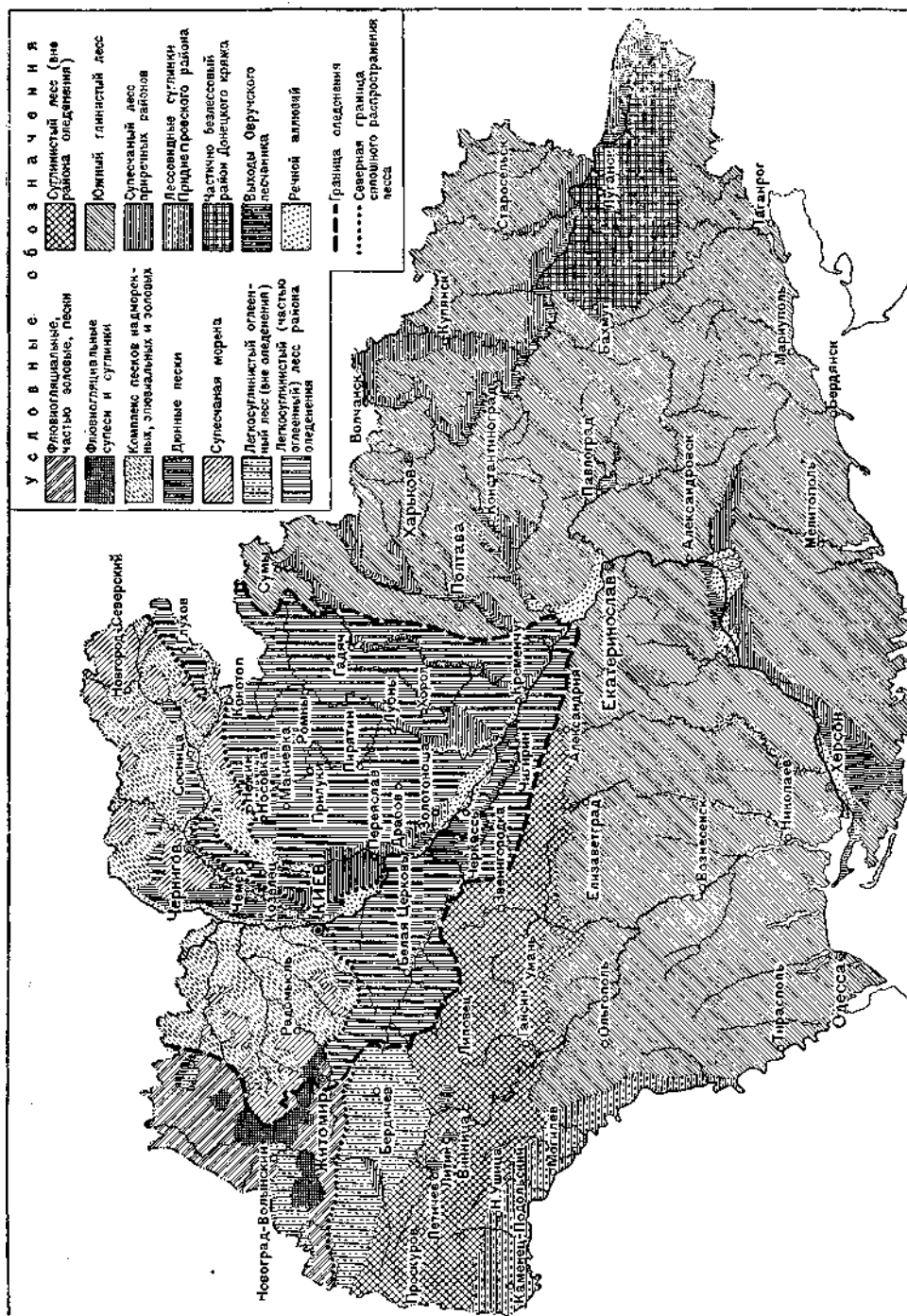
ГЛАВА III

СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ РАЙОНА НОСОВСКОЙ СТАНЦИИ И ГЕНЕЗИС НЕСОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ ЭТОГО РАЙОНА

Агрохимический отдел Носовской станции занимался изучением не только почв так называемого Носовского плато, в центре которого расположены поля станции, но он особое внимание обратил на почвы находящегося в районе станции Макиевского опытного поля, расположенного на почвах, носящих название солонцов и солонцеватых почв; особое внимание пришлось обратить на эти почвы потому, что они довольно широко распространены в области Днепровского ледникового языка (см. прилагаемую карту)¹ и их особое свойство—солонцеватость—резко отражается, и именно в неблагоприятном отношении, на их культурных свойствах (более или менее высокая солонцеватость делает почву вовсе непригодной непосредственно для сельскохозяйственной культуры, а даже слабая солонцеватость уже понижает сельскохозяйственную ценность почвы).

Кроме того, имеется полное основание предполагать тесную генетическую связь между носовскими несолонцеватыми черноземами и даже шире—между вообще несолонцеватыми почвами области Днепровского ледникового языка и солонцами; поэтому детальное изучение нынешних солонцеватых почв этой области мы считаем необходимым для выяснения свойств всех почв этой области. Для выработки мероприятий по улучшению этих почв и приемов сельскохозяйственной культуры, подходящих к такому состоянию почвы, опытному полю, очевидно, надо познать природу этих почв, их основные свойства. Для того чтобы полученные результаты и делаемые из них выводы были вполне понятны, я должен уклониться в сторону и изложить в самых общих чертах и применительно именно к почвам элементы учения о коллоидальном состоянии вещества; это тем более необходимо нам, что и упомянутое выше учение о поглощающем почвенном комплексе и о поглонительной способности почвы без этого не может быть достаточно понятно; это же потребует и при изложении агрономических особенностей носовских почв.

¹ Солонцы и солонцеватые почвы Днепровского ледникового языка еще очень слабо изучены и в отношении их географического распространения и в отношении их характера и свойств, чтобы дать читателю некоторое представление о их распространении, приводим почвенную карту Нежинского и Козелецкого уездов проф. Б. Б. Полюнова, изданную в 1904 г.



Схематическая карта четвертичных отложений Украины.

КОЛЛОИДАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

Во всякой почве в том или другом количестве имеется механическая фракция, носящая название ила и содержащая частички, диаметр которых меньше 0,001 мм (или 1 микрона). Само собой понятно, что сама илистая фракция состоит из частиц различного диаметра от 0,001 мм и ниже до молекулярных размеров, т. е. примерно до 0,000001 (или до 1 микромикрона) и, может быть, поэтому сама разбита на отдельные фракции; это разделение илистой фракции, или так называемый ультрамеханический анализ начал входить в употребление лишь в самое последнее время; технически он еще недостаточно разработан и требует для своего производства много времени. Однако он представляет очень большой интерес для изучения свойств почвы, так как в этой илистой фракции содержится та часть почвы, которая носит название коллоидальной части почвы. Она содержит те вещества почвы, которые находятся в коллоидальном состоянии. Что же такое коллоидальное состояние вещества? Самое простое определение этого состояния, особенно пригодное для наших целей, таково: коллоидальное состояние вещества есть состояние известной степени раздробленности, а именно если вещество раздроблено таким образом, что частицы его имеют размеры меньшие, чем приблизительно 0,1 микрона (или 0,0001 мм), и большие, чем размеры его молекулы (т. е. больше примерно 0,001 микрова), то вещество это будет в коллоидальном состоянии. Теперь доказано, что всякое вещество можно получить в коллоидальном состоянии, если только суметь раздробить его в пределах вышеуказанной степени дисперсности (степень раздробленности иначе называется степенью дисперсности), или, наоборот, если суметь у тела, находящегося в молекулярном состоянии, понизить степень раздробленности и довести ее до тех же пределов (т. е. между 0,1 и 0,001 микрова). В настоящее время уже разработан целый ряд методов как той (методы дисперсионные), так и другой (методы конденсационные) категории и этими методами очень многие уже вещества получены в коллоидальном состоянии; благодаря особым свойствам, приобретаемым веществом в коллоидальном состоянии, очень многие соединения, искусственно полученные в таком состоянии, приобрели весьма широкое применение в различных отраслях техники и медицины. Вследствие этих особых свойств коллоидально раздробленных веществ коллоидальная часть почвы особенно и интересует нас. Каковы же эти особые свойства, приобретаемые веществом тогда, когда степень его раздробленности находится в пределах примерно от 0,1 до 0,001 микрова?

Главнейшие свойства вещества в коллоидальном состоянии. Внесу прежде всего некоторое ограничение в рассматриваемой нами области. Дело в том, что в коллоидальном раздроблении может быть и твердое, и жидкое, и газообразное тело; таким образом, коллоидально раздробленное тело (так называемая дисперсная фаза) может быть в любом из этих состояний; мы будем рассматривать лишь случаи, когда дисперсная фаза находится в твердом состоянии. Затем дисперсная фаза в природных условиях всегда будет находиться в какой-нибудь среде (так называемая дисперсионная среда): в газообразной (например, мелкая пыль в воздухе), в жидкой (например, коллоидальная часть почвы, взмученная в воде) и, наконец, в твердой; первой и последней среды мы касаться вовсе не будем. Таким образом, мы будем в дальнейшем иметь дело с такой лишь дисперсной системой: раздробленное твердое тело (дисперсная фаза) в жидкой среде (дисперсионная фаза) и именно в воде.

Удельная поверхность. Остановимся прежде всего на величине поверхности коллоидально раздробленного тела.

Возьмем, например, кубик из калиевого полевого шпата, ребро которого равно 1 см; объем его будет 1 куб. см., а поверхность 6 кв. см. Если этот кубик разбить на меньшие, имеющие каждый ребро в 1 мм, то получим 1 000 кубиков тем же объемом 1 куб. см., а с общей поверхностью уже не в 6 кв., а в 60 кв. см. Таким образом, когда кубик раздробляется так, что у получающихся меньших кубиков ребро становится в 10 раз меньше, то сумма поверхностей всех мелких кубиков увеличивается в 10 раз. Зная этот закон увеличения поверхности при раздроблении, можем вычислить величину общей поверхности всех кубиков, если наш первоначальный кубик с ребром в 1 см раздробится на кубики каждый с ребром в 0,0001 мм: первоначальное ребро уменьшилось в 0,00001 раз, значит сумма поверхностей всех полученных кубиков с ребром в 0,0001 мм будет 6 кв. см. $\times 100\,000 = 600\,000$ кв. см., или 60 кв. м.

Если ребро кубика уменьшить до высшего предела коллоидального раздробления, т. е. до 0,000001 мм, то общая поверхность всех кубиков увеличится в 100 раз, т. е. будет равна 60 000 000 кв. см., или 6 000 кв. м. Если назвать удельной поверхностью частное от деления величины поверхности тела, выраженной в квадратных сантиметрах, на величину объема этого тела, выраженного в кубических сантиметрах, то, как видим, удельная поверхность целого кубика в 1 куб. см. будет равна 6, а удельная поверхность всех полученных из него кубиков с размерами ребра от 0,0001 мм до 0,000001 мм будет равна от 6×10^5 до 6×10^7 . Таким образом, удельная поверхность тела, если его раздробить коллоидально, чрезвычайно сильно увеличивается и может достигать колоссальных размеров. Поэтому все те процессы, интенсивность которых находится в зависимости от величины поверхности твердого тела, протекают в таком теле при его коллоидальном раздроблении во много раз энергичнее, чем при грубо раздробленном его состоянии, и притом тем энергичнее, чем мельче коллоидальное раздробление, т. е. чем степень дисперсности его выше и чем она, значит, ближе к молекулярной. Постараемся применить сказанное к почве.

Роль коллоидальной части почвы в реакциях почвы с почвенной влагой. Ясно, что в отношении плодородия почвы, т. е. в отношении количества содержащихся в почвенном растворе питательных веществ, было бы наиболее благоприятно, если бы все питательные вещества почвы были легкорастворимы в воде; но очевидно, с другой стороны, что такое состояние питательных веществ в почве привело бы к весьма печальным последствиям: во влажных областях эти питательные вещества были бы скоро вымыты из почвы, а в почве остались бы только нерастворимые и непитательные соединения, почва скоро стала бы бесплодной, причем питательное ее богатство не было бы, конечно, использовано растительностью, — ушло бы в моря и океаны; в сухих же областях такая почва оказалась бы именно вследствие своего большого плодородия совершенно некультурной; это был бы злостный солончак, растения на нем не могли бы расти вследствие высокой концентрации питательных соединений. Очевидно, что почва как подходящая для растений культурная среда, рассчитанная на многие тысячелетия, должна содержать питательные элементы в виде очень трудно растворимых соединений; в таком направлении и должны были идти процессы образования земной коры на основании законов химического взаимодействия между соединениями; при этом, конечно, должно страдать плодородие почвы. И вот, оказывается, что имеет-

ся некоторое среднее состояние между труднорастворимым или нерастворимым в воде твердым телом, горной породой, содержащей питательные элементы, и легкорастворимыми соединениями этих же элементов; это та же труднорастворимая горная порода, но только достаточно мелко распыленная, и когда эта распыленность находится в пределах коллоидальной дисперсности, то в той или другой степени (в зависимости от многих других условий) удовлетворяются оба необходимых условия для развития растений: обеспеченность на длительный период и в достаточной мере в каждый момент растворенными питательными веществами и такая сравнительно невысокая концентрация питательных соединений в почвенном растворе, при которой растения могли бы развиваться. Если бы в почве калиевый полевой шпат содержался только в виде кусков размерами например, не меньше 1 куб. см, то взаимодействием между ними и водой, вследствие малой поверхности соприкосновения, было бы совершенно ничтожно; вода не извлекала бы из него калия или, вернее, извлекала бы его в таких ничтожных количествах, которые не открывались бы самыми чувствительными методами исследования и которые не могли бы использоваться растениями; таким образом, растения в присутствии больших количеств валового калия в почве, т. е. при большом богатстве почвы калием, гибли бы от недостатка его в доступном для них состоянии; почва была бы богата калием, но совершенно неплодородна им. Но по мере раздробления полевого шпата поверхность соприкосновения его с водой будет возрастать, пропорционально этому будет увеличиваться и результат действия воды—количество калия, извлекаемого водой из полевого шпата; когда степень распыления будет такой, что частички полевого шпата достигнут коллоидальных размеров, то поверхность соприкосновения с водой, а вместе с ней и результат взаимодействия воды и полевого шпата возрастут уже настолько, что, как бы мало ни было то количество калия, которое вода может извлечь из полевого шпата в случае крупных его кусков, мы получим в водном растворе такие уже его количества, что говорить о бесплодии почвы в отношении калия не придется. Таким образом, чем почва более коллоидальна, т. е. чем больше в ней коллоидально распыленной части, тем энергичнее протекают в ней все реакции, обуславливаемые взаимодействием между почвой с одной стороны, и почвенной влагой и растворенными в ней соединениями, с другой стороны. *Реакционная способность почвы сосредоточена по преимуществу в ее коллоидальной части; чем больше эта часть почвы, чем выше дисперсность этой части, тем более почва деятельна и более плодородна.*

Энергия поверхности. Достаточная степень раздробленности твердого тела в системе: твердое тело и вода, является причиной того, что в такой системе приобретает значение особый вид энергии—энергия поверхности. Под энергией понимается способность производить работу; должна быть, значит, налицо сила, способная производить такую работу. Вот такой силой, обуславливающей энергию поверхности, является возникающая на поверхности соприкосновения, например, жидкости и твердого тела, так называемая сила поверхностного натяжения, или просто поверхностное натяжение. Способность какой-либо системы, состоящей из твердого тела в жидкости, производить работу за счет этой силы, или энергия поверхности, будет пропорциональна величине поверхностного натяжения в рассматриваемой системе и величине самой поверхности твердого тела; поэтому величина энергии поверхности выражается произведением из силы поверхностного натяжения на величину поверхности. Сила поверхностного натяжения воды есть величина сравнительно очень небольшая.

Поэтому в системах, где твердое тело имеет малоразвитую поверхность вследствие крупнораздробленного состояния (системы макродисперсные) энергия поверхности представляет ничтожную величину; системы эти управляются внутренней энергией (тепловая энергия, электрическая и др.). Если же в системе очень сильно развита поверхность соприкосновения, то произведение из силы поверхностного натяжения (малая величина) на поверхность (очень большая величина), т. е. энергия поверхности, может быть очень значительна. Такой случай имеет место в системах микродисперсных и особенно в ультрамикродисперсных. В этих системах энергия поверхности может значительно преобладать над внутренней энергией и процессы могут управляться главным образом энергией поверхности. Существование в коллоидальной части почвы этой энергии поверхности делает возможным сильное проявление взаимодействия между твердым телом—почвой и почвенным раствором.

Клеящая способность коллоидов. Коллоидальные частички по величине своей приближаются к молекулам, и тем они ближе к ним, чем выше дисперсность этих частиц; поэтому между коллоидальными частицами проявляется еще притягательное действие молекулярных сил. Если две коллоидальные частицы сблизятся между собой в достаточной степени, то они соединятся, дав прочно склеенный агрегат; если таких частичек будет достаточно и если размеры их достаточно малы, то они будут не только склеиваться между собой, но смогут явиться цементом, склеивающим более крупные частички; применительно к почве можно сказать, что коллоидально распыленная ее фракция может при соответствующих условиях образовывать системы агрегатов (комочков) и цементировать, как показывают наши исследования, в агрегаты более крупную часть илистой фракции (частицы размерами между 0,001—0,0001 мм) и даже мелкую и среднюю пыль (частицы диаметром от 0,005—0,001 и 0,01—0,005 мм), очень прочные в отношении распыляющего действия воды. Эта *клеящая и цементирующая способность коллоидальной части почвы обуславливает то свойство почвы, которое известно в почвоведении под именем структурности и которое, как мы увидим ниже, оказывает громадное влияние на физические и агрономические свойства почвы.*

Изменение состояния в коллоидальных системах. Следующим вопросом в изучении коллоидально раздробленного состояния материи, на котором нам надо остановиться, чтобы ясно понимать почвенные процессы, будет вопрос об изменениях, какие могут происходить в коллоидальной системе, состоящей из воды и твердых коллоидальных частиц.

Взятая нами система отличается вообще непостоянством; неустойчивость является характерной особенностью коллоидального состояния вещества; оно чрезвычайно отзывчиво иногда на самые ничтожные изменения внешних условий; даже в условиях полного покоя и возможного постоянства окружающих условий коллоидальная система может изменяться, «стареть». Так, например, коллоидально взвешенные частички твердого вещества в воде, распределенные там первоначально равномерно, будут постепенно, хотя и очень медленно, в зависимости от своей величины опускаться под влиянием силы тяжести на дно сосуда. Неустойчивость коллоидальных систем есть результат обладания ими большим запасом свободной энергии в виде энергии поверхности; в таких системах самопроизвольно протекают процессы, при которых количество свободной энергии понижается. А понижение свободной энергии поверхности в данной системе может произойти от уменьшения величины тех двух множителей, про-

изведение которых дает эту энергию, т. е. поверхностного натяжения или поверхности коллоидально раздробленного вещества. Нам сейчас интересен последний случай—изменение в состоянии коллоидальной системы (вода и коллоидально раздробленное тело), происходящее с уменьшением поверхности дисперсной фазы.

Свертывание, или коагуляция, коллоидов. Мы здесь будем иметь в виду главным образом почвенные коллоиды. Если у нас имеется, например, коллоидально распыленный полевой шпат (или другой какой-нибудь минерал почвы) в воде, то отдельные его частички, находясь в непрерывном беспорядочном движении (Броуновское движение), будут постоянно сталкиваться между собою; ясно, что вследствие молекулярного притяжения между ними приблизившиеся частички склеились бы между собою и очень быстро вместо отдельных коллоидальных частиц мы получили бы их агрегаты, которые, достигнув определенной величины, стали бы падать на дно сосуда; произошло бы то явление, которое носит название свертывания, или коагуляции, коллоидально растворенных веществ. Если, однако, такое свертывание не происходит и полевой шпат в продолжение многих лет остается взмученным в воде, то, очевидно, имеется какой-то фактор, мешающий свертыванию, поддерживающий (стабилизирующий) нашу систему в ее состоянии. Таким стабилизатором в коллоидальных системах является электрический заряд коллоидальных частиц. Все коллоидальные частицы в дисперсной системе заряжены одноименным электричеством, или положительным, или отрицательным, что находится в зависимости главным образом от природы коллоидального вещества. Громадное большинство почвенных коллоидов заряжено отрицательным электричеством («отрицательные» коллоиды); из положительно заряженных («положительные» коллоиды) некоторое значение имеют в почвенных процессах коллоидально распыленные гидраты окиси железа и алюминия; поэтому в общем почвенные коллоидально распыленные частички нужно отнести к отрицательным коллоидам.

Электрический заряд коллоида предохраняет его от свертывания, потому что одноименно заряженные частички коллоида отталкиваются, что мешает им давать агрегаты.

Поэтому все те условия или факторы, которые будут увеличивать отрицательный заряд почвенных коллоидально распыленных частиц, будут вместе с тем способствовать сохранению этих частиц в распыленном состоянии; это будут факторы *стабилизирующие*. Наоборот, факторы, понижающие отрицательный заряд почвенных коллоидов, препятствуют существованию этих коллоидов в виде отдельных распыленных частиц и способствуют, значит, их свертыванию, образованию из них агрегатов. Это факторы, *инстабилизирующие* коллоидально распыленное состояние.

К таким инстабилизирующим факторам относятся все *электролиты*, т. е. соли, кислоты и щелочи. Если к коллоидальной системе, состоящей из воды и коллоидально распыленного полевого шпата (отрицательный коллоид), прибавлять раствора любого электролита, то полевой шпат свернется, т. е. даст более крупные агрегаты, которые упадут на дно сосуда; для того чтобы электролит действовал таким образом, концентрация его в воде коллоидальной системы должна быть выше некоторой величины, носящей название *электролитического порога* и зависящей при одном и том же коллоиде от рода электролита, а при разных коллоидах—и от природы коллоидального вещества. Действие электролита здесь можно представить себе так: в водном растворе электролит, например Na_2SO_4 , распадается на ионы натрия (катионы), заряженные положительно, и ионы серной кисло-

ты (анионы), заряженные отрицательно; положительно заряженные катионы, в данном примере катионы натрия, нейтрализуют отрицательно заряженные коллоидальные частички полевого шпата, стабилизирующее действие электрического заряда коллоида прекращается, и происходит его коагуляция. Таким образом, в свертывании коллоидальных частиц принимает участие не весь электролит, а только один из его ионов: если коллоид отрицательный, то катион; если положительный, то анион. А так как почвенные коллоидально распыленные вещества в общем, как указывалось выше, имеют отрицательный заряд, то их осаждает катион электролита.

Осаждающая сила различных катионов не одинакова, т. е. не одинакова у разных катионов та наименьшая концентрация катиона в растворе, при которой он уже свертывает коллоид. Исследование этой концентрации в отношении почвенных коллоидов показывает, что:

1) чем выше значность катиона, тем сильнее его осаждающее действие; например, натрий (металл однозначный) свертывает слабее магния (двухзначный), а последний—слабее железа (трехзначный);

2) катионы с одинаковой значностью свертывают тем сильнее, чем выше их атомный вес; так, натрий (атомный вес 23) свертывает слабее калия (атомный вес 39); магний (атомный вес 24)—слабее кальция (атомный вес 40) и т. д.;

3) вышеприведенным закономерностям не подчиняется катион водорода; хотя он однозначен и с наименьшим атомным весом, но осаждающее действие его сильнее, чем натрия, калия и магния и примерно такое, как у кальция;

4) анион электролита не только не осаждает отрицательно заряженные коллоиды но противодействует осаждающему действию катиона; противодействие это вообще слабее осаждающего действия катиона, поэтому соль и может осаждать; но среди анионов имеется один, а именно гидроксильный ион OH , т. е. анион щелочей (например NaOH), который между прочим, имеется в растворе соды и который в очень сильной степени противодействует осаждающему действию катионов, т. е. является сильным стабилизирующим фактором коллоидального состояния почвенных частиц.

Осаждающее действие электролитов играет очень существенную роль в физических свойствах почвы. В почвенной влаге всякой почвы растворены различные электролиты (соли натрия, калия, магния и кальция); могут быть в растворе и кислоты, т. е. соединения, имеющие водородный ион, и щелочные соединения, имеющие гидроксильный анион; с другой стороны, во всякой почве мы имеем то или другое количество коллоидально распыленных веществ; будут ли эти коллоидально распыленные частички во влажной почве находиться в виде отдельных частичек или в той или другой степени мы будем иметь их в виде агрегатов, все это будет находиться в зависимости, между прочим, от того, какие электролиты из вышеназванных и в каких количествах находятся в почвенном растворе; если почвенный раствор богат ими, то коллоидальные вещества почвы будут в виде агрегатов; если очень беден, то коллоиды будут в виде отдельных мелких частичек; если почвенный раствор кисел, то в нем может содержаться сравнительно мало солей и коллоиды будут все-таки свернуты, потому что катион кислот H обладает очень высокой свертывающей способностью; с другой стороны, если раствор этот щелочен (содержит гидроксильный ион), то солей в растворе должно быть значительно больше для свертывания, чем если бы почвенный раствор был нейтрален. Состояние же коллоидов в почве, т. е. свернуты ли они там или находятся во влажной почве в виде отдельных самостоятельных частиц, чрезвычайно сильно влияет на физические свой

ства почвы (и, между прочим, на водный и воздушный режим); в зависимости от этого, почва будет вести себя то как менее глинистая (если коллоиды свернуты), то как более глинистая (если коллоиды не свернуты).

Коллоидально распыленные вещества могут свертываться не только при действии на них электролитов, но и под влиянием других факторов; в отношении почв существенное значение имеет свертывание их под влиянием испарения дисперсионной среды, т. е. почвенной влаги. Когда почва высыхает, ее коллоидальные частички постепенно, по мере уменьшения влаги в почве, *склеиваются* между собою, а если их достаточно в почве, то они, кроме того, цементируют и более крупные (неколлоидальные) почвенные частички и потому сухая почва распадается не на отдельные, составляющие ее механические элементы, а на агрегаты их, на так называемые структурные элементы (или структурные отдельности); величина и форма этих отдельностей находится в зависимости от соотношения между величиной неколлоидальной части почвы (вся часть почвы крупнее 0,0001 мм или, приблизительно можно сказать, крупнее 0,001 мм) и коллоидальной ее части (часть почвы мельче 0,0001 мм или приблизительно мельче 0,001 мм, т. е. илистая фракция); кроме того, то и другое зависит от состава неколлоидальной части почвы, которая в одних почвах может быть более песчанистой, а в других более глинистой. Ясно, чем крупнее неколлоидальная часть почвы, тем труднее ей цементироваться в крупные агрегаты, т. е. тем больше в почве должно быть цементирующих коллоидальных веществ; а так как в почвах вообще коллоидальная часть невелика, то песчаные почвы, т. е. почвы со сравнительно большим содержанием частиц — больше 0,01 мм, вообще неструктурны; в сухом состоянии они легко распадаются на отдельные, составляющие их зерна (механические элементы) или мелкие комплексы (агрегаты, комочки) их. Структурность есть свойство более мелкозернистых почв, суглинков и глинистых почв. При изложении в дальнейшем агрономических свойств носовских почв и солонцеватых почв Макиевского опытного поля мы подробнее остановимся на структурности и покажем на этих частных случаях громадное значение коллоидальной части почвы в явлении структурности и во всех проявлениях почвы, связанных с этим явлением.

Оптические свойства коллоидальных растворов. Из других общих свойств, присущих коллоидально раздробленному состоянию вещества, мы остановимся только на оптических свойствах.

Граница между частицами коллоидальной величины и более крупными (около 0,1 микрона) приблизительно совпадает с границей так называемого «микроскопического видения»; в обычном, даже самом сильном микроскопе отдельные коллоидальные частицы не видны; поэтому в таком микроскопе «коллоидальный раствор», или золь, т. е. например, вода со взвешенными в ней коллоидальной величины почвенными частичками, представляется в виде совершенно однородной жидкости, так как, например, раствор поваренной соли в воде, т. е. молекулярный (ионный), или «истинный» раствор. Поэтому помощью обыкновенного микроскопа нельзя установить, имеем ли мы дело с коллоидальным или истинным раствором. В некоторых случаях коллоидальная природа раствора легко устанавливается уже на глаз; так, если в воде находятся во взмученном состоянии минеральные коллоидальные частицы почвы даже высокой степени дисперсности, то, по крайней мере в известных пределах концентрации, жидкость будет на вид мутной; органические же почвенные коллоидальные частицы в воде обычно муты не показывают; такие системы кажутся совершенно прозрачными. Для установления коллоидальной природы раствора может

служить особый вид микроскопа, называющийся ультрамикроскопом; предмет рассматривается в обычном микроскопе с приспособлениями, позволяющими производить наблюдение в темном поле зрения при усиленном боковом освещении предмета; при этом коллоидальные частицы, сильно освещаясь, окружаются световым ореолом; получается как бы увеличенная частица, которая и становится поэтому видимой в микроскоп. Но и в ультрамикроскопе при очень мелких коллоидальных частичках не происходит уже расчленения; может появиться только так называемый световой конус, а может и он отсутствовать, и коллоидальный раствор будет казаться также оптически однородным, как и молекулярный. В таких случаях наиболее достоверным критерием коллоидальной природы раствора может служить свертывание его при действии электролитов. Если определено известно, что взятая соль не может вступать в химическую реакцию с веществом, исследуемым на коллоидальную природу его раствора, и тем не менее прибавка раствора этой соли вызывает осадок в растворе этого вещества, то можно с большой достоверностью считать, что это вещество «коллоидально» растворено в воде, что в растворе это вещество находится не в виде отдельных молекул, а в виде комплексов молекул (коллоидальных частиц). Так, например, если насытить гумусную почву натрием (см. ниже), обработав ее раствором хлористого натрия, а затем удалить промыванием водой большую часть оставшегося в почве хлористого натрия, то при дальнейшем промывании водой начнет переходить в раствор большое количество гумуса в виде гуминовокислого натрия черного цвета. От прибавления к такой черной, совершенно немутной жидкости концентрированного раствора поваренной соли по прошествии некоторого времени выпадает черный хлопьевидный осадок; так как какую-либо химическую реакцию между гуматом натрия и хлористым натрием представить себе трудно, то раствор гуминовокислого натрия в воде приходится считать не истинным, а коллоидальным.

КОЛЛОИДАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ

Вышеизложенных кратких сведений, относящихся к коллоидальному состоянию вещества, вообще еще недостаточно для понимания тех почвенных свойств и почвенных процессов, которые изучались Агрохимическим отделом Носовской сельскохозяйственной опытной станции и которые в значительной степени связаны с состоянием коллоидальной части изучавшихся почв; нам необходимо прежде ближе познакомиться с этой частью почвы.

Мы знаем, что почва представляет весьма сложную смесь разнообразных органических и минеральных соединений. Какие же из этих соединений могут быть в коллоидальном состоянии? Из данного раньше определения этого состояния вещества, как состояния известной степени раздробленности, вытекает, что всякое почвенное соединение, раз степень раздробления его находится в пределах между 0,0001 и 0,0000001 мм, будет находиться именно в коллоидальном состоянии, а необходимым условием для этого является очень трудная растворимость соединения, поэтому все почвенные соединения, возникающие в почве в процессах всех видов выветривания и отличающиеся очень малой растворимостью в воде, могут в том или другом количестве быть в почве в коллоидально распыленном состоянии. Таким образом, в коллоидальной части почвы могут участвовать разнообразные органические соединения, простые и сложные силикаты, кремнекислота, гидраты окиси железа, алюминия, марганца. Из каких именно соедине-

ний состоит коллоидальная часть данной почвы и в каких количествах каждое из них входит в эту часть, на этот вопрос почвоведение не может еще в настоящее время дать ответа: мало того, мы еще не можем точно определить общее количество коллоидальных веществ почвы; можем лишь приблизительно указать эту величину с разделением ее на органические и минеральные коллоиды; это потому, что и сама коллоидальная химия — наука очень молодая, а изучением почвы с коллоидальной точки зрения в широком масштабе занялись лишь в самые последние годы.

Почвенный поглощающий комплекс. Мы уже упоминали выше о поглощающем почвенном комплексе; коллоидальная часть почвы и представляет собой именно этот поглощающий почвенный комплекс; общая величина его в различных почвах очень неодинакова: чем почва более богата гумусом и чем она глинистее, тем больше в ней поглощающий комплекс; у почв песчаных и бедных гумусом величина его может спускаться ниже 1%, у глинистых тучных черноземов она может достигать 50%, а может быть и выше. В носовских и макиевских почвах поглощающий почвенный комплекс, вследствие малой их гумусности и свойственного им механического состава (легкий суглинок), очень незначителен; непосредственных определений его еще не имеется, но судя по косвенным данным (например, по количеству поглощенных оснований и по величине илистой фракции), его в этих почвах всего около 3—4%.

Физико-химическая поглощательная способность почвы. Весьма существенным свойством соединений (как органических, так и минеральных), входящих в состав почвенного поглощающего комплекса, является их (или большинства их) солеобразный характер, т. е. то, что они состоят из катиона (металла или водорода) и аниона (кислотного радикала); это свойство в связи с коллоидальным состоянием этих веществ в почве, придающим им высокую реакционную способность, является причиной того вида¹ поглощательной способности почвы, которая носит название физико-химической, или обменной (или поглощательной способности в тесном смысле этого слова), и которая в почвенных процессах и в свойствах почвы играет весьма важную роль. Благодаря этой поглощательной способности часть катионов поглощающего комплекса, а именно катионы тех молекул, которые расположены на поверхности коллоидальных частиц комплекса, могут обмениваться своим местом с катионами солей почвенного раствора или того раствора, с которым приводят почву в соприкосновение; катионы из раствора вступают в коллоидальную частичку поглощающего комплекса (или, точнее, в молекулы, расположенные на поверхности частички), а вытесняющиеся ими оттуда в эквивалентном количестве катионы коллоидальной частички переходят на их место в раствор; происходит, одним словом, та реакция, которая в химии носит название реакции взаимного обмена. Те катионы поглощающего почвенного комплекса, которые могут быть вытеснены из почвы, носят название *поглощенных катионов*.

Из законов, управляющих этой реакцией, мы отметим следующие.

1. Реакция взаимного обмена катионами между поглощающим почвенным комплексом и солями раствора протекает моментально; тотчас же после соприкосновения обмен происходит до возможного при имеющихся условиях конца; сколько бы дальше ни оставалась почва в соприкосно-

¹ Различают несколько видов поглощательной способности почвы. Для наших целей нам нужно остановиться только на физико-химической (или обменной) поглощательной способности.

вании с тем же раствором, дальнейшего обмена происходить уже не будет.

2. Количество поглощенных почвой из раствора катионов в точности эквивалентно количеству вытесненных из почвы катионов; так, если из раствора поглощается натрий, а из почвы вытесняется кальций, то на 23 (атомный вес натрия) единицы поглощенного натрия всегда вытесняется 20 единиц кальция—половина атомного веса кальция (половина потому, что кальций—элемент двузначный, а натрий—однозначный).

3. Количество поглощаемых почвой из раствора катионов находится в зависимости от количества в почве поглощенных катионов, от состава и концентрации катионов раствора, приводимого в соприкосновение с почвой, и от соотношения между количеством почвы и количеством воздействующего на нее раствора.

Нормальные черноземы (т. е. несолонцеватые и недеградированные) содержат в своем поглощающем комплексе только два поглощенных катиона, а именно кальций и магний, причем в общем можно считать, что кальций раза в четыре больше, чем магния; абсолютное же количество того и другого будет зависеть от величины поглощающего комплекса, которая в различных черноземах будет различна, так как находится в зависимости от содержания гумуса и от глинистости; в самых богатых черноземах поглощенного кальция содержится около 1% (от веса почвы), а магния, значит, всего около 0,2%. Носовский чернозем, как мы указывали выше, относится к черноземам, бедным поглощающим комплексом, и поглощенных катионов в нем сравнительно мало (около 0,5% Ca и 0,1% Mg).

Вследствие способности поглощенных катионов обмениваться на другие катионы поглощенные катионы чернозема могут быть заменены любым другим катионом (или любой смесью катионов); для этого нужно только обрабатывать взятую почву раствором соли того катиона, которым желательно заменить естественно присутствующие в почве поглощенные катионы; только надо иметь в виду, что однократного приведения в соприкосновение с почвой взятого раствора недостаточно. На основании закона действия масс, как бы ни была высока концентрация взятой соли и как бы ни было велико количество ее раствора в отношении количества взятой почвы, все количество поглощенных катионов почвы не будет сразу замещено катионом раствора; для того чтобы достичь полного вытеснения поглощенных катионов и замещения их взятым катионом, необходимо обработку почвы раствором соли этого катиона произвести многократно: взболтать раствор с почвой и удалить отработавшую жидкость вместе с продуктами обмена (т. е. образовавшимися растворимыми солями кальция и магния) фильтрацией, после чего почву взболтать с новым количеством раствора и снова удалить отработавшую жидкость и т. д. Число таких обработок будет зависеть не только от количества берущегося раствора и концентрации растворенной в ней соли того катиона, который желательно ввести в почву вместо естественно присутствующих в ней поглощенных катионов (как говорят, «насытить почву» этим катионом), но и от природы взятого катиона. Если одно и то же количество почвы забалтывать с одним и тем же количеством раствора солей различных катионов (например, с растворами хлористых солей различных металлов) одной и той же концентрации (растворы одной и той же нормальности), то количество поглощенного катиона (а значит, и количество вытесненных им из почвы поглощенных катионов) из разных солей оказывается неодинаковым. Если назвать количество катиона, поглощаемого почвой из раствора соли при однократной обработке почвы этим раствором, энергией поглощения его

почвой, то оказывается, что *энергия поглощения почвой различных катионов неодинакова*. Исследование этой величины в отношении различных катионов показало нам на существование здесь следующих закономерностей.

1. Энергия поглощения катиона находится в зависимости от его значности и величины атомного веса; чем выше значность и чем выше атомный вес катиона, тем энергичнее он поглощается почвой. Поэтому катионы однозначные поглощаются слабее, чем катионы двузначные одинакового атомного веса, а катионы двузначные—слабее, нежели катионы трехзначные.

2. Водородный ион представляет исключение из этого правила: хотя он однозначен и обладает наименьшим атомным весом, но поглощается сильнее других однозначных катионов (например, лития, натрия, аммония) и сильнее даже, нежели двузначные катионы магния и кальция.

Катионы, встречающиеся в почвенной влаге, по величине энергии поглощения располагаются таким образом (в порядке возрастания): литий, натрий, аммоний, калий, магний, кальций, водород, алюминий, железо.

Легко видеть, что величина энергии поглощения почвой различных катионов управляется теми же законами, что и осаждающая сила катионов в отношении почвенных коллоидальных веществ (см. выше, стр. 394), так как эти два явления—поглощение и осаждение—тесно связаны между собою.

Состав поглощенных катионов в черноземе. Принимая во внимание законы поглощения почвами катионов, легко понять, почему именно в черноземных почвах в качестве поглощенных катионов встречаются только кальций и магний и притом кальция всегда значительно больше, чем магния. Тут дело в том, что в черноземной зоне атмосферных осадков, при нормальном залегании почвы и отсутствии особых привходящих условий, обычно достаточно, чтобы удалить из почвенных горизонтов легкорастворимые соли, образующиеся в процессе почвообразования; поэтому соли эти не могли скопляться здесь и в каждый данный момент концентрация их в почвенном растворе должна была быть очень малой; вместе с тем условия увлажнения этих почв были недостаточными для полного удаления таких труднорастворимых простых солей, каковыми являются углекислый кальций и магний; в нормальных черноземах мы всегда найдем на той или иной глубине в почвенной толще скопления этих углесолей и главным образом карбоната кальция; почвенные растворы черноземных почв поэтому насыщены этими солями; почвообразование черноземов шло, таким образом, при очень малом содержании в почвенных водах растворимых солей натрия и калия и высоком сравнительно содержании в этих водах катионов магния и особенно кальция, поэтому естественно, что при таких условиях калий и натрий вытеснялись с поверхности мелкораздробленных частиц и замещались, главным образом, кальцием, как преобладающим катионом почвенного раствора, и отчасти магнием. То же должно было происходить и с той частью поглощающего комплекса, которая возникала в этих почвах как новообразование, путем соединения между собою отдельных окислов кремния, железа и алюминия; образовавшиеся из них частички, находясь в почвенном растворе, богаты ионами кальция и магния, должны были стать насыщенными этими именно основаниями.

Солончаковые и солонцовые почвы. Иное должно было произойти в почвенных горизонтах тех мест, где условия увлажнения сложились так, что почвенная влага оказывалась богата легкорастворимыми солями. Это же могло случиться там, где количество воды, просачиваю-

щееся через почвы (т. е. так называемые «условия увлажнения») было недостаточно, чтобы вымыть глубоко те растворимые соли, которые могли первоначально присутствовать в материнских породах (как, например, в солевых отложениях Арало-Каспийского моря) и которые возникли в самом процессе почвообразования или там, где имелись благоприятные условия для приноса этих солей со стороны (например, боковым потоком почвенных вод или поднятием до поверхности почвы грунтовых вод, вследствие приближения последних по условиям рельефа к дневной поверхности); одним словом, или в условиях засушливого климата (например, в нашей пустынно-степной области), или же даже при достаточно влажном климате (как в нашей черноземной области), но при подходящих для такого засоления условиях рельефа. Почвы, засоленные легкорастворимыми солями, носят название солончаковых почв, а при очень сильной степени засоления—солончаков. Солями, засоляющими солончаковые почвы, являются растворимые соли натрия, кальция и магния (их хлористые и сернокислые соли); соли калия между ними встречаются значительно реже. Нас сейчас интересуют лишь почвы, засоленные растворимыми солями натрия (хлористым и сернокислым натрием) как имеющие непосредственное отношение к почвам района Носовской станции. Так вот, из того, что было изложено выше о поглощающем почвенном комплексе и о поглотительной способности почвы, должно вытекать, что если черноземные почвы засолены хлористым или сернокислым натрием, то такие солончаковые почвы должны в своем поглощающем комплексе содержать, в отличие от нормальных черноземов, поглощенный натрий, так как при воздействии почвенного раствора, содержащего хлористый или сернокислый натрий, на чернозем, натрий этих солей будет поглощаться почвой, становясь в поглощающий комплекс вместо кальция и магния, которые будут переходить в раствор; сколько натрия войдет в поглощающий комплекс и насколько, значит, чернозем обеднится поглощенным кальцием и магнием—это будет зависеть от степени и характера засоления чернозема солями натрия. Присутствие в поглощающем почвенном комплексе поглощенного натрия резко изменяет химические и физические свойства почвы, а значит, и агрономические их свойства; но в солончаковых почвах, пока в них присутствует избыток легкорастворимых солей, т. е. пока они остаются засоленными, эти особые свойства почвы, вызываемые присутствием в ее поглощающем комплексе натрия, не могут проявиться; растворимые соли, если они имеются в достаточном количестве, мешают этому проявлению; каким именно образом—это будет пояснено дальше. Для того чтобы присутствие натрия в поглощающем комплексе могло проявиться, солончаковая почва должна до известной степени рассолиться, большая или меньшая часть засоляющих ее солей должна быть вымыта. *Такие почвы, в поглощающем комплексе которых под влиянием засоляющих их солей натрия содержится поглощенный натрий, а сами засоляющие соли в большей своей части вымыты из почвы, носят название солонцеватых почв, а при большом содержании поглощенного натрия—солонцов.* Таким образом, если у нас имеется солонцеватая почва или солонец, можно определенно утверждать, что раньше это была солончаковая почва, или солончак, засоленный солями натрия. Солонец есть определенная стадия, определенная фаза почвы, которой предшествовала стадия солончака. Из сказанного следует, что если нормальный чернозем естественно или искусственно засолится растворимыми солями натрия, а затем растворимые соли естественно или искусственно будут вымыты из него, то, несмотря на это, наша почва не вернется уже в свое начальное состояние нормального чернозема; даже самое кратко-

временное присутствие в ее почвенном растворе катиона натрия внесет в самое ее существо, в ее поглощающий комплекс, новое поглощенное основание—натрий, который, конечно, не будет вымыт из нее при вымывании растворимых солей; нормальный чернозем, пройдя при засолении стадию солончака, даст после своего рассоления новую стадию—стадию солонца.

Солонцеватая почва, или солонец, возникая в природе путем рассоления натриевыми солями засоленной солончаковой почвы, или солончака, может, конечно, снова перейти в стадию солончаковой почвы, или солончака, раз она снова засолится легкорастворимыми солями. Поэтому в том случае, когда в почве происходят периодически то процессы рассоления, то процессы засоления, такая почва будет периодически же переходить из одной стадии в другую; всякий натриевый (т. е. засоленный растворимыми солями натрия) солончак в период дождей превращается в верхних своих горизонтах, промытых дождями, в солонец; в засушливую же погоду, когда растворенные соли вследствие испарения воды концентрируются у поверхности почвы, получается снова солончак. Ясно, что в зависимости от условий погоды одна и та же почва не только может быть то солончаком, то солонцом, но и в одно и то же время у одной и той же почвы одни горизонты могут являться солончаковыми, а другие солонцеватыми.

З о л и и г е л и в п о ч в а х. В коллоидальной химии различают два состояния коллоидального вещества: 1) коллоидальное вещество в состоянии золя или коллоидального раствора; в этом состоянии частички коллоидального вещества находятся каждая в отдельности во взвешенном в дисперсионной среде (например, в воде) состоянии; 2) коллоидальное вещество в виде геля; в этом состоянии частички коллоидального вещества связаны между собою и вещество является в виде осадка того или другого вида; осадок может быть очень объемистый, содержащий большое количество тесно с ним связанной дисперсионной среды (воды); коллоиды, дающие такие осадки, носят название лиофильных, или гидрофильных, а желатинозные их осадки называются истинными гелями, или галертами. Но осадок может быть бедным водой, в виде аморфного порошка; такие осадки даются лиофобными или гидрофобными коллоидами. Между этими двумя крайностями могут быть всевозможные переходы.

Когда происходит коагуляция или свертывание золя под влиянием, например, электролитов или испарения воды из коллоидального раствора, то получается осадок—гель того или другого характера, в зависимости от того, с каким коллоидом имеют дело—гидрофильным или гидрофобным; сам процесс свертывания, в зависимости от рода коллоида, может быть обратимым или необратимым. Коагуляция называется обратимой в том случае, если по удалении причины свертывания гель снова даст с водой коллоидальный раствор—золь. Так, например, содержащийся в солонцеватых почвах гумат натрия, дающий в воде коллоидальный раствор, свертывается при действии на такой раствор хлористым натрием; получается объемистый черный гель, богатый водой,—значит, мы имеем дело с гидрофильным коллоидом; если теперь слить отстоявшуюся воду, содержащую хлористый натрий, и декантацией промывать гель гумата натрия, то, удалив в достаточной степени хлористый натрий из жидкости, находящейся в геле, переведем осадок снова в золь; процесс коагуляции в этом случае обратимый и сам коллоид-гумат натрия называется обратимым коллоидом. То же получим, если свертывания золя гумата натрия достигнем не действием электролита, а выпариванием воды золя; оставшийся после испарения дисперсионной фазы осадок гумата натрия снова переходит

в коллоидальный раствор при прибавлении воды. И здесь гумат натрия ведет себя, как обратный коллоид.

Иначе поведет себя золь гумата натрия, если осадить гель не хлористым натрием, а какой-либо растворимой солью кальция; тогда получается осадок, неспособный уже после даже полного удаления из него промыванием прибавленной соли кальция давать с водой коллоидальный раствор: золь в этом случае перешел в необратимый гель; отдельные коллоидальные частички гумата в этом случае настолько прочно склеились в более крупные их агрегаты, что вода оказывается неспособной их расклеить и дать золь. Дело тут в том, что кальций-ион, взятый для осаждения золя, вытеснил с поверхности коллоидальных частичек золя гумата натрия катион натрия и стал на место него; вымыть этот кальций так просто, как можно вымыть из осадка растворимую соль кальция, содержащуюся в жидкости, находящейся в порах осадков, нельзя, и этот кальций все время своего присутствия в гумате не позволяет воде расклеивать агрегаты коллоидальных частиц органических веществ почвы. Подобно кальцию, ведут себя и другие двужначные (магний) и трехзначные (железо и алюминий) элементы; почвенные органические коллоидальные вещества, содержащие в поглощенном состоянии *двужначные и трехзначные катионы*, находятся в почве в состоянии *необратимого геля*. Наоборот, почвенные органические коллоиды, содержащие поглощенные *однозначные катионы* (натрий, аммоний, калий), находятся в почве в обратимом состоянии.

Совершенно такие же соотношения показывают и минеральные коллоидальные вещества почвы. Если они содержат поглощенные *однозначные катионы* (натрий, аммоний и калий), то представляют из себя *обратимые коллоиды*: при высыхании и под действием растворимых солей натрия, калия и аммония они дают обратимые гели, переходящие снова в коллоидальный раствор при действии на них воды. Если же минеральные коллоидальные вещества почвы содержат поглощенными катионы *двужначных* (кальция и магния) или *трехзначных* (алюминия и железа) металлов, то они в почве являются в виде *необратимых* в воде гелей, агрегатов коллоидальных частиц, не разбиваемых водой.

Поэтому о коллоидальных веществах в состоянии золя в почвах, содержащих в своем поглощающем комплексе только катионы *двужначных* металлов, практически говорить не приходится—золей в таких почвах в сколько-нибудь заметных количествах нет; и это не только в почве в естественном состоянии, где содержание воды даже при полной насыщенности ею почвы, в общем небольшое—максимум процентов до 70 от веса сухой почвы, но и при большом количестве воды, воздействующей на почву. Но отсутствие в почве в сколько-нибудь заметных количествах золей вовсе не указывает на отсутствие в ней веществ в коллоидном раздроблении; они всегда в почве имеются в большем или меньшем количестве, в зависимости от природы почвы; имеются же они там (подчеркиваю это) в состоянии *необратимых гелей*. Но, с другой стороны, так же как нет абсолютно нерастворимых соединений, так же не существует абсолютно *необратимых* коллоидов; все почвенные коллоиды, хоть в самых незначительных количествах, может быть неуловимых существующими методами исследования, находятся в почвенной влаге в состоянии золей; если они, вследствие очень малого своего количества, в каждый данный момент и не могут играть в почве особую роль, то значение этой формы коллоидального вещества в почве в ее вековых процессах несомненно колоссально; достаточно указать, что передвижение в почве гумусовых веществ и алюмосиликатной части в виде свободных окислов кремния, железа,

алюминия и марганца, вымывание их из одних почвенных слоев и скопление в других местах почвенного разреза совершается почти исключительно в виде коллоидальных растворов этих веществ; передвижение этих веществ в каждый данный момент в самых ничтожных количествах создает по прошествии целого ряда лет ту дифференцировку почвенных слоев, какая наблюдается на почвенных разрезах. Этим же ничтожным количеством золь разнообразных веществ почва обязана образованию в ней новых соединений. Тут мы имеем совершенно то же, что и с веществами, находящимися в почвенном растворе не в виде золь, а в виде истинных растворов: например, соединений кальция, магния, натрия, калия в каждый данный момент в почвенном растворе обычных почв (незасоленных), правда больше, чем коллоидальных, но также сравнительно очень немного, а в результате мы наблюдаем в наших почвах сильное обеднение этими элементами в одних слоях и накопление их в виде иллювиальных горизонтов в других местах.

Но имеются почвы, содержащие в своих почвенных водах значительно больше коллоидально растворенных веществ, это почвы, в поглощающем комплексе которых имеется поглощенный натрий, т. е. солонцы и солонцеватые почвы; коллоидальные вещества в этом случае, как мы видели, находятся в виде обратимых гелей и последние почвенной влагой переводятся в золи. Но так как влаги в почве в каждый данный момент может содержаться сравнительно мало, то и в этих почвах содержание коллоидальных веществ в виде золь по сравнению с общим содержанием их невелико. Поэтому и в таких почвах для вымывания из них всей коллоидальной части в общей сумме требуется значительно большее количество просочившейся воды, чем для вымывания легкорастворимых почвенных соединений.

СОЛОНЦЫ И СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ МАКИЕВСКОГО ОПЫТНОГО ПОЛЯ

Кроме периодически солонцеватых почв и солонцов, в природе встречаются постоянные солонцы, т. е. такие, которые не превращаются уже в солончаки, так как те соли, которые когда-то засоляли почву, вымыты из нее так глубоко (унесены, например, грунтовыми водами), что уже не поднимаются в почвенные горизонты при нынешних условиях климата или же вынесены речными системами в другие места. Как раз такие-то постоянные солонцеватые почвы и солонцы занимают видное место в районе Макиевского опытного поля. Солончаковых почв в этом районе не встречается: в очень редких случаях констатируется присутствие следов серной кислоты и хлора; грунтовые воды также не засолены; но так как в районе имеются солонцы и солонцеватые почвы, а таковые могли произойти, как мы видели выше, только из почв, бывших в то или другое время засоленными растворимыми солями натрия, то необходимо допустить, что было такое время, когда эти почвы района Макиевки представляли солончаки и солончаковые почвы. Вообще надо сказать, что такое засоление почв, очевидно, было широко распространено в области всего Днепровского ледникового языка (см. карту), представляющего впадину, постепенно понижающуюся к долине Днепра; такое устройство поверхности могло быть причиной бокового стока в эту впадину легкорастворимых солей, образовавшихся в процессе почвообразования в повышенных западных и восточных боках этой впадины; грунтовые воды должны были поэтому здесь засоляться; а так как, вследствие пониженного рельефа, стояние их в этой впадине было сравнительно близкое к поверхности, то капиллярным

поднятием могла засолиться в соответствующих местах и почва этой впадины. На бывшее здесь некогда засоление указывают встречающиеся и ныне в некоторых пунктах этой впадины солончаковые почвы, а главное—широко распространенные во всей этой области солонцеватые почвы и солонцы. Очевидно, вследствие каких-то причин засоление прекратилось и засоляющие соли были вымыты; относительно этих причин можно делать одни только предположения; наиболее вероятным нам кажется такое объяснение. Как мы указывали выше, источником засолявших Днепровскую впадину легко-растворимых солей, по всей вероятности, были соли, образующиеся в процессе почвообразования в самой впадине и на восточном и западном ее склонах; процесс образования этих солей должен был особенно энергично протекать в начале почвообразования; тогда этих солей образовалось много и они, концентрируясь в почвах впадины, давали засоленность, которая постепенно уносилась с грунтовыми водами в водную систему Днепра; постепенно энергия почвообразования затухала, количество приносимых со склонов впадины солей уменьшалось, а продолжающийся сток вод, уже бедных солями, мало-помалу окончательно вымыл соли в воды Днепровской системы.

Солонцеватые почвы Макиевского опытного поля приурочены к определенным элементам рельефа. Участок опытного поля имеет слабый уклон с Северо-Востока на Юго-Запад, с падением примерно на 1 сажень на версту в направлении к руслу замершей речки. Северо-Восточная возвышенная часть поля занята нормальным черноземом (быть может, с очень слабыми следами солонцеватости; требующихся для этого выяснения детальных исследований не было возможности еще произвести); по мере же понижения появляются солонцеватые почвы, сначала спорадически—пятнами, в зависимости от элементов микрорельефа, а затем в юго-западной части, к руслу речки мы уже имеем сплошные солонцы. Таким образом, в зависимости от микрорельефа степень солонцеватости здесь тем выше, чем ниже место; такая связь объясняется высотой залегания грунтовых вод и приносом солей из более высоких мест: чем ближе были грунтовые воды к поверхности и чем больше мог быть принос солей с окружающих мест, тем сильнее должно было быть прежнее засоление, а значит, и последующая солонцеватость.

Зависимость современной солонцеватости от микрорельефа оказывается обратной: повышенные элементы микрорельефа (бугорки) покрыты наиболее солонцеватой почвой; на ровных элементах микрорельефа почвы значительно менее солонцеватые, а отрицательные элементы микрорельефа (впадины, блюдца) покрыты нормальным черноземом (или слабосолонцеватым). Такая картина распределения почв различной степени солонцеватости, в зависимости от микрорельефа, объясняется следующим образом. Высота залегания грунтовых вод в данном случае влиять не могла: слишком для этого ничтожна разность уровней между повышенными и пониженными частями микрорельефа; в данном случае сыграла роль большая испаряющая поверхность бугорков по сравнению с остальными частями микрорельефа, вследствие чего бугорки эти, как фитиль, всасывали почвенную влагу из окружающих их мест и подымали отсюда соли на свою поверхность; кроме того, впадины обессоливались еще вследствие большего поверхностного увлажнения, благодаря стоку сюда атмосферных осадков с повышенных частей микрорельефа. Таким образом, наибольшая засоленность должна была получаться на повышенных элементах микрорельефа (бугорки), наименьшая—на пониженных элементах (западинки, блюдца) и средняя—на промежуточных; параллельно с этим в таком же



Рис. 1. Общий вид посева овса на Макиевском опытном поле с пятнистостью от солонцеватых пятен. (Человек с лошадью стоят на таком пятне.)

порядке должна изменяться и степень солонцеватости почв, происшедших из этих солончаковых почв, что мы и видим в действительности.

Почвенный покров полей южной половины Макиевского опытного поля представляет сложный комплекс почв разной степени солонцеватости (солонцы и солонцеватые почвы различной степени) и нормального чернозема; детальной почвенной съемки опытного поля еще не имеется, но Агрохимический отдел Носовской опытной станции произвел подробное исследование нескольких профилей микрорельефа, дающее возможность представить себе общую картину зависимости характера и свойств почвы от микрорельефа и отношения возделываемых растений к этим свойствам почвы. Во всех исследованных случаях солонцеватость почвы, которая измеряется количеством поглощенного натрия в поглощающем комплексе почвы, оказалась именно в той зависимости от микрорельефа, которую мы изложили выше, т. е. на буграх почвы наиболее солонцеваты, в западинках наименее солонцеваты (или вовсе не солонцеваты), а на ровных элементах микрорельефа по степени солонцеватости почвы занимают среднее место. На различных буграх степень солонцеватости почвы, так же как и в различных западинках, конечно, не одинакова. Сколько-нибудь заметная солонцеватость с точки зрения агрономической—явление отрицательное; большинство сельскохозяйственных растений весьма чувствительно к ней и трудно мирится с этим свойством почвы. Если взять овес, из наших обычных полевых растений одно из наиболее чувствительных к солонцеватости, то общий вид поля, занятого им, даст совершенно ясную картину микрорельефа поля и связанной с этим микрорельефом степени солонцеватости в различных местах поля; овсяное поле представляет очень нестройный, пятнистый вид: на бугорках имеем пятна очень плохого овса или совершенно голые (в зависимости от степени солонцеватости их), в низинах, наоборот, овес хорошо развит, а в средних элементах микрорельефа и состояние овса среднее (см. рис. 1).

Одной из существеннейших особенностей солонцов и солонцеватых почв Макиевского опытного поля (по всей вероятности, и всех более южных

солонцов Днепроовского языка и части более северных, по крайней мере района Носовской станции) является содержание в них углекислого кальция (отчасти и углекислого магния) во всем почвенном разрезе с самой поверхности почвы; исследование определенно показывает, что раз почва здесь заметно солонцевата, она, при смачивании ее кислотой, вскипает с самой поверхности; вообще же несолонцеватые черноземы Макиевки в верхних своих слоях углекислого кальция не содержат, а потому с кислотой не вскипают; горизонт вскипания у них находится на некоторой глубине (в среднем можно считать на 60 см от поверхности). Присутствие углекислого кальция в самых поверхностных горизонтах макиевских солонцеватых почв находится в непосредственной связи с бывшим засолением: почвы эти засолялись не только легкорастворимыми солями, но и труднорастворимыми углесолями кальция и магния и совершенно по той же причине. Но в то время как легкорастворимые соли натрия успели уже полностью выщелочиться из этих почв, углесоли кальция и магния, как малорастворимые, остались еще, по крайней мере местами, даже в самых поверхностных горизонтах.

В других местах России (например, на нашем юго-востоке) встречаются солонцы, совершенно не содержащие углесолей кальция в поверхностных горизонтах.

Содержит ли солонец углекислый кальций или не содержит, от этого в значительной степени зависят его агрономические свойства, приемы улучшения и дальнейшая естественная судьба этой почвы.

СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ И СОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ МАКИЕВСКОГО ОПЫТНОГО ПОЛЯ

Теперь перейдем к описанию свойств макиевских солонцов и солонцеватых почв.

Все особые свойства этих почв, отличающие их от почв несолонцеватых, как основные (т. е. свойства их как почвенного образования), так и агрономические, вызываются тем, что в поглощающем их комплексе содержится поглощенный натрий и степень выраженности этих особых свойств идет параллельно количеству в почве этого поглощенного натрия.

Химические свойства. Прежде всего остановимся на особенностях в химизме солонцов, обусловленных присутствием в них поглощенного натрия.

Реакция почвенного раствора нормального чернозема слабощелочная, (т. е. в почвенном растворе содержится гидроксильный ион OH , но в очень небольшом количестве), так как этот раствор всегда содержит двууглекислый кальций; но это соединение может дать лишь очень слабую, едва уловимую щелочность, которая растительности вовсе не вредна, и даже, наоборот, обыкновенно полезна, так как препятствует образованию в почве кислых соединений (например, свободной азотной кислоты в процессах нитрификации); но если щелочность почвенного раствора достигает сколько-нибудь заметной величины, то растения уже страдают, а при дальнейшем повышении ее гибнут. Вот такая щелочность и получается в солонцеватых почвах и солонцах, так как они с почвенной влагой дают сильно щелочное соединение—соду. *Присутствие соды и является характерной особенностью этих почв.*

Образование соды в солонцовых почвах и солонцах, содержащих углекислый кальций (как это имеет место в макиевских почвах), происходит следующим путем. У нас имеется почва, в поглощающем комплексе кото-

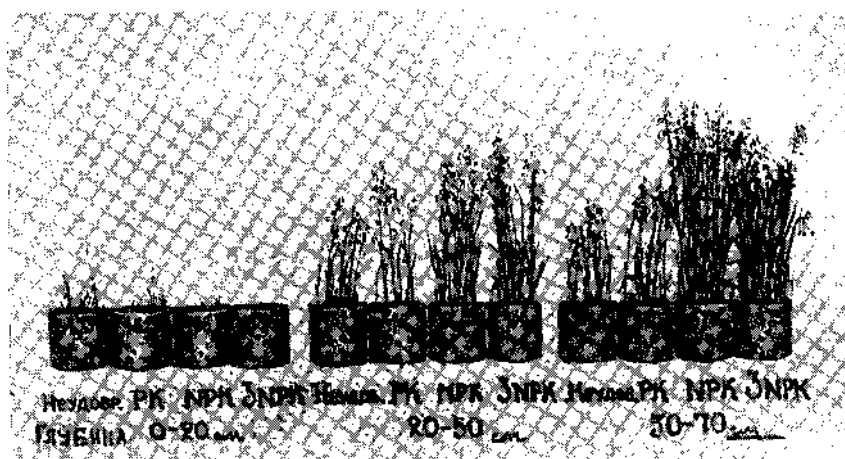


Рис. 2. Пахотный слой почвы с солонцеватого пятна глубиной до 20 см не дает почти урожая овса. Внесение минеральных удобрений не помогает. Нижние слои почвы (20—50 и 50—70 см) более урожайны.

рой содержится поглощенный натрий, который, являясь поглощенным катионом, может обмениваться на всякий другой катион, содержащийся в почвенном растворе. С другой стороны, маклевские солонцы и солонцеватые почвы, как мы видели, уже с поверхности содержат углекислый кальций, который хотя и труднорастворим, но все-таки в литре почвенного раствора при наиболее благоприятных условиях для его растворения может раствориться до 1 г CaCO_3 , т. е. около 0,5 г иона кальция; вот этот ион кальция, всегда содержащийся в почвенном растворе маклевских солонцов, будет, поглощаясь почвой, вытеснять из ее поглощающего комплекса содержащийся там натрий; последний, становясь на место кальция в находящийся в почвенном растворе углекислый кальций, будет давать соду; в каждый данный момент содержание соды в почвенном растворе не может быть особенно велико; тут имеется определенный предел для этого содержания, обусловливаемый малой растворимостью углекислого кальция и дальнейшим понижением этой растворимости образующейся содой (на основании химического закона: растворимость всякой труднорастворимой соли, в данном случае CaCO_3 , понижается в присутствии в растворе другой соли, в данном случае Na_2CO_3 , имеющей с первой общий ион, в данном случае анион CO_3), но и таких количеств достаточно для гибели большинства растений (см. рис. 2). Отметим, что сода образуется и в таких солонцах и солонцеватых почвах, которые не содержат углекислого кальция, так как почвенный раствор всегда содержит растворенную в нем углекислоту, а водородный ион почвенного раствора, так же как ион кальция, способен вытеснять из почвы поглощенный натрий, который в почвенном растворе с углекислотой дает соду; но в этих условиях соды образуется еще меньше, чем в том случае, когда в почве имеется углекислый кальций; таким образом, мы видим, что в отношении ядовитости почвы для растений, вследствие присутствия соды, такие солонцы, как маклевские, содержащие углекислый кальций, менее благоприятны, нежели солонцы без углекислого кальция.

Мы видим из вышеизложенного, что солонцы и солонцеватые почвы всегда содержат соду; иногда количество ее бывает очень ничтожно

(почвы, лишенные углекислых солей кальция, магния), иногда оно значительно выше, например, может достигать нескольких сотых процента (в водной вытяжке), когда в почве содержатся углесоли кальция и магния; в том и в другом случае количество образующейся соды будет находиться в зависимости от богатства почвы поглощенным натрием (чем выше его содержание, тем больше может образовываться в почвенном растворе соды) и от содержания в почвенном растворе углекислоты; чем больше в почве будет образовываться углекислоты, тем растворимее будет углекислый кальций, если он в солонце имеется, и тем, значит, больше будет из почвы вытесняться натрия; если же солонец не содержит углекислого кальция, то с увеличением содержания углекислоты в почвенном растворе будет увеличиваться и содержание водородного иона, а значит, и вытесняемого им натрия. В противоположность солончакам, солонцы других легкорастворимых солей, засоляющих почвы, или не содержат вовсе (что мы наблюдаем в макневских солонцах), или содержат сравнительно мало; в солончаках же, наоборот, может содержаться очень много других легкорастворимых солей (хлористые и сернокислые соли), соды же они или вовсе не содержат или содержат значительно меньше, чем солонцы. Объясняется это тем, что образованию соды реакцией взаимного обмена натрия поглощающего комплекса на кальций углекислого кальция (или на водород почвенного раствора) препятствует по закону действия масс присутствие в почвенном растворе катиона натрия (катиона хлористых и сернокислых солей), и когда концентрация растворимых солей натрия в почвенном растворе выше некоторой величины (сравнительно очень небольшой, так как растворимость углекислого кальция небольшая, а значит, и концентрация действующего катиона кальция мала), то вытеснение кальцием натрия из поглощающего комплекса становится невозможным, а потому образования соды не происходит. Поэтому между чистым солончаком, т. е. почвой, засоленной различными легкорастворимыми солями, но не содержащей вовсе соды, и между чистым солонцом, т. е. почвою, содержащей соду, но не содержащей других растворимых солей, находятся почвы смешанного характера (солонцы-солончаки), содержащие и небольшое количество соды и другие легкорастворимые соли.

Как следует из теории образования соды в почве, солонцы и солонцеватые почвы отличаются от солончаков и в другом еще отношении. Легкорастворимые соли солончака легко могут быть вымыты из почвы: для этого достаточно несколько раз промыть почву; при этом, как мы уже знаем, если солончак содержал натриевые соли, то он после промывания превратится в солонец. Уничтожить же соду в солонце таким простым промыванием нельзя; та сода, которая имела в почве перед промыванием, будет, конечно, выщелочена из почвы водой, но вместо нее тотчас же образуется новое количество соды и примерно столько же, сколько ее было вследствие дальнейшего вытеснения из поглощающегося комплекса кальцием углекислого кальция поглощенного натрия: *образование соды в солонце прекратится только тогда, когда весь поглощенный натрий будет вытеснен, достичь чего промыванием почвы чистой водой очень трудно.*

Отметим, что сода в почве может накапливаться иногда и в значительной степени, когда для этого существуют соответствующие благоприятные условия, а именно если имеется налицо боковой подток почвенных вод, содержащих соду, с вышележащих мест или капиллярное поднятие соды с водой снизу. В этом случае притекающая со стороны сода должна расходоваться в почве сначала на полное вытеснение из поглощающего комплекса поглощенных кальция и магния (натрий соды будет поглощаться

почвой, а вытесняющиеся из почвы кальций и магний будут переводить анион CO_3 в нерастворимый углекислый кальций и углекислый магний; сода будет, таким образом, «исчезать» из почвы, и только тогда, когда поглощающий почвенный комплекс будет вполне (или почти вполне) насыщен натрием, притекающая со стороны сода начнет накапливаться в почве. Отметим тут, кстати, что выводы, делавшиеся до сих пор почти всеми исследователями, изучающими ядовитость для растений соды методом внесения различных ее количеств в нормальные почвы, неправильны, так как исследователи не принимают во внимание «исчезновения» соды как таковой из почвы и перехода ее в углесоли кальция и магния с поглощением натрия; в результате таких опытов на растения воздействуют только те ничтожные количества соды, которые остаются в почве, а поэтому получается такая картина, что сода в почвенных культурах якобы мало вредна растениям и что хлористый и сернокислый натрий более ядовиты, между тем как песчаные и водные культуры, где «исчезновение» соды не имеет места, показывают, и совершенно правильно, обратное; из всех солей, встречающихся в солончаках и солонцах, сода наиболее ядовита для растений. Нужно при этом иметь в виду, что сода в почве может быть в двух видах: в виде так называемой нормальной соды— Na_2CO_3 и двууглекислой— NaHCO_3 , первая, как сильно щелочное соединение, значительно вреднее, нежели вторая; в почве эти два соединения очень легко переходят одно в другое; так, например, при избытке в почвенном растворе и воздухе углекислоты нормальная сода в большей своей части перейдет в двууглекислую и обратно.

Таким образом, мы видим, что основная особенность солонцов и солонцеватых почв в отношении их химических свойств по сравнению со всеми остальными почвенными типами, а именно содержание в их поглощающем комплексе поглощенного натрия при отсутствии в почве сколько-нибудь заметных количеств хлористых и сернокислых солей натрия, кальция и магния, является причиной другой особенности в химизме их—причиной образования в почвенном растворе этих почв соды, что делает эти почвы весьма неблагоприятными в агрономическом отношении. То же основное свойство солонцов и солонцеватых почв является причиной физических особенностей этих почв, особенностей, также весьма неблагоприятных в агрономическом отношении. Мы теперь и перейдем к описанию физических свойств солонцов и выяснению их причин.

Физические свойства. Когда солонцеватая почва, причем солонцеватая в самых своих поверхностных слоях (каковы солонцы Макневского опытного поля), просохнет, то она растрескивается на поверхности с образованием крупных структурных элементов (глыб, комьев), величина которых тем больше, чем солонцеватее почва; эти структурные элементы отличаются очень большой прочностью и с большим трудом поддаются раздроблению; таким образом, солонцеватые почвы в сухом состоянии отличаются грубой и очень прочной структурой; такое свойство, очевидно, уже само по себе является неблагоприятным в сельскохозяйственном отношении (затруднительность обработки почвы в сухую погоду, разрыв корней растений при высыхании почвы). В мокром состоянии такие почвы бесструктурны; та связь в структурном элементе солонца, которая является очень прочной в его сухом состоянии, оказывается совершенно непрочной в его мокром состоянии: вода, постепенно проникая в сухую глыбу солонца, уничтожает эту связь, и глыба распадается на составляющие ее механические элементы, которые в солонцах оказываются очень мелкими; получается бесструктурная липкая, сильно клеящая масса, с трудом пропускающая воду и воздух и только чрезвычайно медленно капиллярно

поднимающая снизу воду; солонцы поэтому имеют вообще склонность к заболачиванию; в природе мы и видим действительно непосредственную связь между солонцеватостью и заболоченностью: сильно просохший в поверхностном горизонте солонец, вследствие его грубой структурности, дает ряд трещин; выпадающие атмосферные осадки проникают через эти щели; но на некоторой глубине (обычно небольшой) щели эти исчезают, так как почва там влажная, а потому бесструктурная; а так как эти бесструктурные горизонты очень трудно проницаемы для воды, то происходит застаивание воды—заболачивание. Одним словом, солонцеватая почва в физическом отношении приближается к тяжелым глинистым почвам, а между тем почвы, рядом лежащие, происшедшие из той же материнской породы, но не подвергшиеся в прежние времена засолению и не ставшие поэтому теперь солонцеватыми (или, наоборот, лишившиеся уже солонцеватости, о чем см. ниже), оказываются по своему механическому составу легкосуглинистыми. Как раз это имеет место на Макиевском опытном поле: несолонцеватые почвы северной повышенной части поля по механическому своему составу относятся к легкосуглинистым почвам, а солонцы южной части именно потому, что они солонцы, по своим физическим свойствам и связанным с ними водным и воздушным свойствам ведут себя, как тяжелые глинистые почвы. Чтобы разобраться в причине этого явления, нам опять приходится вернуться к свойствам поглощающего почвенного комплекса.

Зависимость физических свойств почвы от состава поглощенных катионов. Поглощающий почвенный комплекс состоит, как мы видели, из частиц коллоидальных размеров, т. е. диаметр их находится примерно в пределах от 0,0001 до 0,0000001 мм. Если мы возьмем нормальный чернозем, т. е. почву, поглощающий комплекс которой не содержит поглощенного натрия, а только поглощенные кальций и магний, то, действуя на такую почву водой, мы почти не получим из этой почвы, даже при большом содержании в ней поглощающего комплекса (например, до 30% от веса почвы), отдельных коллоидальных частиц: это указывает на то, что *коллоидальные частицы нормального чернозема находятся в нем не в свободном, отдельном одна от другой состоянии, а образуют между собой и вместе с более крупными почвенными частицами агрегаты значительно большей величины*, в которых цементирующим веществом являются клеящие коллоидальные частички поглощающего комплекса; оказывается, что клеящая сила этих коллоидальных веществ почвы, когда поглощающий комплекс насыщен только кальцием и магнием, настолько прочна, что вода может разбить структурные элементы чернозема не до конца, не до первичных отдельных коллоидальных частиц, а лишь до их агрегатов, правда, более мелких размеров, чем первоначальные существовавшие в сухой почве, но все-таки не до коллоидальных; *вода в таких почвах разрушает макроструктуру, но почти не в состоянии разрушить микроструктурные элементы*. Не то получается в том случае, когда в поглощающий комплекс того же чернозема искусственно или естественно вступит натрий вместо кальция и магния; тогда клеящая способность коллоидальных частиц оказывается очень непрочной в отношении действия воды; под действием воды почвенные агрегаты расклеиваются, распускаются до конца, до отдельных, составляющих их частичек; почва во влажном состоянии вместо смеси отдельных крупных частиц и микроструктурных элементов, в которых связаны отдельные коллоидальные частички (состояние нормального чернозема), дает смесь, содержащую свободные коллоидальные частички. В почвах, поглощающий комплекс которых насы-

щен только кальцием и магнием (нормальные черноземы), во влажном их состоянии мы почти не имеем отдельных (свободных) коллоидальных частиц, они собраны в более крупные агрегаты; *в почвах же, в поглощающем комплексе которых имеется натрий (солонцеватые почвы и солонцы), во влажном их состоянии большая или меньшая часть коллоидальных частиц (в зависимости от степени насыщения поглощающего комплекса натрием, т. е. от степени солонцеватости почвы) находится в свободном состоянии*; вследствие этого несолонцеватые черноземы имеют как бы более крупнозернистый состав, а те же черноземы, став солонцеватыми или солонцами, получают более глинистый состав, становятся более коллоидальными. Коллоидальная часть почвы, когда отдельные ее частицы не свернуты в агрегаты, проявляет одно очень интересное и вместе с тем очень неблагоприятное агрономическое свойство: она приобретает способность сильно набухать в воде; между почвенными частичками коллоидальных размеров и молекулами воды имеется очень сильное притяжение; каждая такая частичка вследствие этого притяжения окружается слоем воды, удерживаемым частичкой с очень большой силой; поэтому влажные коллоидальные частички в почве примыкают друг к другу и к другим более крупным почвенным частичкам не непосредственно, а своими водными оболочками, что, конечно, увеличивает объем почвы; вытеснить эту воду, вследствие прочной связи ее с коллоидальными частичками, очень трудно, поэтому почва становится чрезвычайно трудно проницаемой для воды, так как вода атмосферных осадков, чтобы пройти через слой такой почвы, должна сначала вытеснить эту прочно связанную воду. По причине той же прочной связи воды с коллоидальными почвенными частичками влага эта малодоступна корням растений; растения на сильно коллоидальной почве, даже при очень высоком проценте влажности почвы, могут страдать от недостатка доступной воды.

Различны физические свойства почв с поглощающим комплексом, насыщенным только кальцием и магнием, и с поглощающим комплексом, содержащим натрий, не только во влажном, но и в сухом состоянии. Когда высыхает несолонцеватый чернозем, его микроструктурные элементы (мелкие комочки, агрегаты коллоидальных частиц) будут цементировать более крупные механические элементы почвы и давать макроструктуру; но так как величина этих мелких комочков по сравнению с величиной свободных коллоидальных частиц значительно большая, то клеящая способность их невелика; макроструктурные элементы получают сравнительно небольшой величины (зернистая, мелкокомковатая структура) и рыхлого сложения. Не то получается при высыхании солонцеватых черноземов и особенно солонцов. Так как коллоидальные частички в них в том или другом количестве находятся в свободном состоянии, то клеящая их способность велика; цементируя остальные почвенные механические элементы, они создают в таких почвах, при высыхании их, крупную структуру, обладающую притом большой прочностью.

Таким образом, если сравнивать влияние поглощенного натрия на физическое состояние поглощающего комплекса почвы, а значит, и на самую почву, содержащую таковой комплекс, с влиянием поглощенного кальция и магния, то можно сказать, что *присутствие поглощенного натрия в почве повышает ее коллоидальность*, так как способствует распылению поглощающего комплекса, повышает степень его дисперсности; *поглощенный же кальций понижает коллоидальность почвы*. С точки зрения сельскохозяйственной такое действие поглощенного натрия, как видно из вышеизложенного, нужно рассматривать как явление очень неблагоприятное.

Таким образом, присутствие поглощенного натрия в почве (т. е. солонцеватость почвы), если рассматривать почву как культурную среду для растений, вредно и в отношении химических и в отношении физических свойств почвы. Наоборот, полное насыщение поглощающего комплекса кальцием и магнием (может быть, вернее сказать,—почти полное) оказывается наиболее благоприятным в агрономическом отношении; в этом случае почва может содержать очень много коллоидальных частиц, ее поглощающий комплекс может достигать большой величины, вследствие чего почва будет очень деятельна, будет обладать очень благоприятной структурой (о чем подробнее будет изложено при описании агрономических свойств носовских почв), а вместе с тем отрицательного влияния большой коллоидальной части проявляться вообще не будет.

Мы указывали раньше, что почвенный поглощающий комплекс состоит из коллоидально распыленных минеральных и органических соединений. Во всех вышеописанных свойствах солонцов и солонцеватых почв принимают участие обе эти части поглощающего комплекса; обе они участвуют в образовании соды, обменивая свой поглощенный натрий на кальций углекислого кальция, и в создании неблагоприятных физических свойств. Обе они, вследствие присутствия в них поглощенного натрия, при действии воды коллоидально распыляются. Распыление органической части поглощающего комплекса (гуматной части почвы) при этом настолько энергично, что с водой она дает совершенно прозрачные, окрашенные гумусом растворы; коллоидальные частички гумуса в этих растворах очень мелки и свободно фильтруются через самую плотную фильтровальную бумагу и не задерживаются при фильтрации через слой почвы. Степень окрашенности таких водных растворов гуматной части находится в зависимости от степени солонцеватости почвы: чем последняя выше, тем темнее водный раствор. Макиевские солонцы невозделываемых южных частей поля дают совершенно черные водные растворы; то же получается и из бесплодных солонцеватых пятен полей опытного поля: менее солонцеватые почвы опытного поля дают более слабо окрашенные растворы, до светложелтых; почвы же поля вовсе несолонцеватые дают почти бесцветные водные растворы, так как поглощающий почвенный комплекс, в том числе гуматная его часть у этих почв, как не содержащий поглощенного натрия, находится в виде прочных, не распыляющихся водой агрегатов.

П р и з н а к и с о л о н ц е в а т ы х п о ч в. Вышеперечисленные особые свойства солонцов и солонцеватых почв (я здесь говорю только о солонцах типа Макиевского опытного поля, т. е. содержащих уже с поверхности углекислый кальций) дают возможность сравнительно легко распознать их в природе, если только солонцеватость их выражена сколько-нибудь значительно. Признаками, указывающими солонцеватые пятна среди окружающего несолонцеватого чернозема, будут следующие.

1. Цвет. И в сухом и особенно во влажном состоянии солонцеватые почвы всегда темнее окрашены, нежели окружающие черноземы.

2. Структурность. В сухом состоянии солонцеватые почвы дают более крупные структурные элементы, а главное—эти элементы значительно более прочны, труднее разбиваются, нежели структурные отдельности несолонцеватого чернозема. При сильной солонцеватости комья почвы тверды, как камень.

3. Клейкость. Во влажном состоянии солонцеватые почвы вязки и обладают большей мажущей, клеящей способностью, чем нормальные черноземы, и при растирании между пальцами производят впечатление большей глинистости.

4. Отстоявшаяся на поверхности или фильтрованная почвенная вода или искусственная водная вытяжка окрашена гумусом значительно сильнее, чем в случае несолонцеватого чернозема. По степени окраски можно судить о степени солонцеватости.

5. Повидимому, все сколько-нибудь заметно солонцеватые почвы Днепроовского языка имеют очень высокий горизонт вскипания, часто поднимающийся к самой поверхности почвы. Поверхностное вскипание почвы с кислотой или очень близкое от поверхности может служить одним из признаков солонцеватых почв.

6. Фильтрация водной вытяжки и скорость отстаивания почвы, взболтанной с водой, также являются признаками, по которым очень легко отличить солонцеватый чернозем от несолонцеватого; в первом случае и то и другое происходит заметно медленнее, чем у несолонцеватых почв; поэтому если имеется для сравнения заведомо несолонцеватая местная почва, то сравнение хода отстаивания и скорости фильтрации водной вытяжки из определяемой почвы и из несолонцеватой даст требуемое указание.

7. Застаивание атмосферных осадков в том или другом месте по сравнению с окружающими пространствами также может быть указанием при общей однородности материнской породы (каковой в большей части Днепроовского языка является сравнительно легкопроницаемый лесс) на солонцеватость почвы.

8. Состояние посевов. Пятнистый характер поля с плохим ростом на отдельных пятнах является одним из верных признаков солонцеватости почвы на этих пятнах. Конечно, плохое состояние растений может обуславливаться также солончаковостью почвы; но солончаковые почвы, повидимому, редко встречаются в Днепроовском языке, а затем они не будут показывать признаков, перечисленных в предшествующих пунктах, и вообще легко могут быть констатированы или качественными реакциями водной вытяжки на хлористые соли (белый осадок при прибавлении азотнокислого серебра) и сернокислые соли (белый осадок при прибавлении хлористого бария), или по быстрому отстаиванию и быстрой фильтрации водных вытяжек (более быстрому, чем у нормальных черноземов) и неокрашенности фильтрата.

Дальнейшая эволюция солонцов и солонцеватых почв. Как мы видели, солонцеватость есть следующая стадия почвы после засоленности ее легкорастворимыми натриевыми солями. Но сама эта стадия не является особенно устойчивой, если сравнивать, например, ее устойчивость с устойчивостью нормального чернозема. Как известно, главным фактором почвообразования вообще и тех изменений, какие могут происходить в существующих почвах, является степень их увлажнения, т. е. то количество воды, которое просачивается через почву, и глубина промывания почвы. Но действие этой просачивающейся воды на почвы, не содержащие легкорастворимых солей, например, на нормальные черноземы, очень мало интенсивно; растворение труднорастворимой силикатной части и гумуса, а также их разложение идет сравнительно очень медленно. Та скорость, с которой совершается изменение солонцеватого чернозема, несравненно гораздо большая, нежели скорость изменения нормального чернозема. Те процессы, которые происходят в нормальном черноземе под влиянием промывающей его воды, носят общее название деградации чернозема; под влиянием этих процессов чернозем очень постепенно и очень медленно переходит в почвы подзолистого типа. Разрушение органической и алюмосиликатной части солонцов и солонцеватых почв, их деградация под влиянием просачивающейся воды протекает гораздо

быстрее; в результате могут получиться почвы также подзолообразные, так называемые «солоды»; с таким конечным результатом протекает деградация солонцов, не содержащих углекислого кальция; таково происхождение солодей, например, Воронежской, Тамбовской, губерний, а также юго-востока России. Возможно, что такой же процесс имел место и в самой северной части Днепровского языка, чему у нас теперь имеются непосредственные доказательства. Процесс деградации солонцов и солонцеватых почв, содержащих углекислый кальций, т. е. солонцеватых почв Макневского опытного поля и более южной части Днепровского языка, шел и в настоящее время идет несколько иначе. Если в результате деградации бескарбонатных черноземных солонцов получается устойчивая стадия в виде подзолообразных солодей, почв, резко отличающихся и по внешним и по внутренним своим признакам от рядом залегающих черноземов, не прошедших стадии засоления, то в результате деградации карбонатных солонцов и солонцеватых почв, после окончательного исчезновения в них солонцеватости, мы будем иметь в качестве устойчивой уже стадии почвы, очень близкие к первоначальному чернозему.

Причиной неустойчивости солонцеватого типа почвы является тот же поглощенный натрий, содержащийся в поглощающем их комплексе, присутствие которого в этих почвах обуславливает вообще все особые их свойства. Мы видели, что поглощенный натрий в почве делает ее поглощающий комплекс очень доступным распыляющему действию воды; поглощающий комплекс распадается на составляющие его коллоидальные частицы, органическая его часть распыляется при этом так мелко, что получающиеся коллоидальные растворы гуминовых веществ свободно фильтруются через почву; таким образом, из почвы постепенно выщелачивается эта часть поглощающего комплекса. Если сравнить, например, содержание коллоидально растворенных органических веществ в водной вытяжке из солонцов Макневского опытного поля с содержанием этих же веществ в водной вытяжке из несолонцеватых черноземов этого опытного поля, то оказывается, что из первых почв вода растворяет раз в 200 больше гумуса, чем из вторых; ясно, что выщелачивающее действие воды значительно сильнее в солонцеватых почвах, чем в нормальных черноземах, и что в то время как атмосферные осадки успеют вынести из солонцеватого чернозема всю гуматную часть, насыщенную натрием, из нормального чернозема будет выщелочено лишь небольшое количество гумуса. Солонцеватые почвы, таким образом, сравнительно очень быстро могут лишиться органического поглощающего комплекса, поскольку он насыщен натрием.

Но коллоидально распыляется водой не только гуматная часть поглощающегося комплекса, но и его алюмосиликатная; в таком раздробленном состоянии она также отчасти может вымываться из почвы; но, повидимому, вымывание в этом случае не может сравниться с вымыванием гуматной части; очевидно, степень дисперсности коллоидальной алюмосиликатной части не так велика, как гуматной (не нужно забывать, что пределы размеров коллоидальных частиц очень широки, от 0,0001 до 0,0000001 мм, так что коллоидальные частицы по своим размерам могут очень сильно различаться между собою). Произведенные нами исследования устанавливают, что очень энергичное действие воды на алюмосиликатную часть почвенного поглощающего комплекса, насыщенного натрием, выражается главным образом не в вымывании ее из почвы как таковой, а в разрушении ее с выделением свободных окислов кремния, алюминия и железа, которые уже в виде высокодисперсных коллоидальных растворов выщелачиваются из почвы вниз, причем имеются особенно благоприятные условия для вы-

мывания коллоидальных растворов гидратов окиси железа и алюминия; коллоидально же растворенная кремнекислота в той или другой части свертывается на месте ее освобождения из алюмосиликата, переходя в аморфную кремнекислоту. Таким образом, в то время как вода почти вовсе не разрушает алюмосиликатного поглощающего комплекса в нормальных черноземах, а в деградированных черноземах разрушает его лишь очень слабо и медленно, в солонцах и солонцеватых почвах разрушение его, поскольку он содержит поглощенный натрий, идет очень энергично и быстро, причем почва обедняется железом и алюминием и относительно обогащается аморфной кремнекислотой; поэтому характерным признаком почв, происшедших путем деградации солонцов (только бескарбонатных), отличающим их от сходных с ними первичных подзолов и вторичных подзолов, происшедших путем деградации нормальных черноземов, является повышенное в них содержание аморфной кремнекислоты¹. Такое энергичное и быстрое разрушение водой алюмосиликатного поглощающего комплекса солонцов и солонцеватых почв объясняется тем, что под влиянием присутствующего в этой части почвы поглощенного натрия комплекс этот во влажной почве коллоидально распылен, вследствие чего получается громадная поверхность взаимодействия его с водой.

Таким образом, из вышеизложенного мы видим, что деградация в природе солонцов и солонцеватых почв, не содержащих углекислого кальция, происходит сравнительно очень быстро и сопровождается разрушением и выщелачиванием той части поглощающего комплекса почвы, как органического, так и минерального, которая содержит поглощенный натрий. В результате получается почва несолонцеватая, но вместе с тем лишенная той или другой части поглощающего почвенного комплекса и тем большей части, чем полнее первоначальная почва была насыщена натрием. *Уничтожение очень вредной в агрономическом отношении солонцеватости достигается при этом природном процессе очень дорогой ценой—уничтожение частичным, а иногда и полным (в солонцах, поглощающий комплекс которых насыщен натрием) самой существенной и самой ценной части почвы—ее поглощающего комплекса.*

Естественное рассолонцевание происходит и в солонцах, содержащих углекислый кальций, и происходит на том же основании и не менее быстро, чем в бескарбонатных солонцах, но в этом случае столь вредное в сельскохозяйственном отношении разрушение поглощающего комплекса не может идти так далеко; во время воздействия воды на такие солонцы все время происходит вытеснение кальцием, находящегося в растворе углекислого кальция, натрия поглощающего комплекса; таким образом, в карбонатных солонцах их поглощающий комплекс становится постепенно все более и более недоступным разрушительному действию воды; рассолонцевание происходит в этом случае и вследствие частичного разрушения поглощающего комплекса и вследствие частичного превращения его из насыщенного натрием в насыщенный кальцием. Исследования показывают, что в этом процессе идет главным образом разрушение гуматной части поглощающего комплекса, алюмосиликатная же часть страдает значительно слабее; в результате получается рассолонцеватая почва, в общем близкая по химическому составу к окружающим ее черноземам, не бывшим солонцеватыми, и значительно менее обесцененная в сельскохозяйственном

¹ Такое обогащение почвы аморфной кремнекислотой констатировано нами в подзолообразных почвах Чемерского опытного поля, лежащего в северной части Днепровского ледникового языка.

отношении, нежели в случае бескарбонатных солонцов. В этом отношении макиевские солонцы и сильно солонцеватые почвы, как содержащие углекислый кальций, имеют громадное преимущество перед бескарбонатными солонцами; их будущее не так безнадежно.

Генезис несолонцеватых почв района Носовской опытной станции. В связи с рассмотрением вопроса о судьбе макиевских солонцов и солонцеватых почв мы коснемся в нескольких словах вопроса о генезисе несолонцеватых черноземов Макиевки и вообще района Носовской опытной станции. Раз в окрестностях Макиевки имеются в настоящее время солонцы и солонцеватые почвы разной степени солонцеватости и раз в настоящее время констатируется естественный процесс их рассолонцеватости, в конечном итоге которого должны получаться несолонцеватые почвы, но также черноземного типа, то есть полное основание предполагать, что и нынешние несолонцеватые черноземы Макиевки прошли через стадию солонцеватости; но или степень этой бывшей солонцеватости была у них ниже, чем она была в то же время у нынешних солонцеватых почв (черноземы возвышенной части Макиевки), или условия промывания были там лучше, чем у почв, оставшихся и ныне солонцеватыми (западины и блюдца в пониженной части Макиевки). А так как и в окрестностях Носовской опытной станции и вообще в районе всего Днепровского языка в настоящее время имеются солонцеватые почвы, также постепенно рассолонцовывающиеся, то можно предполагать, что вообще почвы этого языка были раньше солонцеватыми, что они являются деградированными солонцеватыми почвами, «вторичными черноземами»; при таком допущении будет понятно сравнительно малое содержание в них гумуса и отчасти железа при сравнительно все-таки сухом климате (атмосферных осадков 460 мм в год и ниже).

Повидимому, не только черноземные почвы области Днепровского ледникового языка являются деградированными солонцеватыми почвами, но таково же происхождение, по всей вероятности, и лесных суглинков и подзоловидных почв самой северной части этой области. Такое заключение можно сделать из наших предварительных исследований почв Чемерского опытного поля, лежащего в этой части области.

Улучшение солонцеватых почв. Для культуры большинства сельскохозяйственных растений заметно солонцеватые почвы малопригодны; сильно же солонцеватые и тем более солонцы и вовсе непригодны. Таким образом, почвы эти нуждаются в улучшении. Вопрос о мелиорации солонцов (а также тесно связанный с ними вопрос о мелиорации солончаков) давно уже занимает сельских хозяев и опытные учреждения тех местностей Европы, Азии, Америки и Африки, где распространены почвы этого типа. Но только в самое последнее время, в связи с выяснением генезиса этих почв и основной причины их особых свойств, вопрос о мелиорации солонцов становится на твердую почву.

При рассмотрении этого вопроса необходимо помнить, что все особенности солонцов, столь неблагоприятные для сельскохозяйственной культуры, вызываются присутствием в поглощающем комплексе их поглощенного натрия, и затем, что наиболее желательным в агрономическом отношении поглощенным катионом в почве является кальций. Отсюда непосредственно вытекает, что коренное улучшение солонца будет достигнуто тогда, когда весь его поглощенный натрий будет замещен кальцием (см. рис. 3). Затем, на основании законов поглощательной способности почвы, следует, что такая замена может быть произведена, если почва будет промываться растворами, содержащими какую-нибудь соль кальция, при непременно

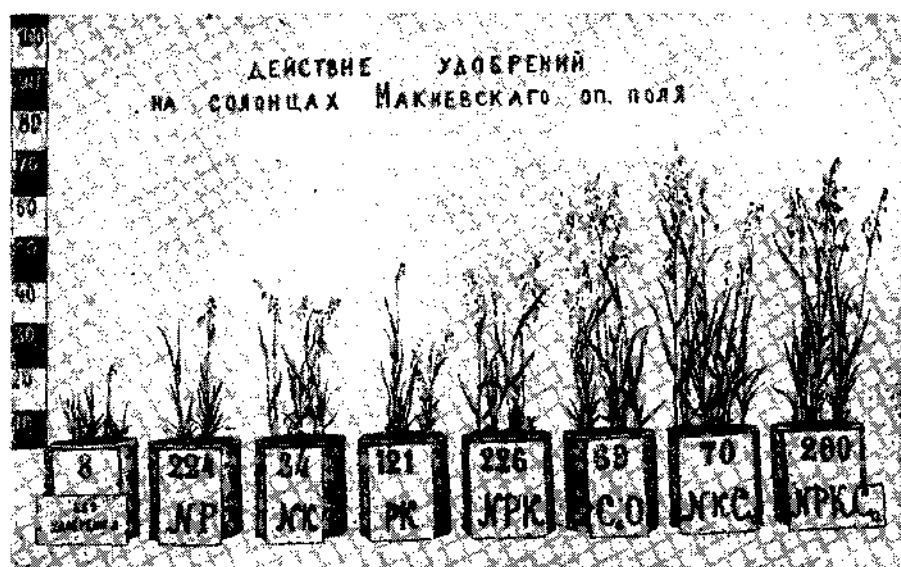


Рис. 3. В вегетационных сосудах известь на солонцы лучше действует, чем полное удобрение.

условии удаления дренажем отработавших вод, содержащих продукты обмена (т. е. соль натрия и того аниона, соль кальция которого находилась в промывающем почву растворе). Практически наиболее подходящей для этого солью кальция является сернокислый кальций (гипс); это самая дешевая соль кальция, она достаточно для данной цели растворима в воде, а с другой стороны, она не сильно растворима и потому не будет без надобности особенно сильно вымываться из почвы; кроме того, ее анион (серная кислота) представляет необходимое для растений питательное вещество, а при избытке он менее вреден, чем, например, ион хлора. Таким образом, внесением в почву достаточного количества гипса и орошением почвы с удалением промывающих вод можно достигнуть полного уничтожения солонцеватости почвы. Относительно количества, потребного для этого гипса теоретически, можно указать только, что оно должно быть значительно больше, чем требуется его по расчету на содержание в почве поглощенного натрия; больше потому, что ни один катион почвенного раствора не поглощается почвой полностью даже при недостатке его в растворе для полного насыщения почвы; поглощается только часть, остальная же часть гипса как такового будет вымыта дренажными водами вместе с продуктом обмена, т. е. с сернокислым натрием. Необходимое количество гипса и способы его внесения должны быть выработаны практически для данных солонцов.

Солонцы макиевского типа (т. е. содержащие много углекислого кальция) в отношении их коренной мелиорации находятся в лучших условиях, нежели бескарбонатные солонцы, именно потому, что они содержат уже соль кальция. Мы видели выше, что в таких солонцах коренная их мелиорация происходит уже естественно, но, к сожалению, вследствие малой растворимости углекислого кальция она протекает медленно, а при естественном ходе вещей, кроме того, недостает необходимого для удаления образующейся двууглекислой соды энергичного промывания почвы. Если

усилить тем или другим путем растворимость углекислых солей кальция и магния почвы и увеличить количество воды в почве, то, как показывают наши лабораторные исследования, макиевские солонцы (даже наиболее солонцеватые) можно быстро и полно рассолонцевать, причем таким ускорением естественного процесса выигрывается не только время, оказывается, что вместе с этим значительно понижается то количество поглощающего почвенного комплекса (как органического, так и минерального), которое в этих солонцах при этом процессе разрушается и вымывается; в лабораторных условиях возможно даже полный процесс рассолонцевания произвести без уловимой имеющимися методами потери этого комплекса. Таким образом, содействуя естественно протекающему рассолонцеванию карбонатных солонцов и солонцеватых почв, мы выигрываем и в скорости перевода этих почв в культурное состояние и уменьшаем разрушение наиболее ценной части почвы.

Усилить растворимость углекислых солей кальция и магния в солонцах можно различными путями. Наиболее действительным средством будет поливка почвы разжиженными растворами какой-нибудь кислоты; самой подходящей является серная кислота: образующийся достаточно растворимый сернокислый кальций будет действовать так же, как если бы мы его вносили в сухом состоянии в виде гипса; но преимущества поливки серной кислотой в том, что тогда действие сернокислого кальция, как находящегося уже в растворе, быстрее и нет надобности в отдельной поливке; и в этом случае, конечно, поливка должна сопровождаться дренированием прошедших через почвенный слой вод.

Как известно, растворимость углесолей кальция и магния находится в прямой зависимости от содержания углекислоты в почвенном растворе; поэтому все, что повышает содержание углекислого газа в почве, ускоряет естественный процесс рассолонцевания макиевских солонцов (если, конечно, образующаяся обменной реакцией двууглекислая сода удаляется с дренажными водами); для такой цели может служить, например, усиленное внесение в почву легко разлагающихся органических веществ (навоза, торфа). В том же направлении ускорения естественного рассолонцевания должно действовать произрастание на солонцеватых почвах любой растительности, так как корни растений выделяют сравнительно много углекислоты; для этой цели нужно, конечно, выбирать растения, хорошо развивающиеся на солонцеватых почвах, например донник и сахарная свекла. Необходимо при применении подобных мер помнить, что они могут способствовать коренной мелиорации солонцеватых почв только в том случае если почва сильно увлажняется и хорошо дренируется.

Отметим, что внесение в солонцеватые почвы навоза (и других органических веществ) и без промывания почвы должно давать положительный эффект на урожай в течение некоторого времени, так как чем больше в почве образуется углекислоты, тем меньше в ней можно ожидать нормальной соды (Na_2CO_3), которая в этих условиях переходит в двууглекислую соду (NaHCO_3), значительно менее вредную, нежели первая соль. Но такое положительное действие навоза без удаления образующегося двууглекислого натрия будет лишь временным.

Каких-либо полевых данных в отношении улучшения макиевских солонцеватых почв я привести не могу, так как опыты в этом направлении частью только теперь заложены, а частью закладываются в настоящее время.

Считаю необходимым здесь отметить, что темп нашего изучения макиевских солонцеватых почв и солонцов я считаю несоответствующим прак-

тическому значению вопроса об улучшении этих почв; он слишком медлен, но не по вине Агрохимического отдела Носовской станции. Дело в том, что само Макиевское опытное поле до настоящего времени своей лабораторией не имеет, исследования производятся частью в лаборатории Носовской станции, а главным образом в заведываемой мною лабораторией почвоведения Ленинградского лесного института; особых средств на это не отпускается; Агрохимическому отделу приходится расходовать на эти исследования из своих скудных средств, а малочисленному научному персоналу отдела станции, кроме того, отвлекаться от своих непосредственных задач.

ГЛАВА IV

АГРОНОМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОСОВСКИХ ЧЕРНОЗЕМОВ

Теперь мы перейдем к изложению общих выводов по изучению Агрохимическим отделом Носовской сельскохозяйственной опытной станции тех свойств носовских черноземов, которые мы назвали агрономическими свойствами почвы. Под этим наименованием мы понимаем те свойства почвы, которые, являясь, конечно, производными основных свойств почвы, влияют непосредственно на урожайность почвы и которые учитываются величиной урожая; к таким свойствам относятся питательные, водные, воздушные и санитарные свойства почвы. Совокупность основных свойств почвы и метеорологических факторов создают в данной почве известный питательный, водный, воздушный и санитарный режимы, могущие меняться в известных границах из года в год в связи с изменениями условий погоды, вида возделываемого растения и способа обработки почвы.

Само собой разумеется, что всякое изменение, происшедшее в почве, а в том числе и изменение в любом агрономическом свойстве ее так или иначе влияет на ее основные свойства; например повышение плодородия почвы азотом, вследствие создания земледельцем лучших условий нитрификации в своей почве, ведет к уменьшению количества гумуса и валового азота в почве; более высокое плодородие почвы фосфором ведет к более быстрому обеднению почвы валовым содержанием в ней этого элемента. Итак, для каждого агрономического свойства существует тесная связь между изменением его интенсивности и изменением основных свойств почвы; но в то время как, например, изменение в валовом содержании азота в почве, благодаря усилению нитрификации и большому его использованию урожаем в течение одного вегетационного периода, никакими существующими методами определения валового содержания азота в почве учтено не может быть (малая величина изменения, неизмеримо меньшая точность методов определения валового азота), усиление нитрификации тотчас же скажется на росте растений; растение является гораздо более чувствительным реактивом на изменение многих свойств почвы, чем существующие методы исследования ее основных химических и физических свойств; поэтому мы и принуждены выделить те свойства почвы, которые непосредственно влияют на растение, изменение которых отражается на его росте и учитывается им в особую группу агрономических свойств. Одной из непосредственных и самых существенных задач агрономической химии является разработка таких лабораторных методов, которые давали бы возможность лабораторно учитывать интенсивность различных агрономических свойств почвы и лабораторно же изучать этими методами изменения их в почве, происходящие под влиянием изменений

метеорологических условий и культурных приемов; в этом направлении положено много труда агрокультурхимиками и почвоведом и уже много сделано, но до конечной цели еще очень далеко.

В сущности говоря, все изменения в основных свойствах почвы являются следствием изменений агрономических свойств ее; последние, изменяясь из года в год на очень незначительные величины, неучитываемые нашими методами определения основных свойств почвы, в конце концов дают в сумме вполне определенные величины; процесс почвообразования, жизни почвы и заключается в изменениях агрономических свойств почв; но мы, несмотря на это, думаем, что свойства эти вполне правильно пока называть именно агрономическими: во-первых, их обнаруживает растение; вопросы, связанные с любым из режимов почвы только потому и возникли и стали изучаться, что была обнаружена растением их изменимость и влияние их на рост; во-вторых, это название исторически справедливо, так как несомненно главная заслуга в обнаружении и изучении этих свойств почвы принадлежит агрономам, что вполне естественно и вытекает из самого характера этих свойств.

Конечной целью Агрохимического отдела является познание питательного, водного, воздушного и санитарного режимов в почвах района, влияния их на урожай, зависимости от тех или других метеорологических условий данного года, а затем изыскание способов изменения этих режимов в желательном направлении. Как видим, задача очень большая и сложная, сложная настолько, что нет даже возможности набросать более или менее детальную программу¹ исследования, так как каждый, даже небольшой шаг вперед открывает новые пути и подходы к разрешению поставленных задач и ставит новые вопросы, часто принуждающие совершенно изменить намеченные планы исследования.

Приступая к изучению агрономических свойств почвы (что наиболее правильно делать после исследования хотя бы главнейших основных свойств почв района), можно пойти двумя путями. Можно, составив детальную программу, приступить к систематическому их изучению; но этот путь требует большого научного персонала, хорошо оборудованного отдела, а практические результаты могут получиться не скоро. Другой путь—заняться вплотную изучением в первую очередь только тех агрономических свойств, которые, по данным полевых культур, повидимому находятся в изучаемых почвах в первом минимуме, от которых в первую очередь зависит высота получаемых урожаев и без улучшения которых нельзя в достаточной степени поднять урожай.

Именно этим путем и пошел в своих работах Агрохимический отдел Носовской станции. В отношении солонцеватых почв было ясно, что свойствами, определяющими их урожайность, являются в первую очередь их неблагоприятные санитарные свойства (присутствие соды в почвенном растворе) и что их питательный, водный и воздушный режимы имеют здесь второстепенное значение; поэтому в отношении этих почв мы и занялись исследованием их солонцеватости как первопричины всех их неблагоприятных особенностей и способов ее уничтожения. То, что уже сделано в этом направлении Агрохимическим отделом Носовской станции в связи с развитой нами теорией образования солонцов и нашим учением о их коллоидаль-химических и физических свойствах, дало возможность

¹ Я имею в виду здесь вполне обоснованную и осуществляемую программу, а не такую, которая ходом вещей меняется чуть ли не непосредственно после приступления к ее действительному осуществлению.

наметить рациональный план практического изучения методов улучшения макиевских солонцеватых почв,—это, так сказать, непосредственный практический вывод. Но, кроме того, попутно уже, изучение этих солонцов дает нам возможность поставить на очередь другой вопрос, сейчас еще чисто теоретического характера,—вопрос об особом генезисе почв Днепровского ледникового языка, о чем я говорил выше. Окончательное решение этого вопроса даст целый ряд интересных агрономических выводов.

Особенности носовских почв по данным полевого опыта. В своих исследованиях агрономических свойств носовских черноземов Агрохимический отдел исходил из данных полевых опытов станций. А полевые опыты показывали на сравнительно малое плодородие этих почв, причем малый урожай обуславливается недостатком в почве удобоусвояемых соединений азота и фосфора. Оказывается, таким образом, что при сравнительно больших запасах в почве общего азота и общего фосфора, могущих хватить на большие урожаи в течение очень многих лет, запасы эти находятся в почве в таком состоянии, что и азот и фосфор малодоступны растениям, т. е. оказывается, что носовские черноземы малодействительны, что те процессы, благодаря которым недоступные растениям соединения азота и фосфора переходят в формы доступные, в этих почвах протекают сравнительно слабо. Относительно фосфора это явление довольно обычное для черноземов, причины его еще очень мало выяснены, и вопрос этот отличается своей сложностью, он только намечен отделом для своей разработки; в первую же очередь отдел заинтересовался вопросом о малой доступности растениям азотистых соединений носовских черноземов, потому что это свойство отличает их от большинства других черноземов и исследование этого вопроса при современном состоянии оборудования лаборатории отдела и при имеющихся технических силах давало больше надежды на успех.

Второй особенностью носовских черноземов, по данным полевых опытов, является слабая отзывчивость их на азотистое и фосфорнокислосое удобрение. Опыты показывали, что, несмотря на сильную потребность почвы и в азоте и в фосфоре, урожай на полях подымаются очень слабо при внесении азотистого удобрения (чилийская селитра) и фосфорнокислого удобрения (томашлак, суперфосфат), в отдельности и совместно; таким образом, по данным полевого опыта, оказывается, что фосфаты, основное удобрение черноземных почв вообще, очень слабо действуют на носовских черноземах не только в отсутствие азотистого удобрения (что могло быть объяснено очень просто, а именно недостатком в почве усвояемого азота, т. е. тем, что в этих почвах в первом минимуме находится азот, а потому для реагирования на фосфорнокислые удобрения почва требует азотистого удобрения), но и при внесении селитры. Ввиду особого значения этого факта как исходного пункта для дальнейших исследований Агрохимический отдел заложил полевые опыты с удобрением на маленьких делянках по методу Тер-Степанова, позволяющих произвести учет опыта с гораздо большей точностью; эти опыты подтвердили данные полевого опыта, а именно они показали, что селитра почти не повышает урожая; максимальный эффект получается по 1 пуду азота на десятину, а дальнейшее повышение количества вносимого азота (одного и по фосфорнокислому удобрению), не вызывает уже увеличения урожая. Таким образом, можно считать установленным, что в носовских почвах фосфорнокислые удобрения дают малый эффект и что такое слабое действие фосфатов вызывается не недостатком усвояемого азота, а какой-то другой причиной и, повидимому, той же особенностью этих почв, вслед-

ствие которой они мало отзываются и на азотистое удобрение и на совместное удобрение азотом и фосфором.

Точно установить этот факт важно было Агрохимическому отделу и с другой стороны. Дело в том, что полевые опыты станции показали, что включение в севооборот клевера (клевер в пару, севооборот с клеверным паром) делает почву, раньше слабо отзывчивую на фосфаты (севооборот с майским паром), значительно сильнее реагирующей на фосфаты; в севооборотах с клеверным паром фосфаты заметно больше повышали урожай и озимой ржи и овса, нежели в севооборотах с майским паром. Как известно, клевер благодаря усвоению свободного азота живущими на его корнях клубеньковыми бактериями, использует не только минеральный азот почвы, но и свободный азот почвенного воздуха; клевер поэтому не только не истощает почву азотом, но при известных условиях может оставлять почву поля, более богатую азотом. Таким образом, пока не было твердо установлено, что фосфаты на носовских почвах слабо повышают урожай не только в отсутствие азотистого удобрения, но и по селитре, до тех пор указанное влияние культуры клевера на действие фосфатов можно было объяснить обогащением почвы азотом благодаря культуре клевера и действие клевера на носовских почвах сводить к действию его как обычного бобового растения¹.

Против последнего объяснения говорит, между прочим, и тот факт, что другие бобовые, с которыми велись подобные же опыты на Носовской станции (вика, эспарцет), такого благоприятного действия на использование злаками фосфорнокислого удобрения не оказывали.

Итак, данные полевых опытов станции поставили перед Агрохимическим отделом выяснить ближайшие причины, почему носовские черноземы:

- 1) обладают малой подвижностью почвенных азотистых соединений;
- 2) слабо реагируют на вносимое в них фосфорнокислое удобрение даже в том случае, когда совместно с фосфором почвы удобряются селитрой;
- 3) значительно лучше используют фосфаты после возделывания на них клевера.

В целях выяснения причин этих особенностей носовских почв Агрохимический отдел произвел и продолжает производить исследование этих почв различными методами и в различных направлениях; почвы изучались вегетационным методом, методом водных культур (выращивание растений в водных вытяжках из почвы); изучался их питательный режим (периодическое исследование содержания в почвах аммиака и нитратов), водный режим (периодическое определение влажности почвы, водопроницаемость) и воздушный режим (капиллярная и некапиллярная влагоемкость).

¹ Обыкновенно считают вполне установленным, что бобовые растения благодаря усвоению свободного азота, оставляют почву обогащенной азотом. На самом же деле это положение нельзя считать доказанным точными исследованиями. Недавно появилась работа J. E. Greaves'a, химика и бактериолога опытной станции штата Юта (Соединенные Штаты Северной Америки), в которой доказывается на основании данных Ротамстедской опытной станции, опытной станции штата Иллинойс и опытной станции штата Юта, что бобовые, утилизируя атмосферный азот, используют одновременно и почвенный азот даже в случае почв, очень бедных азотом, а в результате тот азот, который они оставляют своими корневыми остатками, не покрывает всего количества азота, взятого из почвы; кроме того, по его данным, бобовые (люцерна) усиливают нитрификацию почвенного азота (т. е. способствуют его расходованию); в конечном итоге в среднем из большего числа исследованных почв штата Юта оказалось, что многолетнее возделывание люцерны даже обедняет почву общим азотом, по сравнению с многолетней культурой пшеницы (см. J. E. Greaves. Does crop rotation maintain the fertility of the soils? The scient. Monthly, may, 1918, стр. 458).

Остановлюсь прежде всего на показаниях, полученных вегетационным методом.

Показания вегетационного метода. Вегетационные опыты подтвердили результаты полевых опытов в отношении плодородия почвы азотом: оказалось, что и в вегетационных сосудах носовские черноземы обладают очень малым количеством доступного азота;

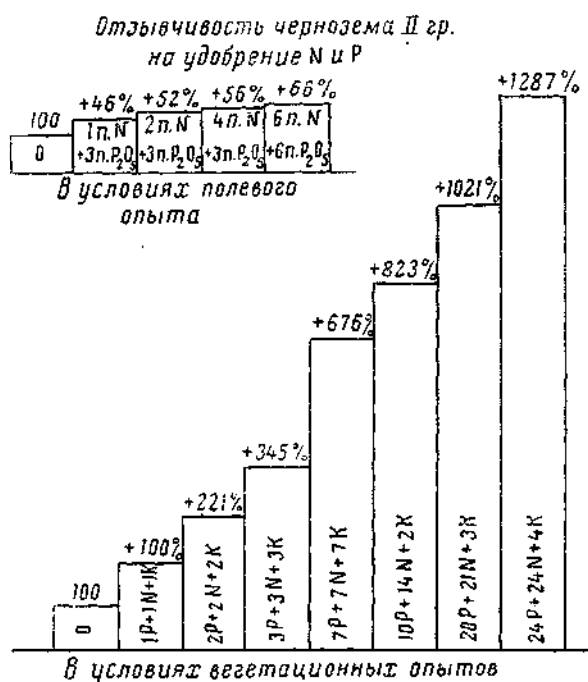


Рис. 4. На почвах Носовской сельскохозяйственной опытной станции в поле—удобрение азотом и фосфором очень мало повышает урожай, а в вегетационных сосудах удобрением можно увеличить урожай в 14 раз.

таким образом, и в условиях вегетационного метода процессы минерализации органического азота в этих почвах идут очень слабо; отметим, что в сосудах, не получивших никаких удобрений, урожай зерна овса, если их перечислить по площади на десятину, оказались даже ниже, чем на полях, между тем, как известно, обычно урожай в сосудах по перечислению на десятину оказываются значительно выше, чем в полевой обстановке, и именно потому, что в сосудах всегда создаются более благоприятные условия для перехода питательных веществ почвы в усвояемое растениями состояние (лучшие условия влажности и проветривания), нежели в почве поля. Очевидно, в рассматриваемом здесь случае сыграла свою роль глубина почвы, используемой корнями овса: овес в сосудах мог пользоваться азотом лишь из слоя почвы глубиной 20 см, тогда как в поле он использует азот всего гумусового горизонта почвы, простирающегося в носовских черноземах до метра и больше.

Но если в отношении органических азотистых соединений в носовских черноземах вегетационные опыты показали согласно с полевыми на малую

их подвижность, то в отношении отзывчивости этих почв на азотистые и фосфорнокислые удобрения показания этих двух методов совершенно не сошлись. Мы видели, что в условиях полевой обстановки на почвах севооборотов без клевера и азотистые и фосфорнокислые удобрения, и то и другое совместно, поднимают урожай очень слабо, а на почвах севооборотов с клевером фосфаты действуют значительно сильнее; в условиях же вегетационного опыта как на тех, так и на других почвах удобрения действовали очень сильно; полное удобрение повышало урожай зерна до 60 и более граммов на сосуд, при урожае его без удобрения всего около 5 г, причем почвы, бывшие и не бывшие под клевером, в этом отношении проявляли себя в общем одинаково (см. рис. 4).

Из сопоставления указанных фактов приходится сделать вывод, что те особенности носовских почв, которые отмечаются полевыми опытами (слабое реагирование на удобрение и усиление этой реакции под влиянием культуры клевера), исчезают при выращивании растений в сосудах. Это указание явилось чрезвычайно существенным для дальнейшего хода выяснения причин, особых свойств носовских почв, так как нам известно, чем в главном отличаются условия вегетационного опыта от условий полевого опыта; мы знаем, что в сосуде растения поставлены в лучшие условия влажности и проветривания почвы, нежели в полевой обстановке. Таким образом, результаты вегетационного опыта позволили сделать такое заключение, что слабое реагирование носовских черноземов на минеральные удобрения является результатом присущего им водного или воздушного режима; иными словами, вегетационный опыт показал нам, что *находящаяся в этих почвах несомненно в первом минимуме потребность в азоте и фосфоре удовлетворяется в полевой обстановке уже очень небольшими количествами азотистого и фосфорнокислого удобрения, давая при этом соответственно малое повышение урожая, а после этого в первом минимуме оказываются в этих почвах или водные свойства, или их воздушный режим, или то и другое вместе, и что, таким образом, причину слабой реакции носовских почв на минеральные удобрения надо искать в особенностях их водного и воздушного режимов.*

Показания лабораторных полевых деленок. Заложенные по этому вопросу Агрохимическим отделом специальные полевые опыты на маленьких деланках (по способу Тер-Степанова) со своей стороны подтвердили это заключение и дали возможность, кроме того, еще ближе подойти к причинам явления. В этих опытах были заложены деланки с различной комбинацией удобрений с искусственной поливкой и без поливки; в результате оказалось, что *поливка не повышает урожай, т. е. в условиях полевого опыта после удовлетворения небольшой потребности почвы в азоте и фосфоре не недостаток воды является причиной дальнейшего нереагирования почвы на удобрение, не вода находится тогда в почве в первом минимуме.*

Кроме деланок с поливкой, в этих опытах были заложены деланки с улучшенным воздушным режимом; так как опыт носил только предварительный, ориентировочный характер, то во избежание непроизводительного расхода очень скудных средств отдела, улучшение воздушного режима было сделано очень примитивно, а именно на двух параллельных сторонах деланки буром делались 2 скважины на глубину до 50 см и в эти скважины вставлялись стеклянные трубки. Такие деланки с повышенным доступом воздуха в почву были поставлены с различной комбинацией удобрений, с поливкой и без поливки. И вот, несмотря на несомненно слабое улучшение аэрации почвы при таком примитивном устройстве,

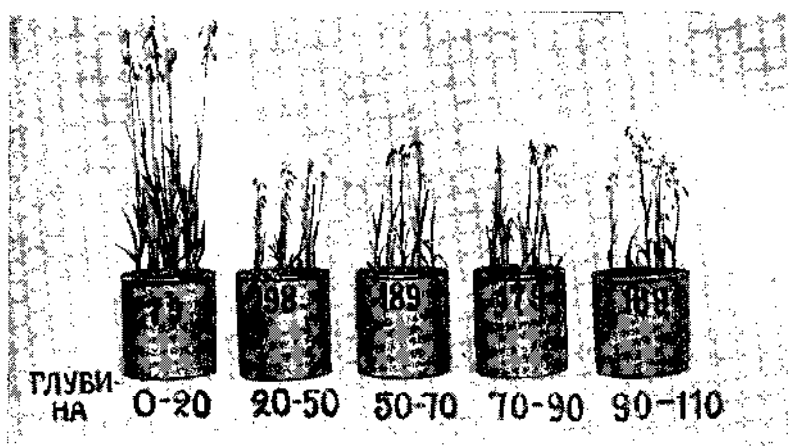


Рис. 5. В севооборотах с майским паром—в почвах опытной станции подпахотные слои малопродуктивны. Особенно неблагоприятен слой между 20—50 сантиметрами.

результат получился совершенно определенный: на делянках с трубками урожай всюду был значительно выше, чем на делянках без трубок; в присутствии трубок и поливка производила положительный эффект. Таким образом, эти опыты определенно показали, что в носовских почвах при обычных в этой местности метеорологических условиях (подчеркиваю это как очень важное обстоятельство, на котором в дальнейшем остановлюсь подробнее) имеется очень неблагоприятный воздушный режим; почвы эти плохо проветриваются, и это обстоятельство и является основной причиной сравнительно низких урожаев на этих почвах и слабой реакции их при этом на минеральные удобрения, т. е. в первом минимуме в этих почвах находится воздушный их режим; нужно улучшить его, чтобы вызвать действие удобрения; внесенные в почву азотистые и фосфорнокислые удобрения будут оставаться в почве почти неиспользованными, если не повысить аэрацию почвы, так как дальнейшее развитие растений останавливается вследствие плохой аэрации почвы, а не недостатка в питательных веществах.

Особые свойства подпахотного горизонта носовских почв. Особенно неблагоприятным воздушным режимом должен обладать в носовских почвах подпахотный горизонт, именно слой почвы примерно 20—50 см от поверхности почвы; вышележащий слой, конечно, находится в лучших условиях аэрации, потому что он ближе к атмосферному воздуху и разрыхляется обработкой почвы; вышележащие слои почвы, во-первых, имеют уже меньшее значение в жизни растений, а во-вторых, плохие условия аэрации в них должны отражаться менее вредно на жизни растений, нежели в подпахотном слое; дело в том, что одно из существенных неблагоприятных следствий плохой аэрации почвы то, что в этих условиях почвенные процессы имеют характер восстановительных, а не окислительных, протекающих при достаточном доступе воздуха. Очень многие недостаточно окисленные соединения (низкие степени окисления) оказываются ядовитыми для растений (например, закисные соединения железа); особенно много разнообразных вредных веществ может образовываться в почве при разложении органических

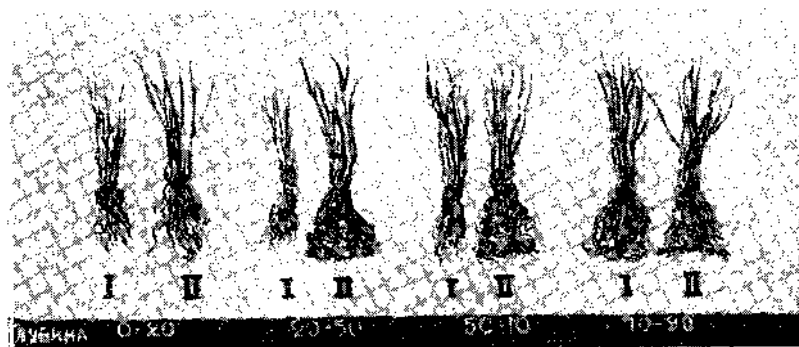


Рис. 6. Водные вытяжки из верхних слоев почвы севооборота с майским паром (I) неблагоприятны для развития овса. После кипячения вытяжек развитие растений улучшается (II).

веществ в условиях недостатка кислорода. В слое носовской почвы ниже 50 см образование таких вредных растений соединений ограничено малым содержанием в нем гумуса и отмирающих растительных остатков (малое содержание там корней), а кроме того, в этих нижних слоях содержатся уже углесолы кальция и магния, которые обладают способностью понижать ядовитость вредных растений соединений.

Исследования непосредственно показывают, что именно слой носовских почв, глубиной от поверхности 20 см и примерно до 50 см, обладает особенно неблагоприятными свойствами для роста растений (см. рис. 5). Так, на это указывают вегетационные опыты с различными почвенными горизонтами носовских почв: на этом слое урожай и без удобрения и по различным комбинациям удобрений, а также по полному удобрению получаются несколько ниже, нежели на других горизонтах; предполагать, что в сосудах почва этого горизонта находится в условиях плохого проветривания, конечно, нельзя; в вегетационных сосудах условия аэрации очень хорошие; приходится допустить, что при этих опытах в слое 20—50 см сохраняются еще те вредные продукты, которые образовывались в этом слое, когда он находился на своем месте в почве и когда там была недостаточная аэрация; точнее сказать, в сосудах с этим слоем было больше ядовитых веществ, чем в сосудах с другими слоями, так как мы, в сущности, не можем утверждать, что другие слои почвы их не содержат; опыт даст лишь сравнительные показания.

На существование в носовских почвах каких-то вредных соединений указывают также опыты выращивания овса в водных вытяжках из различных горизонтов этих почв; вытяжки определенно задерживали развитие растений, и это задерживающее влияние понижалось предварительным кипячением вытяжки, что указывает на переход в водную вытяжку каких-то ядовитых веществ, разрушающихся кипячением (см. рис. 6).

ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРЫ КЛЕВЕРА НА ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ НОСОВСКИХ ПОЧВ

Введение в севооборот клевера, как мы указывали выше, повышает использование почвами Носовской станции минеральных удобрений. Раз такому использованию на почвах полей без клевера препятствовала пониженная аэрация, то отсюда мы должны сделать вывод, что *культура*

клевера улучшает воздушный режим носовских почв. Исследования, произведенные в этом направлении, действительно подтверждают это.

Подпахотный слой носовских почв с полей клеверного севооборота. Укажу прежде всего, что вегетационные опыты на различных горизонтах почвы, бывшей под клевером, не дают каких-либо указаний на неблагоприятные особенности подпахотного слоя у этой почвы; те плохие качества этого слоя, которые определенно проявлялись на почве, не бывшей под клевером, исчезали после возделывания на ней клевера (см. рис. 7). То же показывают водные вытяжки: водные культуры на этих вытяжках из почвы, бывшей под клевером, не обнаружили вредных веществ.

Но, кроме этих косвенных указаний, Агрохимический отдел получил данные, непосредственно показывающие на улучшение воздушного режима носовских почв культурой клевера.

Капиллярная и некапиллярная порозность и водопроницаемость почв майского и клеверного севооборотов. В почве можно различать промежутки или поры двойного рода: узкие, малого диаметра—капиллярные поры и более широкие—некапиллярные пространства. Если колонку почвы высотой, например, 10 см опустить нижним концом в воду, то вода будет подниматься по капиллярным порам; насытив таким образом такую колонку водой, можно определить затем в ней высушиванием количество воды; зная объем взятой колонки почвы и количество капиллярной воды, заполняющей все капиллярные поры, будем знать процентное (объемное) содержание в почве капиллярных пространств (капиллярная порозность почвы). С другой стороны, зная объемный вес почвы и удельный ее вес, будем знать общее содержание в нашей почве (в объемных процентах) всех пор,

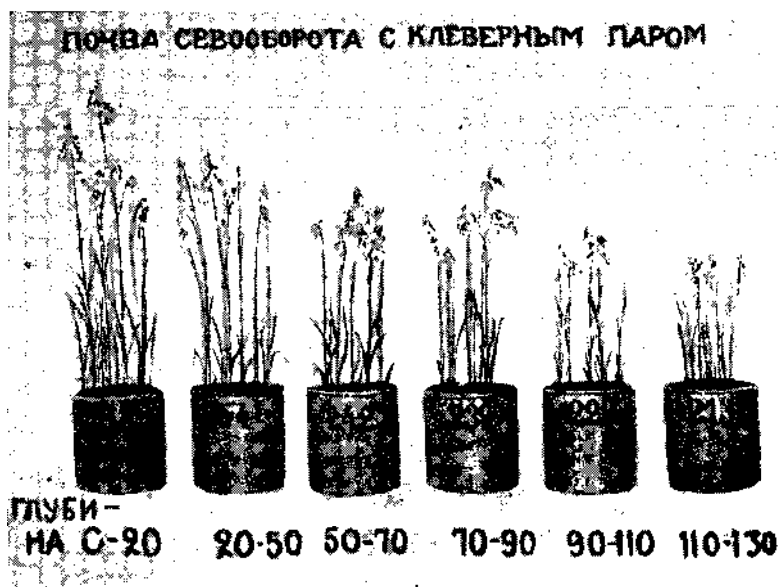


Рис. 7. В севооборотах с клеверным паром и нижние слои почвы Носовской сельскохозяйственной опытной станции сравнительно более урожайны, чем в севооборотах с майским паром, а подпахотный слой 20—50 см мало отличается по урожайности от пахотного.

как капиллярных, так и более крупных, т. е. общую порозность. Разность между общей порозностью и капиллярной порозностью даст нам процент (объемный) некапиллярных пор в почве, т. е. некапиллярную ее порозность.

Из самого определения понятия капиллярной порозности следует, что капиллярные поры могут быть при известных условиях влажности почвы сплошь заполнены водой; в таких случаях капиллярная порозность не может играть какой-либо роли в проветривании почвы. В почвах, обладающих только капиллярными порами в дождливые периоды, в периоды таяния снега, а если грунтовые воды стоят близко от поверхности, то в бездождные периоды, доступ воздуха в почву будет прекращен, почвенный воздух не будет проветриваться, а, значит, воздушный режим почвы будет неудовлетворителен. В таких почвах даже при сравнительно малой их влажности воздушный режим будет неблагоприятным для растительности, так как капилляры почвенных пространств не представляют из себя трубок одинакового диаметра на всем их протяжении, а в сужениях таких трубок попавшая туда вода может задерживаться очень долго и закупоривать собой такую трубку.

Иное имеет место в некапиллярных пространствах; вода, попадающая туда сверху, не будет удерживаться почвой, а будет легко уходить вниз; водой снизу они не могут заполниться, потому что диаметр их слишком велик. Поэтому проветривание почвы происходит по преимуществу по некапиллярным порам; чем больше их в почве, тем совершеннее будет происходить аэрация почвы, тем лучше будет воздушный режим почвы. А так как мерилom количества некапиллярных пространств в почве служит некапиллярная порозность почвы, то величина ее, определенная в естественном состоянии почвы, может служить мерилom степени проветриваемости почвы и будет указывать на состояние ее воздушного режима.

Определение некапиллярной порозности в носовских почвах показало, что таковой в почвах севооборотов без клевера в сущности нет; получались величины, близкие к нулю; в почве же клеверного севооборота некапиллярная порозность оказалась заметно выше и выражалась уже вполне реальной величиной. Непосредственный вывод из этих определений тот, что *воздушный режим в носовских почвах неудовлетворителен и что он улучшается после культуры клевера.*

Совершенно то же показывают данные определения водопроницаемости почв на полях станции: на почвах клеверного севооборота она оказалась в два с лишним раза больше, чем в почвах майского севооборота; а так как большая водопроницаемость указывает на более крупную порозность, то вывод опять тот же: культура клевера улучшает воздушный режим носовских почв.

Минерализация органического азота в почвах майского и клеверного севооборотов. Мы отмечали выше слабую подвижность органических соединений азота в носовских почвах; превращение этих соединений азота в минеральные, в аммиак и нитраты, т. е. микробиологические процессы аммонизации и нитрификации, в этих почвах идут очень слабо; в этом направлении в распоряжении Агрохимического отдела имеется уже очень большой систематический цифровой материал; все результаты определенно показывают, что процессы минерализации азота задерживаются какими-то неблагоприятными факторами. На один такой неблагоприятный фактор мы уже указывали, когда говорили о вероятном происхождении носовских почв из некогда бывших солонцеватых почв путем их рассолонце-

вания; при этом, как мы видели, должна была теряться вымыванием часть азотистых органических соединений почвы; поэтому носовские почвы являются вообще обедненными легкоминерализующимися соединениями азота; это обстоятельство, конечно, отражается на количествах образующихся в почвах полей станции аммиака и нитратов. Но это обстоятельство является лишь одной из причин слабого хода нитрификации в носовских черноземах. Сам ход нитрификации в зависимости от времени года, исчезновение нитратов под озимыми в апреле и мае—все это указывает на то, что во время высокой влажности почвы, когда особенно сказываются в этих почвах неблагоприятные условия воздушного режима, микроорганизмы почвы не могут минерализовывать и тот доступный им органический азот почвы, который имеется в этих почвах (а во влажные периоды года доступного органического азота в почве должно быть больше, чем в сухое время года); таким образом, можно определенно говорить, что слабая минерализация органического азота в носовских почвах также указывает на неблагоприятный воздушный режим этих почв: процессы минерализации органических соединений азота, как процессы окислительные и совершающиеся в почве под влиянием аэробных микроорганизмов, требуют для успешного протекания хорошего проветривания почвы.

Культура клевера и в отношении процессов нитрификации оказывает положительное действие на носовские черноземы; как показывают исследования, процессы эти в почве после клевера более энергичны и более устойчивы; конечно, известную роль играют здесь корни клевера, остающиеся в почве после его уборки и дающие легкодоступный и хорошо распределенный в почве материал для минерализации азота; но этим одним объяснить все влияние культуры клевера на ход нитрификации очень затруднительно; имеется ряд указаний на то, что при этом повышается нитрификация органического азота самой почвы, что опять-таки подтверждает способность клевера улучшать воздушный режим носовских черноземов.

Теперь нам надо перейти к выяснению ближайших причин неудовлетворительного воздушного режима в носовских черноземах; в дальнейшем я постараюсь показать, какие основные свойства носовской почвы и каким именно образом создают неблагоприятные условия их проветривания. Тогда станет понятным улучшающее влияние клевера и другие явления, наблюдаемые на этих почвах.

ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА В НОСОВСКИХ ПОЧВАХ

Воздушный режим почвы находится в зависимости от многих условий: климата, высоты залегания грунтовых вод, рельефа и свойств почвы и материнской породы. Климат (атмосферные осадки и температура) может быть такой, что избыточное увлажнение почвы будет иметь место независимо от свойств почвы и материнской породы; значит, и плохой воздушный режим почвы не будет зависеть от ее свойств; то же можно сказать и про такие факторы заболачивания, как рельеф, высота грунтовых вод и водонепроницаемость материнской породы; когда эти факторы будут резко выражены в направлении заболачиваемости, то свойства самой почвы будут играть ничтожную роль и проветриваемость почвы будет мало зависеть от этих свойств. Иное дело для таких почв, как носовские; степень увлажнения почвы здесь умеренная, грунтовые воды залегают достаточно низко и вызывать заболачивание не могут; отрица-

тельные элементы рельефа (и микрорельефа) выражены слабо; материнская порода—легкосуглинистый лесс, достаточно водопроницаем, особенно если принять во внимание богатства его карбонатами щелочноземельных металлов. Если в этих почвах может быть недостаточное проветривание, то это значит, что при существующих там метеорологических условиях свойства самой почвы таковы, при которых в течение всего вегетационного периода или же в некоторые части его происходит в той или другой степени закулорка почвенных пор водой и затрудненность в обмене газами почвы и атмосферы. Несомненно, такие именно условия и имеются в носовских почвах и вызываются они механическим составом этих почв.

Роль отдельных механических фракций в водном и воздушном режимах почвы. В отношении водного и воздушного режимов можно различать три обширные механические фракции в мелкоземистой части почвы (часть почвы, частицы которой мельче 1 мм; частиц крупнее 1 мм, т. е. скелета, носовские почвы не содержат):

- 1) фракция песка с частицами в диаметре до 0,01 мм;
- 2) фракция пыли с частицами в диаметре от 0,01 до 0,0001 мм (или 0,1 микрона);
- 3) коллоидальная фракция с частицами в диаметре меньше 0,0001 мм (или 0,1 микрона).

Фракция песка благодаря крупизне своих частиц обладает большой водопроницающей способностью; капиллярное поднятие воды у более мелкой части этой фракции быстрое и достаточно высокое; фракция не способна давать агрегаты своих частиц, она не образует структурных элементов, так как частицы такой крупизны не обладают клеящей, цементирующей способностью. Если бы носовские почвы состояли только из этой фракции, то, несмотря на отсутствие у них тогда структурности, они не могли бы страдать от слабого проветривания; воздушный режим в этом случае был бы очень хороший. Но вместе с тем почвы страдали бы от засухи, так как способность накапливать и сохранять воду у таких почв была бы слабая: кроме того, они были бы бедны питательными элементами.

Фракция пыли также не способна, вследствие сравнительной крупизны ее частичек и отсутствия поэтому у нее клеящей способности, давать агрегаты частичек; она так же бесструктурна, как и фракция песка: но частицы ее, прилегая друг к другу, образуют вследствие их малой величины очень узкие капиллярные ходы; вследствие этого водопроницаемость фракции пыли очень мала; почва, состоящая только из такой фракции, заплывала бы, заболачивалась бы после всякого более или менее обильного дождя; такая почва обладала бы очень плохим воздушным режимом. Что касается водоудерживающей и водонакопляющей способности, то она у такой почвы была бы выше, нежели у почвы, состоящей только из песчаной фракции. Богатство питательными элементами у этой почвы также было бы выше. Но как та, так и другая почва отличалась бы малой реакционной способностью, малой деятельностью и малой приспособляемостью к изменяющимся окружающим условиям.

Эти свойства появляются у почвы лишь благодаря присутствию в ней последней из указанных выше фракций, а именно коллоидальной фракции. Частички ее настолько малы, способность набухать настолько велика, и сила, удерживающая воду при набухании, так громадна, что уже тонкий слой этой фракции, набухший водой, должен быть непреодолимым препятствием для продвижения воды как сверху вниз, так и снизу вверх;

само собой разумеется, что если бы почва состояла только из этой коллоидальной фракции и если бы к тому же частицы этой фракции были в раздельном друг от друга состоянии, то такая почва обладала бы и водным и воздушным режимами, совершенно непригодными для возделывания растений. Но для того чтобы почва обладала такими плохими физическими свойствами, нет даже надобности, чтобы она состояла целиком из свободных коллоидальных частиц; примеси их уже в несколько процентов к остальным фракциям достаточно, чтобы заметно ухудшить водные и воздушные свойства почвы. Выше мы подробно рассмотрели такой случай, — это почвы солонцеватые и солонцы, в которых коллоидальная часть почвы (почвенный поглощающий комплекс) содержит поглощенный натрий; тогда именно коллоидальные частички почвы (в большем или меньшем количестве — в зависимости от того, какую часть его поглощенных катионов составляет натрий) будут находиться во влажной почве в свободном состоянии; их клеящая способность (которая у этой фракции выражена очень сильно) будет проявляться только *с сухом состоянии* и выражаться тогда в образовании очень прочной и очень крупной структуры. Если же в коллоидальной фракции поглощенного натрия нет (а такова эта часть в несолонцеватых носовских черноземах), то клеящая ее способность проявляется прежде всего в образовании из отдельных коллоидальных частиц очень прочных, водоустойчивых микроскопических агрегатов, т. е. в образовании микроструктуры. Таким образом, коллоидальная фракция почвы, в противоположность песчаной ее фракции и фракции пыли (фракций бесструктурных), является структурной фракцией; присутствию ее почва обязана своей структурностью и от величины и свойств этой фракции (чем и в какой мере она насыщена) зависит величина и прочность структуры; остальные две фракции почвы играют в этом отношении подчиненную, пассивную роль.

Механический состав и обуславливаемая им структурность носовских почв. Обратимся теперь к механическому составу носовских почв. В них в среднем около 6% фракции песка, около 90% фракции пыли и только около 3% коллоидальной фракции. Мы видим, что в этих почвах имеется громадное преобладание именно той фракции, которая создает в почве такие физические свойства, при которых воздушный режим может быть очень неблагоприятным. Песчаная фракция очень мала и не может поэтому в достаточной мере разбавить собою фракцию пыли и создать некапиллярные промежутки; коллоидальная фракция еще меньше и поэтому, хотя она и не содержит поглощенного натрия, в силу чего могла бы дать прочные микроструктурные элементы, которые, в свою очередь, склеили бы частички пыли в более крупные макроструктурные элементы, создав этим некапиллярные пространства, она не в состоянии в достаточной степени нейтрализовать вредное свойство фракции пыли в отношении воздушного режима — ее бесструктурность. *Почвы носовские, вследствие очень сильного преобладания в них неспособной к структурности фракции пыли и очень малого содержания в них коллоидальной вещества, должны быть почти бесструктурными почвами.* И действительно, почвенные разрезы показывают отсутствие на стенке разреза какой-либо структуры; стенка имеет сплошной, однородный слитой вид. При таком характере сложения почва состоит почти целиком из отдельных самостоятельных механических элементов пыли, среди массы которой местами вкраплены отдельные элементы песчаной фракции и микроструктурные элементы коллоидальной фракции; поэтому почти вся масса почвенных пор представлена капиллярами, а некапиллярной порозности

практически не имеется. Отсюда, как мы видели выше, и вытекают особенности воздушного режима носовских почв: во влажные периоды года (осенью и весной), а также после отдельных обильных дождей выпавшая вода, проникая с поверхности в капиллярные пространства почвы, закупоривает их и прекращает воздушный обмен между почвой и атмосферой, дыхание корневой системы затрудняется, деятельность аэробных микроорганизмов (в том числе и минерализаторов азота) ослабевает и начинают развиваться анаэробные, восстановительные процессы с образованием ядовитых для растений главным образом, повидимому, органических веществ. Эти явления должны происходить при этом во всей почвенной толще, но в пахотном горизонте они ослаблены близостью почвы к атмосферному воздуху и действием механической обработки этого слоя; в малогумусных и богатых углекислым кальцием слоях они также не могут так резко выражаться вследствие меньшего потребления здесь кислорода микроорганизмами, количество которых в этих слоях значительно ниже, нежели в более поверхностных, и вследствие антитоксического влияния углесоей на ядовитость для растений восстановленных продуктов и свертывающего действия этих солей на мелкие почвенные частицы; вследствие этого свертывающего действия карбонатные горизонты носовских почв более богаты структурными отдельностями, нежели более верхние бескарбонатные горизонты, поэтому в них должно быть больше некапиллярных пространств, а значит, и больший запас воздуха. Промежуточный же слой (подпахотный) между пахотным и карбонатным будет, очевидно, находиться в отношении воздушного режима и явлений, связанных с этим режимом, в наиболее неблагоприятном положении.

Кроме того, в носовских почвах имеется еще одно обстоятельство, ухудшающее воздушный режим именно бескарбонатных, поверхностных слоев почвы. Имею в виду, так называемую, ненасыщенность почвы основаниями.

Явление ненасыщенности основаниями поглощающего комплекса в носовских почвах. Ввиду того что явление ненасыщенности почвы основаниями, как мы увидим ниже, играет некоторую агрономическую роль на почвах Носовской станции, а несколько севернее носовских, но в пределах еще Днепровского ледникового языка роль эта очень существенна, я несколько остановлюсь на выяснении этого явления.

Когда почвы или верхние их горизонты процессами вымывания практически¹ лишены простых солей (см. стр. 381), тогда почвенная влага начинает «разлагать» непростые соли почвы, т. е. ее силикаты, алюмосиликаты и гуматы. Процесс разложения в первой своей стадии состоит в том, что свободный водородный ион воды постепенно, очень медленно начинает вытеснять те основания, которые входят в непростые соли почвы; происходит реакция взаимного обмена между свободным водородным ионом воды и основаниями твердых солей почвы, т. е. то явление, которое носит название поглотительной способности почвы в тесном смысле слова и о котором мы выше подробно говорили в отношении поглощения почвой из растворов катионов солей; теперь это явление мы обобщаем: почвой могут поглощаться со взаимным обменом не только основания солей, т. е. металлические катионы, но и свободный водородный катион воды. Последняя

¹ Во избежание недоразумения должен сделать пояснение. Всякая почва, пока она остается почвой, т. е. на ней может произрастать растительность, содержит простые соли, иначе она была бы бесплодной; но содержание этих солей (и концентрация их в почвенном растворе) может быть чрезвычайно низким; такую почву мы и называем практически лишенной простых солей.

реакция отличается от реакции поглощения металлических катионов (например, натрия хлористого натрия) лишь количественно: в то время как натрия иона в почвенном растворе может быть много (например, в солончаках), в зависимости от степени засоления почвы, а иона кальция в почвах, содержащих углекислый кальций, до 0,5 г на литр почвенного раствора, в чистой воде свободного водородного иона имеется всего одна десятиллионная грамма; в воде, содержащей угольную кислоту, свободного водородного иона будет больше, но во всяком случае значительно меньше, чем, например, иона кальция в воде, насыщенной двууглекислым кальцием.

Особенности процесса вытеснения водородным ионом оснований из гуматов, силикатов и алюмосиликатов почвы таковы.

1. Процесс этот совершается между свободным водородным ионом почвенного раствора и твердыми частичками означенных выше соединений; поэтому в заметной степени он может совершаться только в коллоидально распыленной части почвы, т. е. в почвенном поглощающем комплексе.

2. Свободного водородного иона в почвенной влаге ничтожные количества; поэтому вступлению водородного иона в поглощающий почвенный комплекс на место находящихся там поглощенных оснований препятствует (по закону действия масс) уже самая небольшая засоленность почвы растворимыми солями и содержание в почве углесолей кальция и магния; если мы допустим, что водородный ион почвенной влаги при этих условиях вступит в поглощающий почвенный комплекс, то он оттуда тотчас же должен быть вытеснен катионами солей, находящихся в почвенном растворе.

3. Поглощающий почвенный комплекс, содержащий поглощенный водород, значительно менее устойчив в отношении действия воды, нежели тот же комплекс, содержащий только поглощенные кальций и магний; он становится значительно более доступным действию почвенных вод, потому что замена в нем поглощенного кальция водородом понижает его клеящую способность; во влажном состоянии его микроструктурные элементы распыляются до свободных коллоидальных частиц, поверхность воздействия на него воды увеличивается, а вместе с этим увеличивается и результат такого действия, т. е. разложение и растворение. Поэтому в черноземах, в которых совершается вступление водородного иона в их поглощающий комплекс, происходит его разрушение с вымыванием из почвы получающихся продуктов; чернозем постепенно обедняется гумусом и коллоидально раздробленной алюмосиликатной частью, — чернозем, как говорится, деградируется.

Носовские черноземы находятся теперь в переходной стадии между почвами, в поглощающий комплекс которых водородный ион не может вступать, так как концентрация катионов солей в их почвенных растворах слишком еще высока, и почвами, где эта концентрация во всем почвенном разрезе уже настолько низка, что вхождение водородного иона в поглощающий комплекс совершается, и ион этот является постоянной составной частью поглощенных катионов поглощающего комплекса. Носовские черноземы представляют, таким образом, переход от почв, насыщенных основаниями (т. е. не содержащих поглощенного водорода), к почвам, ненасыщенным основаниями (т. е. содержащим поглощенный водород).

Такое промежуточное положение носовских черноземов обуславливается тем, что верхние их горизонты (примерно толща от 0 до 60 см) уже очень сильно обеднены простыми солями, и легкорастворимыми и трудно-

растворимыми,—они подготовлены, так сказать, к переходу в ненасыщенное состояние; в них самих нет ничего, чтобы могло воспрепятствовать этому процессу. Но дело в том, что нижние почвенные горизонты (от 60 см и ниже) содержат углесоли кальция и магния, растворы которых при высыхании почвы поднимаются капиллярно в верхние горизонты и препятствуют образованию ненасыщенности; такое влияние углесолей носовских почв на верхние горизонты этих почв может иметь место лишь в те периоды, когда движение почвенной влаги совершается снизу вверх; в периоды же, когда это движение идет в обратном направлении—сверху вниз, когда почва промывается атмосферными осадками (дождливые периоды, период таяния снега), тогда ненасыщенность появляется в верхних горизонтах носовских черноземов; но так как сменяющие эти периоды засушливые времена года уничтожают образующуюся ненасыщенность, то последняя не может накапливаться в почве. *Поэтому верхние горизонты носовских черноземов периодически бывают то насыщенными основаниями (сухое время года), то ненасыщенными основаниями (влажное время года), причем степень ненасыщенности (количество поглощенного водорода) выражается очень малой величиной.*

В то время как носовские почвы содержат поглощенный водород, их поглощающий комплекс усиленно разлагается и вымывается водой и часть его (величина ее зависит от количества поглощенного водорода) находится в почве не в виде агрегатов, а в виде отдельных, несклеенных между собою коллоидальных частиц. Как указывалось, ненасыщенное состояние совпадает с периодами сильного увлажнения почвы, т. е. как раз с теми периодами, когда в носовских почвах создаются условия плохого проветривания; ненасыщенность, способствуя распылению агрегатов поглощающего комплекса, очевидно, еще дальше ухудшает аэрацию почвы: свободные коллоидальные частицы почвы, попадая в капиллярные поры, еще больше суживают их диаметр; для значительного эффекта в этом направлении вовсе нет надобности, чтобы свободных коллоидальных частиц было много в почве, так как достаточно уменьшения диаметра капиллярного хода в одном каком-либо месте вследствие застревания там нескольких коллоидальных частичек, чтобы значительно замедлить его водопроницающую способность.

Улучшение агрономических свойств носовских почв. Все вышеизложенное заставляет нас прийти к тому заключению, что и малая урожайность и слабое реагирование носовских черноземов на удобрения вызывается в первую очередь их неблагоприятным для деятельности почвы и аэробных микроорганизмов и для роста растений воздушным режимом, который, в свою очередь, является результатом их бесструктурности и частичной ненасыщенности их поглощающего комплекса основаниями в критические в отношении этого режима периоды жизни почвы.

Все культурные приемы, улучшающие воздушный режим этих почв, должны повышать их урожайность и отзывчивость на удобрение. Улучшение же воздушного режима при данных метеорологических условиях может быть достигнуто приемами, создающими структуру в этих почвах. С этой точки зрения понятно лучшее действие на этих почвах навоза, нежели минеральных удобрений: бесструктурность в носовских почвах является следствием, главным образом, относительной бедности их коллоидальными веществами; навоз увеличивает их количество в почве: кроме того, вместе с ним вносятся в почву грубоизмельченные вещества; таким образом, он улучшает воздушный режим. Но само собой понятно,

что улучшение это не может быть достаточно резким, так как при 2 400 пудах на десятину вносится всего около 800 пудов сухого вещества, т. е. количество органических веществ в слое почвы в 20 см при этом повышается на 0,3—0,4%, а количество коллоидально раздробленного вещества—не более чем на 0,1% от веса почвы; поэтому на носовских почвах навоз действует хотя и сильнее, нежели минеральные удобрения, но в общем все-таки слабо; полному его действию препятствует недостаточно улучшенный им воздушный режим.

Влияние культуры клевера на структурность носовских почв. Теперь мы можем перейти к дальнейшему выяснению вопроса о влиянии культуры клевера на агрономические свойства носовских почв. Оставляя в стороне влияние этого растения как бобового на азотистый баланс почвы, мы остановимся только на том его действии, вследствие которого последующие культуры злаков оказываются в состоянии лучше использовать минеральные удобрения. Из предыдущего мы видели, что минеральные удобрения слабо действуют на этих почвах потому, что, использовав небольшие их количества, растения наталкиваются на новый первый минимум—воздушный режим почвы, без устранения которого дальнейшая утилизация питательных веществ почвы для растений невозможна. Отсюда мы должны сделать вывод, что если последнее заключение правильно, то повышение культурой клевера использования минеральных удобрений должно быть следствием благоприятного влияния клевера на структуру носовских почв, так как именно структурные особенности этих почв, как мы видели, и создают в них неподходящий для растений воздушный режим. И действительно, вся совокупность исследований Агрохимического отдела носовских почв подтверждает, что *клевер обладает способностью улучшать структурность носовских почв.*

Уже непосредственное рассмотрение почвенного разреза подтверждает это. Мы указывали, что в разрезе влажные носовские почвы не показывают структуры, стенка разреза представляется слитой, смазанной, это справедливо только в отношении почв, не занятых клевером; стенка же почвенного разреза на клеверном поле не слитая, а рыхлая, состоящая и распадающаяся на отдельные комочки. Это же подтверждают вышеприведенные данные некапиллярной порозности и водопроницаемости клеверных почв; появление в этих почвах некапиллярных пространств, отсутствие их в почвах неклеверных и значительное усиление водопроницаемости почвы культурой клевера может быть объяснено только созданием клевером структурности у ранее бывшей бесструктурной почвы.

Влияние культуры клевера на водный режим носовских почв. Следующим доказательством влияния клевера на структурность носовских почв служит изменение клевером водного режима у этих почв. Систематическое изучение по горизонтам из года в год влажности на различных полях Носовской станции выяснило следующее. Клеверный пар во время роста клевера по сравнению с майским паром оказывается иссушенным на большую глубину, что вполне понятно, так как клевер берет из почвы большие количества воды; но со времени уборки клевера влажность почвы начинает быстро повышаться и уже ко времени посева озимы она сравнивается с влажностью майского пара; а затем получается картина, обратная первоначальной: влажность почвы под озимыми по клеверному пару становится выше, чем под озимыми по майскому пару, и это соотношение сказывается в севооборотах с клевером

двухгодичного пользования даже под вторым после клевера растением—под овсом. Если мы примем во внимание, что в клеверных севооборотах урожаи ржи и овса на носовских почвах заметно выше, чем в севооборотах с майским паром, а значит, и количество воды, используемое из почвы растениями клеверного севооборота, выше, чем майского севооборота, то будет совершенно ясно, что культура клевера как-то влияет на способность почвы накапливать влагу. Для выяснения этого явления проанализируем детальнее, отчего может зависеть способность почвы накапливать воду.

Единственным источником накапливающейся в почве влаги являются атмосферные осадки и талые воды; очевидно, что ни на количество того, ни на количество другого культура влиять не может. Часть выпадающих осадков и часть талых вод испаряется с поверхности почвы, не попадая в нее, и часть эта очень значительная; остальная часть просачивается в почву, и она-то является той водой, которая образует запас воды в почве, эта вода расходуется растениями и испаряется почвой вследствие капиллярного поднятия ее к поверхности почвы. Для сельского хозяйства та часть атмосферных осадков, которая испаряется, не попав еще в почву, и та часть почвенной влаги, которая испаряется самой почвой, представляет бесполезную воду. Та же вода, которая имеется в почве и которая испаряется растением, представляет для него полезную воду. При данных метеорологических условиях в разных почвах количество полезной воды будет различно; каждая почва, в зависимости от ее основных свойств, при одних и тех же условиях и при одной и той же механической обработке будет иметь определенное, ей присущее количество полезной воды. Очевидно, что запасы полезной воды в почве, ее способность утилизировать атмосферные осадки, способность накапливать воду будет тем больше, чем, во-первых, быстрее почва впитывает в себя выпадающие атмосферные осадки и талые воды, уменьшая этим потерю этих вод испарением, т. е. тем больше, чем водопроницаемее почва, и чем, во-вторых, меньше почва теряет испарением уже впитавшейся в нее воды, т. е. чем меньше испаряющая способность почвы. Обе эти способности почвы зависят от механического состава почвы и ее структуры. Такие почвы, как носовские, с обилем фракции пыли, с очень малым содержанием фракции песка и ничтожным количеством коллоидальных частиц, часть которых, притом во влажном периоде, во время ненасыщенности почвы основаниями, находится в свободном состоянии, не обладая структурностью, очень трудно проницаемы для воды; выпавшие осадки и талые воды, очень медленно просачиваясь в почву через имеющиеся там только очень узкие капиллярные ходы, успевают в большей своей части испариться. Если бы по той или другой причине эти почвы стали структурными, т. е. если бы отдельные почвенные частички образовали в них комки той или другой величины, то между структурными отдельностями появились бы более широкие, некапиллярные ходы и водопроницаемость почвы тотчас увеличилась бы, а вместе с этим уменьшилась бы та часть атмосферных осадков и талых вод, которая пропадает для земледельца, испаряясь, не попадая еще в почву; значит, увеличилась бы способность почвы утилизировать атмосферные воды, увеличилась бы запасы воды в почве. Такой случай как раз мы имеем на полях Носовской станции с клеверными севооборотами. *Культура клевера вызывает на носовских почвах структурность почвы и тем повышает ее способность утилизировать дождевую и талую воду.*

И вторая величина, от которой зависят количества воды в почве,—испаряющая способность почвы, находится в тесной связи со структур-

ностью почвы. В почвах бесструктурных с капиллярными только ходами, каковыми являются носовские почвы, почвенная влага поднимается по этим капиллярам к поверхности и испаряется в атмосферу. Если же почва состоит из структурных элементов, комочков той или другой величины, то между комочками мы будем иметь некапиллярные пространства, по которым если вода и будет подниматься, то сравнительно на значительно меньшую высоту, нежели по капиллярам; поэтому потеря воды испарением этими ходами может совершаться из поверхностного слоя почвы меньшей толщины, нежели при капиллярных промежутках; капиллярное же соприкосновение между отдельными комочками будет в этом прервано; оно может иметь место в небольших областях непосредственного соприкосновения комочков между собой. Таким образом, культура клевера на носовских почвах, создавая в них структурность, тем самым уменьшает потерю воды через испарение почвою, т. е. и в этом отношении делает носовские почвы более способными утилизировать, накапливать в себе атмосферные воды.

Интересно отметить, что другое бобовое растение—вика—не оказывает того влияния на носовские почвы, какое констатируется при культуре клевера; в севооборотах с парами, занятыми вико-овсяной смесью, все исследованные свойства почвы остаются примерно такими же, как и в севооборотах с майским паром; особого влияния вики на структурность почвы незаметно, а вместе с тем не обнаруживается и влияние этого растения на накопление в почве влаги и на использование дальнейшими культурами минеральных удобрений. Из всех исследованных до сих пор растений подобное действие обнаружено только при культуре клевера. Отсюда было бы, конечно, совершенно неправильно делать вывод, что рожь, овес, ячмень, вика и т. д. не влияют на почву и, между прочим, на ее структуру, а значит, и на ее водный и воздушный режимы; наоборот, можно с достоверностью утверждать, что каждое растение оказывает такое влияние, но, во-первых, направление и интенсивность этого влияния у различных растений не могут быть одинаковыми; во-вторых, степень его выраженности находится в тесной зависимости от основных свойств самой почвы и метеорологических условий места; все эти обстоятельства на почвах носовских сложились так, что здесь заметно влияет именно клевер.

Мы указывали выше, что воздушный режим носовских почв неудовлетворителен не только вследствие отсутствия в этих почвах макроструктурности, но и потому, что в наиболее критические моменты жизни почвы в отношении ее проветриваемости (влажные периоды года) часть ее небольшого поглощающего комплекса бывает ненасыщенной основаниями, а потому микроструктурные элементы этого комплекса легко разбиваются водой и во влажной почве находятся поэтому в распыленном состоянии. Исследования Агрохимического отдела показывают, что клевер и в этом направлении влияет благоприятно на носовские почвы: количество коллоидальных свободных частиц почвы после культуры клевера заметно понижается.

Причины влияния клевера на структурность носовских почв. Почему же и каким образом культура клевера создает в носовских почвах макроструктуру и способствует прочности ее микроструктуры? На эти вопросы мы можем пока ответить лишь одними предположениями и догадками. Конечно, дело в особенностях корневой системы клевера. Это растение обладает очень сильно развитой и разветвленной, глубоко идущей корневой системой. Возможно, что действие этой системы, создающее структурность, чисто механическое: корни клевера;

сильно разрастаясь в почве и занимая поэтому значительный объем, раздвигают почвенные частички в местах своего прохождения и, производя давление, уплотняют почву; там, где корневая система представляет целую сеть корневых сплетений, там между этими сплетениями получаются очень плотные комочки, а в местах прохождения корней и корешков, после их сгнивания, получаются просторные ходы, создающие некапиллярную порозность. Возможно далее, что корни клевера дают особенно обильные корневые выделения, обладающие, быть может, свертывающей способностью. Может быть, разлагающиеся корневые остатки дают органические соединения, обладающие клеящей способностью. Возможно, наконец, что клевер влияет сильным иссушением почвы во время своего роста; клевер выкачивает из почвы воду, иссушая при этом и некоторую часть карбонатных слоев; вследствие этого идет усиленный ток воды по капиллярам из карбонатных горизонтов в верхние почвенные бескарбонатные горизонты; эта вода насыщена двууглекислым кальцием благодаря обилию углекислоты, выделяемой мощной корневой системой клевера; двууглекислый же кальций является сильным свертывателем и почвенных коллоидов и более крупных почвенных суспензий; кроме того, двууглекислый кальций, поднявшийся в обильном количестве в верхние горизонты и выпарившийся здесь при испарении почвенной влаги, уничтожает ненасыщенность почвы во время роста клевера и препятствует ее образованию в течение некоторого времени и под следующими за клевером культурами; этим действием клевера надо объяснить то явление, о котором говорилось выше: почва из-под клевера, при воздействии на нее воды, дает меньше свободных коллоидальных частичек, нежели почва, на которой клевер не возделывался; агрегаты коллоидальных частичек в почве после клевера приобретают большую прочность вследствие насыщения почвенного поглощающего комплекса кальцием и свертывающего действия двууглекислого кальция.

ГЛАВА V

ЗАВИСИМОСТЬ АГРОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ОТ КЛИМАТА И ПОГОДЫ

Подводя общий итог результатам изучения агрономических свойств носовских черноземов, можно сказать, что существенной в сельскохозяйственном отношении чертой этих почв является их слабая деятельность. Богатство их главными питательными веществами (азотом и фосфором) невелико, но низкое плодородие их не соответствует и этому богатству; вследствие малой деятельности почвы запасы питательных элементов остаются в малодоступном для растений состоянии; урожайность этих почв поэтому низка несоответственно их богатству. Низка и их производительность, под которой я понимаю ту максимальную величину урожая, какую можно получить на почве при внесении в нее удобрений; особенно низка эта производительность при применении минеральных удобрений; несмотря на сильную потребность в удобрениях (на что указывает низкая урожайность почвы, т. е. величина урожая на неудобренных почвах), почвы эти очень слабо реагируют на них; недостаточно сильно реагируют они и на навоз.

Причина обоих этих свойств, т. е. и малой урожайности и малой производительности, в носовских почвах, оказывается, одна и та же, а именно

плохое их проветривание. Воздушный режим в общем за весь период вегетации находится в этих почвах близко к первому минимуму, а в мокрые периоды года несомненно даже в первом минимуме, а потому при обычных для района метеорологических условиях почвы слабо реагируют на минеральные удобрения и, повидимому, не будут отзываться и на искусственное орошение¹. Плохое же проветривание этих почв, как мы видели, тесно связано с их механическим составом, определяющим в почве общую сумму пор (т. е. порозность почвы) и их характер (т. е. соотношение между капиллярной и некапиллярной порозностью).

Но агрономические свойства почвы зависят не только от свойств самой почвы, от тех свойств ее, которые мы называли основными свойствами почвы (элементарный валовой состав почвы, состав и свойства соединений, составляющих почву, механический состав почвы); всякое агрономическое свойство почвы есть производное из этих основных свойств почвы и метеорологических и топографических условий места залегания почвы; поэтому одна и та же почва при различных метеорологических условиях будет обладать различными агрономическими свойствами. Так, например, плодородие почвы зависит от метеорологических условий года.

Особенно тесно связан с метеорологическими условиями воздушный режим почвы, так как количество воздуха в порах почвы равно ее порозности, минус количество воды в почве, а количество воды в данной почве определяется метеорологическими условиями; но не только количество воздуха в почве находится в связи с ее влажностью, — от нее же зависит и способность почвы обменивать свой воздух с воздухом атмосферы, т. е. зависит и состав почвенного воздуха; а эти две величины, количество и состав воздуха в почве, и составляют то, что носит название воздушного режима почвы. Поэтому почвы одного и того же механического состава, но лежащие в местностях с различным климатом, будут обладать неодинаковым воздушным режимом (так же как и неодинаковым водным режимом); в одной местности этот режим будет благоприятным для растительности, в другой же растительность может сильно страдать от недостатка кислорода в почве. Почвы, по механическому составу сходные с носовскими почвами, обладая неблагоприятным воздушным режимом в местностях с обычными для района Носовской станции метеорологическими условиями, в климате более засушливом, с иным распределением атмосферных осадков в течение года, не будут страдать от воздушного режима, а наоборот, будут нуждаться в воде. Далее, ввиду самой тесной связи между воздушным режимом почвы и состоянием ее влажности в течение вегетационного периода и ввиду непостоянства из года в год условий погоды, степень неблагоприятности воздушного режима почв данной местности, например района Носовской станции, не может быть чем-то постоянным; она, несомненно, будет изменяться из года в год; воздушный режим будет то более благоприятным, то менее благоприятным; в общем для среднего количества атмосферных осадков, среднего распределения их и средней температуры этот режим в носовских почвах, как мы указывали, неблагоприятен, но могут быть и такие исключительные по метеорологическим условиям годы,

¹ На основании всей совокупности наших сведений о свойствах носовских почв можно думать, что искусственное орошение в некоторые периоды вегетации, ухудшая еще дальше воздушный режим почвы, будет только понижать урожай; но весьма вероятно, что в течение вегетации и на полях Носовской станции имеются и такие периоды, когда применение искусственного орошения даст положительный эффект. Выявление таких периодов, когда искусственное повышение влажности почвы будет полезно, может быть сделано, конечно, лишь соответствующими опытами.

когда и в этих почвах воздушный режим окажется вполне благоприятным, а в минимуме резко выразятся питательные вещества и почва будет сильно реагировать на удобрения, если, конечно, при этом в первом минимуме не окажется влажность.

Ясно, что в годы с удовлетворительным воздушным режимом того влияния культуры клевера на действие минеральных удобрений, какое имеет место на полях Носовской станции при обычных метеорологических условиях для этой местности, не обнаружится; оно может выразиться или слабее или вовсе не сказаться; а возможно представить себе и такое сочетание климатических факторов, когда влияние это будет даже отрицательным вследствие иссушающего действия клевера на почву во время его произрастания. Само собою разумеется, что выявить все эти соотношения возможно будет лишь многолетней работой станции и при неперменном условии расширения и углубления исследования химических, физических и биологических свойств почвы и изучения воздушного и водного режимов в тесной связи с метеорологическими наблюдениями.

Ленинград, сентябрь, 1925 г.



ПОДВИЖНОСТЬ АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЕ ПОГЛОЩЕННЫЕ КАТИОНЫ

(Должено на IV Менделеевском съезде по чистой и прикладной химии)

1. Интенсивность процессов минерализации почвенного органического азота, как процессов микробиологических, находится в теснейшей зависимости от состава поглощенных катионов в почвенном поглощающем комплексе и от самой величины поглощающего комплекса.

2. Состав поглощенных катионов определяет концентрацию водородного иона в почвенном растворе, а тем самым степень благоприятности почвы как среды для жизнедеятельности микроорганизмов—минерализаторов почвенного азота.

3. В указанном отношении наиболее благоприятными являются такие почвы, поглощающий комплекс которых полностью насыщен щелочноземельными металлами (нормальные черноземы) или содержит, кроме того, следы поглощенного водорода (слабодеградированные и слабоподзоленные почвы), или следы поглощенного натрия (слабосолонцеватые почвы).

4. Состав поглощенных катионов определяет, кроме того, степень дисперсности азотистых органических соединений почвы, а тем самым степень доступности их микроорганизмам—минерализаторам.

5. В этом отношении наиболее благоприятными являются такие почвы, поглощающийся комплекс которых насыщен натрием (солонцы), так как при таком составе поглощенных катионов органический поглощающий комплекс, а значит, и азотистые органические вещества почвы находятся в наивысшей возможной степени дисперсности; следующее место по благоприятности будут занимать почвы, насыщенные водородом (почвы подзолистые), и, наконец, на последнем месте стоят почвы, содержащие в поглощающем комплексе только поглощенные кальций и магний (нормальные черноземы), так как при таком составе поглощенных катионов почвенный органический поглощающий комплекс обладает наименьшей степенью дисперсности, а потому наименее доступен микроорганизмам. Таким образом, присутствие в почвенном поглощающем комплексе поглощенного водорода, а особенно поглощенного натрия делает органические азотистые соединения почвы более подвижными, более доступными деятельности микроорганизмов—минерализаторов азота.

6. Как следствие из пунктов 5 и 3 вытекает, что почвенные органические азотистые соединения нормальных черноземов (т. е. почв, содержащих в поглощающем комплексе только кальций и магний) должны отличаться малой подвижностью, слабо минерализоваться. Наиболее энергично процессы минерализации азота, достигшие нитратов, должны протекать

в почвах слабосолонцеватых, а затем на почвах, не вполне насыщенных основаниями, особенно в отношении аммонизации.

7. В процессах минерализации почвенного азота, кроме реакции среды, доступности органического азота микроорганизмам, громадную роль играют водный и воздушный режимы почвы. И то и другое, кроме метеорологических условий, зависит еще в сильной степени от механического состава и структурности почвы. Последняя же находится в самой тесной связи с величиной поглощающего комплекса почвы и с составом его поглощенных оснований.

8. Наиболее благоприятным в этом отношении является содержание в почве поглощенного кальция и магния, т. е. состав поглощенных катионов нормального чернозема.

9. Но при таком составе поглощенных катионов имеет значение и величина поглощающего комплекса. Повидимому, поглощающий почвенный комплекс, насыщенный кальцием и магнием, тогда даст такую структуру в почве, которая создает наиболее благоприятные водный и воздушный режимы для деятельности микроорганизмов—минерализаторов азота, когда его в почве около 15%, т. е. примерно то, что мы имеем в средне-суглинистых черноземах.

ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ДОЛГОПРУДНОМ
ОПЫТНОМ ПОЛЕ

*Почвенные обменные катионы и растение
(1930-1932)*

*

ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЮ КАЛЬЦИЯ, МАГНИЯ И КАЛИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПОЧВЕ В СОСТОЯНИИ, К ОБМЕНУ НЕСПОСОБНОМ.

ОТНОШЕНИЕ РАСТЕНИЯ К НЕКОТОРЫМ КАТИОНАМ, ПОЛНОСТЬЮ НАСЫЩАЮЩИМ ЕМКОСТЬ ОБМЕНА ПОЧВЫ

В настоящее время очень много внимания уделяется вопросам, связанным с состоянием почвы в зависимости от состава обменных ее катионов, и выяснению зависимости химических, физических и физико-химических свойств почв от этого состава.

Вопросы же зависимости роста растений и жизни и деятельности микроорганизмов от этого состава обменных катионов в почве, имеющие не меньший теоретический интерес и вместе с тем громадное практическое значение, до настоящего времени остаются почти совсем вне экспериментального исследования. А между тем эксперименты с растениями и микроорганизмами в этом направлении могут дать нам не только целый ряд очень интересных выводов, могущих иметь применение в земледелии; растения и микроорганизмы являются очень чувствительным и тонким индикатором на те изменения, какие происходят в почве с изменением ее свойств, а значит, и состава ее обменных катионов; применение этого биологического метода исследования различных вопросов, относящихся к области поглотительной способности почвы в самом широком смысле этого понятия, должно быть не менее плодотворно, нежели применение химических и физико-химических методов. Совершенно ясно, что широкое использование этого метода исследования наряду с другими, приобретшими уже в почвоведении право гражданства, весьма желательно как в интересах самого почвоведения, так и для земледелия. Этим мы дополним, расширим и углубим наши познания. Как на примере возможности и плодотворности применения биологического метода в почвоведении укажу на давно интересующий почвоведов вопрос, может ли почва содержать обменный водород или же причиной кислотности почв всегда является обменный алюминий. Оказывается, что вопрос этот очень легко и просто решается растением: отношение растения к почве, обработанной солью алюминия до полного вытеснения из нее почвенных обменных катионов, с одной стороны, и обработанной 0,05 норм. соляной кислотой тоже до полного вытеснения обменных катионов, с другой стороны, оказывается после известкования той и другой совершенно различным¹; говорить, что в обоих случаях имеем дело с обменным алюминием, не приходится, а констатируемое действие известкования на

¹ См. мою статью «К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии в кислых почвах», кн. 5, «Почвоведение» за 1929 г.

почве, обработанной 0,05 норм. соляной кислотой, можно объяснить только присутствием в ней обменного водорода.

Почти полное отсутствие опытов с растениями на почвах, искусственно насыщенных теми или другими катионами, объясняется, конечно, в первую очередь сложностью, громоздкостью и сравнительно высокой стоимостью изготовления необходимого для этих опытов почвенного материала и необходимостью, кроме того, известной обстановки для проведения этих опытов, а у нас сверх того трудностью получить необходимые реактивы в потребных количествах и достаточной чистоты. Я, например, свои исследования биологическим методом вопросов, связанных с поглощательной способностью почв, начал уже в 1911 г., но мог довести их до состояния, удобного для изложения, только теперь, и далеко не закончив еще разработки вопросов, которые поставил себе почти 20 лет назад. Раньше чем перейти к основной теме настоящей статьи, а именно к вопросу каково отношение растения к различным катионам, когда каждый из них полностью насыщает всю емкость обмена данной почвы, я остановлюсь сначала на выявившемся в моих опытах резком различии в значении различных питательных обменных катионов для жизни растения.

Как известно, между питательными необходимыми для жизни растения элементами имеются только три, а именно Са, Mg и К, которые находятся (или могут находиться) в почве в обменном состоянии; мы знаем далее, что какое бы количество этих катионов ни было в почве в обменном состоянии, всегда в почве эти же катионы содержатся и в состоянии, к обмену неспособном, причем обычно необменного Са в почвах значительно меньше, чем обменного (например, в пахотном горизонте тульского тучного чернозема, на котором были поставлены первые из описываемых здесь вегетационных опытов, обменного СаО было 1,26%, а необменного—0,5%), для Mg же и К имеем обратное соотношение (для означенного чернозема: обменного MgO—0,17%, а необменного—0,93%, обменного K₂O—0,07%, необменного—2,04%). Обменного магния почвы, как правило, содержат сравнительно очень мало, но во всяком случае количество его всегда представляет вполне реальную величину; не найдено еще такой почвы, относительно которой можно было бы сомневаться в обладании ею обменным магнием. Не то в отношении калия; несколько сотых процента K₂O, или около 1 м-экв. на 100 г почвы—обычное содержание обменного калия в почве; это такая ничтожная величина, что трактовать ее как реальную не приходится, принимая во внимание сложность вытеснения калия из почвы, сложность самого метода определения количества калия, а главное, считаясь со всегда возможным в применяющихся реактивах присутствием следов калия, что уже одно при больших количествах реактивов, применяющихся при определении обменного калия, может дать в результате величины калия того же порядка. Поэтому, пока не будет разработан более чувствительный метод определения обменного калия (то же относится, конечно, и к обменному магнию и вообще к обменным катионам, когда их в почве очень мало), до тех пор наши представления о количестве его в почве будут очень гадательны.

Почему же все-таки обменных магния и калия в почвах вообще так мало при большом общем содержании этих элементов? Ответить на этот вопрос можно лишь очень предположительно. Возможно, например, что вследствие присутствия теперь или в более или менее отдаленные времена в почвах значительных количеств углекислого кальция все катионы существующих (или существовавших) поверхностей первичных частиц почвы заместились кальцием и что таким образом, если бы в процессах дальней-

шего почвообразования не образовывалось новых поверхностей, доступных другим вытесняющим катионам, то мы не имели бы обменного калия (магния); но несомненно, что такие поверхности образуются (например, вследствие удаления с поверхности существующей частицы, насыщенной обменным кальцием или водородом, получающихся продуктов обмена или вследствие раздробления частиц и вообще вследствие процессов выветривания, в которых в верхних слоях почвы большое участие принимает растительность) и внутренние слои почвенных частиц могут становиться внешними; а такая вновь образовавшаяся поверхность может, конечно, содержать в зависимости от ее минералогического состава обменные калий и магний. Разумеется, такой процесс новообразования внешней поверхности должен быть очень медленным, и потому количество обменных калия и магния (и натрия) в каждый данный момент может быть в почве лишь очень мало.

Разумеется, на этих вновь возникающих внешних поверхностях должны быть и обменные катионы кальция, но так как *необменного* кальция в почве меньше, чем *необменных* магния и калия, то естественно, что обменного кальция в среднем на этих поверхностях будет меньше, чем обменных калия и магния.

Возможно и иное объяснение того же явления. Несомненно, что обменной способностью обладают все почвенные частицы независимо от их величины, но интенсивность обмена, находясь в прямой зависимости от степени дисперсности вещества в единице его объема, будет у коллоидальной фракции значительно больше, чем у неколлоидальной; если мы назовем обмен у коллоидальной фракции интенсивным обменом, то можно сказать, что неколлоидальная часть почвы обладает также обменом, но только экстенсивным. Подобного же порядка обмен (с количественной стороны) должен иметь место и в коллоидальной части почвы в отношении очень небольших остальных количеств содержащихся в ней обменных катионов, а также катионов и на вновь возникающих внешних поверхностях. На поверхности этих более крупных почвенных частиц должны быть катионы и кальция, и магния, и калия (и натрия); но так как интенсивно обменивающийся кальций составляет большую часть всего валового кальция почвы, а обменные магний и калий (и натрий) — лишь ничтожную часть их валового содержания, то естественно, что на поверхности крупных почвенных частиц можно ожидать относительно больше обменных катионов магния и калия, нежели кальция. Во всяком случае несомненно, что вытеснение обменных катионов из почвы обработкой ее в течение того или другого времени соевым раствором любого катиона до полного конца не доводится никогда; мы вытесняем лишь интенсивно обменивающиеся катионы и часть экстенсивно обменивающихся; большая же или меньшая часть обменных катионов крупных фракций плюс обменные катионы на вновь образующихся внешних поверхностях почвенных частиц, т. е. вообще экстенсивно обменивающиеся катионы, остаются в почве: полное их вытеснение — это процесс, по всей вероятности, чрезвычайно длительный. Можно говорить лишь о практически полном для данной цели вытеснении из почвы обменных катионов; так, например, для сравнительного изучения почв по содержанию в них обменных катионов в настоящее время совершенно достаточно определения количеств обменных кальция и магния, практически вытесняемых из почвы имеющимися методами, но эти методы уже недостаточны для изучения явлений, связанных с обменным калием. В вопросах же питания растений нам уже теперь необходимо, как мы увидим ниже, иметь возможность определять в почве количества экстенсивно обменивающихся катионов

и кальция, и магния, и калия. Во всяком случае каковы бы ни были причины указанного явления, но сам факт ничтожного содержания в почве обменных калия и магния как по абсолютной величине, так и по отношению к валовым их количествам и как раз обратное соотношение для кальция несомненен; кальций как обменный катион с количественной стороны находится в почвах в особом положении по сравнению с остальными почвенными обменными основаниями. Мы сейчас увидим, что на особое положение кальция среди других обменных катионов, необходимых для жизни растений, указывается также и самим растением.

Как я уже упоминал в одной из своих прежних работ¹, в 1912 г. мною был поставлен большой вегетационный опыт на пахотном горизонте тучного чернозема, искусственно полностью насыщенного по моему способу кальцием. Цель опыта заключалась в том, чтобы получить почву реагирующую на калийные удобрения (естественные почвы обычно реагируют на калий в вегетационных сосудах очень слабо в присутствии даже сильного азотистого и фосфорнокислого удобрения), и иметь, таким образом, возможность изучать вопросы питания растения калием не только в водных и песчаных культурах, но и в почвах. С приготовленной таким образом почвой, содержащей из обменных оснований практически один лишь кальций, был поставлен в сосудах (20 × 20 см) вегетационный опыт с одним и тем же основным удобрением (0,2 г азота в NaNO_3 и 0,2 г фосфорной кислоты в NaH_2PO_4) и с различными количествами сернокислого калия (от 0,05 до 1,0 г K_2O на сосуд) при различном способе его внесения. Опыт был проведен с тремя растениями: овсом, горчицей и гречихой.

В результате все исследованные комбинации дали для каждого растения в пределах ошибки вегетационного метода совершенно одинаковые урожаи: опыт, таким образом, не достиг поставленной ему цели; почва и после насыщения ее кальцием не реагировала на калий при данных ей количествах азота и фосфора. Однако самый этот факт представляет большой интерес для вопроса о роли обменных питательных катионов в жизни растения; поэтому мы на этом опыте здесь остановимся, а так как во всех сосудах под каждым растением этого опыта, как уже указывалось, получились одинаковые урожаи, то мы не будем приводить здесь всего громадного цифрового материала этого опыта, а ограничимся только нижеследующей таблицей (табл. 1).

Результаты показывают, что ни под одним из трех растений и первоначальный чернозем и чернозем, насыщенный одним кальцием, вовсе не нуждались в калии, а так как в основном удобрении не было магния и первоначальный чернозем заведомо в нем не нуждался, то из приведенного опыта следует, что чернозем, полностью насыщенный кальцием, также не нуждался и в магнии. Подобный же результат был получен в нижеописываемых опытах 1929 г. в отношении магния на черноземе, насыщенном водородом; в этом опыте внесением в почву N, P, K, CaCO_3 (магния не вносилось) получался такой же урожай овса, как и на первоначальном черноземе при том же удобрении. Без калия опытов больше не ставилось.

Таким образом, на почве, из которой вытеснены практически полностью обменные магний и калий, растения все-таки в состоянии использовать эти элементы почвы и дают при обеспеченности другими питательными веществами высокие урожаи (10 г зерна овса, полученные в сосудах вышеописанного опыта, по перечислению соответствуют около 30 ц/га). Совершен-

¹ К. Гедройц. Поглотительная способность почвы и почвенные деолитные основания. «Журнал опытной агрономии», т. 17, 1916.

но иное получается в отношении питания растений кальцием: если из почвы вытеснить практически весь обменный кальций, заменив его таким катионом, присутствие которого не лишает растения возможности в той или другой степени развиваться, то, как показывают нижеприводимые опыты, без прибавления к такой почве кальциевой соли растение совершенно гибнет.

Так, например, при урожае овса на первоначальном черноземе по полному удобрению (N, P, K) около 6 г на сосуд (маленькие сосуды на 600 г почвы) на почве, полностью насыщенной магнием, по тому же полному удобрению растения совершенно гибли, а по полному удобрению плюс углекислый кальций мы получили 2,5 г урожая; та же картина получалась, как мы видим ниже, и при насыщении почвы другими катионами.

Совершенно ясно, что при наших методах вытеснения обменных катионов из почвы растение на почве, практически лишенной обменного магния и калия, имеет в самой почве источник этих элементов, необходимых ему для той или иной высоты урожая; на почве же, лишенной обменного кальция, растение такового уже не находит в самой почве.

Наиболее просто это явление можно объяснить, сделав предположение, что нашими способами вытеснения обменных катионов мы их не вытесняем полностью, несмотря на очень продолжительное промывание почвы соевым раствором взятого катиона-вытеснителя; на самом деле оно, конечно, так, потому что даже 20-кратной последовательной обработкой почвы раствором катиона-вытеснителя мы не можем удалить из нее всех экстенсивно обменивающихся катионов почвы целиком, причем, как мы видели выше, есть основание предполагать, что после такой обработки из обменных катионов почвы в ней должно остаться больше магния и калия, чем кальция; первых двух в почве остается еще столько, что растение может при обеспеченности другими питательными элементами развиваться нормально и давать той или другой величины урожай, между тем как кальция оказывается уже так мало, что растения погибают.

Теперь мы переходим к главной теме нашей статьи.

Из числа многих вопросов, связанных с обменными катионами почвы в их отношении к растению, первым, который надлежало разрешить, был, по моему мнению, вопрос о том, как будет реагировать растение на почву, целиком насыщенную тем или другим катионом как из числа естественно встречающихся в почве, так и не встречающихся там. Эти опыты мы начали еще с 1913 г.; мы провели тогда опыт с тульским тучным черноземом, насыщенным в отдельности NH_4 , Na и K. Вследствие сложности приготовления почвы, насыщенной этими катионами и лишенной вместе с тем полностью тех солей, которыми почва обрабатывалась для этого насыщения, а затем, вследствие почти полной уверенности, что сельскохозяйственные растения не будут развиваться на таких почвах, эти опыты мы ставили в стаканчиках на 200 г почвы. В почву вносилось полное удобрение (N, P, K и Mg) без и с CaCO_3 . В результате семена всех исследовавшихся растений как в присутствии, так и в отсутствие CaCO_3 не всходили, ослизнялись и гибли. Таким образом, почва, насыщенная NH_4 , Na или K, оказалась средой, совершенно непригодной для развития сельскохозяйственных растений. Теперь, конечно, причины этой непригодности для нас совершенно понятны. В дальнейшем мы предполагали исследовать развитие растений при разной степени насыщенности почвы, различной емкости обмена каждым из этих катионов, а в отношении обменного NH_4 —потребность почвы в азотистом удобрении при тех количествах обменного аммония в почве, при которых он еще не вредит росту растений. Такие исследования пред-

Таблица 1

Результаты вегетационного опыта на черноземе, насыщенном кальцием (урожаи в граммах на сосуд)

Культуры	Основное удобрение NaNO_3 и NaH_2PO_4											
	0 г K_2O			0,03 г K_2O			0,1 г K_2O			0,15 г K_2O		
	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего
Овес												
Почва первоначальная												
1-й сосуд	10,0	10,6	20,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	10,4	11,0	21,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	10,2	10,8	21,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, насыщенная кальцием												
1-й сосуд	9,4	11,2	20,6	9,7	10,5	20,2	9,2	10,6	19,8	9,4	10,2	19,6
2-й »	9,2	11,0	20,0	10,8	11,0	21,8	10,3	11,4	21,7	9,8	10,4	20,2
Среднее	9,3	11,1	20,4	10,2	10,8	21,0	9,8	11,0	20,8	9,6	10,3	19,9
Горчица												
Почва первоначальная												
1-й сосуд	5,2	12,8	18,4	—	—	—	—	—	—	5,5	13,2	18,7
2-й »	5,5	13,6	19,1	—	—	—	—	—	—	5,4	13,7	19,1
Среднее	5,4	13,2	18,6	—	—	—	—	—	—	5,5	13,4	18,9
Почва, насыщенная кальцием												
1-й сосуд	5,7	12,9	18,6	5,5	12,6	18,4	5,4	12,8	17,9	5,1	12,3	17,4
2-й »	5,0	13,1	19,1	5,7	12,9	18,6	5,4	13,1	18,5	5,2	11,9	17,1
Среднее	5,4	13,0	18,4	5,6	12,8	18,4	5,3	12,9	18,2	5,2	12,1	17,3
Гречиха												
Почва первоначальная												
1-й сосуд	13,5	12,0	25,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	12,9	13,1	26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	13,7	12,6	26,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, насыщенная кальцием												
1-й сосуд	13,2	13,0	26,2	—	—	—	12,0	13,0	25,0	—	—	—
2-й »	13,0	11,0	24,0	—	—	—	12,4	13,2	25,6	—	—	—
Среднее	13,1	12,0	25,1	—	—	—	12,2	13,1	25,3	—	—	—

ставляли бы интерес не только теоретический, но и с практической точки зрения, например для познания солонцов, так как только такими опытами можно в действительности разрешить очень существенный вопрос о зависимости роста того или другого растения от степени солонцеватости почвы; совершенно ясно, что рост растений на почвах, содержащих вредный растениям щелочной обменный катион, должен находиться в зависимости и от абсолютного и от относительного содержания в почве этого катиона. Однако задачу эту нам не удалось осуществить, а к продолжению наших опытов по выяснению условий роста растений на почвах, насыщенных тем или другим катионом, мы могли приступить лишь с 1928 г.

К вегетационному периоду этого года мы приготовили из тучного чернозема Каменноостанной опытной станции почвы, насыщенные следующими катионами: Mg, Ba, Mn, Co, Ni, Cu и H. Опыт был поставлен на вегетационной станции отдела почвоведения ГИОА* в маленьких сосудах на 700 г почвы. Ввиду небольшого количества приготовленных почв с каждой из них и с первоначальным черноземом опыт был поставлен под одним растением—горчицей—и только без удобрения и по полному (0,1 г N в NaNO_3 , 0,1 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 и 0,05 г K_2O в K_2SO_4) без углекислого кальция; исследования влияния углекислого кальция я решил произвести с теми же почвами на следующий год.

Растения дали урожай (и вполне нормальный) только на первоначальном черноземе. На почвах же, насыщенных каждым из вышеприведенных катионов, растения, несмотря на многократный пересев, или не всходили вовсе, или появлялись единичные всходы, которые быстро гибли.

В 1929 г. опыт с почвами из сосуда опыта 1928 г. был повторен на Новосовской сельскохозяйственной опытной станции в сосудах, вмещавших по 600 г почвы, причем во все сосуды с первоначальной почвой было внесено полное удобрение (в таких же количествах, как и в 1928 г.), а в сосуды, с остальными почвами полное удобрение вносилось лишь в те сосуды, которые в 1928 г. были без удобрения; в сосуды же, получившие в 1928 г. полное удобрение, в этом году его уже не вносилось, так как удобрения, данные этим почвам в 1928 г., были вовсе не использованы, но в эти сосуды было внесено по 10 г CaCO_3 . Опытным растением в этом опыте служил овес. Результаты опыта получились следующие (средний урожай из двух параллельных сосудов в граммах на сосуд):

На первоначальной почве		
	Общий урожай	Урожай зерна
По полному удобрению	5,7	1,6
» » » + CaCO_3	5,4	1,7

На почвах, насыщенных различными катионами, по полному удобрению без CaCO_3 результат получился такой же, как и в предшествующем году; семена или вовсе не всходили, или появлявшиеся всходы быстро гибли.

В присутствии полного удобрения с CaCO_3 прошлогодний результат получился на почвах, насыщенных Ba, Ni и Co; на этих почвах растения вовсе не развивались, урожай получился 0; таким образом, когда означенные три катиона вполне насыщали всю емкость поглощения взятой почвы, овес и при полной обеспеченности в питательных веществах (в том числе и кальцием) не мог вовсе развиваться.

На почве, насыщенной Cu, овес по полному удобрению с CaCO_3 дал урожай, но совершенно ничтожной величины—всего 0,39 г общей массы с 0,05 г зерна (5 зерен на сосуд).

* ГИОА—Государственный институт опытной агрономии.—Ред.

На почве, насыщенной Mg по полному удобрению с CaCO_3 , урожай получился 1,56 г общей массы и 0,38 г зерна.

На почве, насыщенной Mn, урожай по полному удобрению с CaCO_3 был 1,6 г общей массы и 0,18 г зерна. И, наконец, на почве, насыщенной водородом по полному удобрению с CaCO_3 , овес дал такой же урожай, как и на первоначальной почве.

Отметим здесь, что эти опыты вполне подтвердили данные опыта 1912 г.: если из почвы вытеснен практически весь обменный кальций каким-либо другим катионом (в данном случае водородом, марганцем и магнием), то растения могут развиваться лишь тогда, когда в почву будет внесена кальциевая соль; если же из почвы вытеснен практически весь магний каким-либо катионом (в данном случае водородом и марганцем), то растение, если оно только способно расти в присутствии этого насыщающего почву катиона, развивается и дает нормальный урожай и без прибавления магниевого удобрения.

В том же 1929 г. были поставлены вегетационные опыты на почвах, насыщенных мною рядом других катионов, а именно: Mg, Ca, Sr, Cd, двузначным и трехзначным железом, Al и водородом; опыты велись в таких же сосудах, что и в предшествующем случае, с полным удобрением (N, P,

Таблица 2

Урожай зерна на тучном черноземе, насыщенном различными катионами

Вид почв	Полное удобрение		Полное удобрение + CaCO_3	
	общий урожай	зерно	общий урожай	зерно
Почва первоначальная	5,9	1,44	5,6	1,20
Почва насыщенная:				
Mg	3,33	0,01	2,4	0,62
Ca	6,3	1,92	—	—
Sr	5,4	0,8	5,6	0,97
Cd	0	0	0	0
Fe ⁺⁺	0,7	0,14	1,6	0,35
Fe ⁺⁺⁺	0	0	1,0	0,23
Al	0,24	0	2,6	0,80
H	0,21	0,1	5,7	1,6

K, Mg) и с полным удобрением плюс CaCO_3 ; растением служил также овес. В таблице 2 приводим полученные в этом опыте урожаи (среднее из двух параллельных сосудов в граммах на сосуд).

И в этом опыте на почвах, насыщенных большинством из исследованных катионов, в отсутствие углекислого кальция растения или вовсе не росли (по Cd и Fe⁺⁺⁺) или же дали предельные урожаи (Mg, Al, H); более высокий урожай получился в отсутствие CaCO_3 на почве, насыщенной двузначным железом (возможно, что здесь обменный кальций не был целиком удален из почвы); далее высокий урожай получен в отсутствие CaCO_3 на почве, насыщенной кальцием (такой же величины, как и на почве первоначальной); причина этого совершенно понятна. Но совершенно неожиданно для меня урожай овса на почве, насыщенной стронцием, в отсутствие CaCO_3 , получился почти такой же величины, как и на первоначальной почве и почве, насыщенной Ca (зерна заметно меньше); если принять во внимание данные для всех остальных исследованных обменных катионов, то приходится

признать, что на почве, насыщенной стронцием, растения как-то обходятся без доступного им кальция, что не имело места ни при одном из других испытанных катионов; напрашивается вывод, что стронций может в известной степени заменить для растения кальций. Внесение в исследовавшиеся в этом опыте почвы, кроме азота, фосфора, калия, магния, еще углекислого кальция существенно изменило общую картину. В то время как из восьми почв, насыщенных в этом опыте различными катионами (а именно магнием, кальцием, стронцием, кадмием, закисным железом, окисным железом, алюминием и водородом), мы получили урожай, в сущности говоря, только по кальцию и стронцию, ну, еще можно сказать, по закисному железу,—на тех же почвах, но в присутствии CaCO_3 только почва, насыщенная кадмием, не дала вовсе урожая; кадмий, насыщающий емкость обмена почвы, совершенно убивал овес; на всех же остальных почвах растения развивались, давая различной величины урожай, причем такой же величины урожай, как и на первоначальной почве, получились на почве, насыщенной водородом (так же как и в предшествующем опыте), и на почве, насыщенной стронцием; при всех других обменных катионах растения росли, но давали значительно меньший урожай: на почве, насыщенной Mg и на почве, насыщенной Al , урожай по величине составляли примерно половину урожая на первоначальной почве, а по окисному и закисному железу и того меньше.

В настоящее время можно считать твердо установленным, что целый ряд физических и химических свойств почвы, причем не только твердой ее фазы, но и жидкой и газообразной, находится в теснейшей связи с составом катионов, насыщающих емкость обмена почвы.

Мы теперь знаем, что из числа металлов, входящих в состав почвы в заметных количествах (Na , K , Mg , Ca , Al , Fe , H , сюда же можно еще причислить Mn , NH_4 и Li), кальций как обменному катиону принадлежит особая роль в жизни почвы. Во-первых, его в почвах (по крайней мере, в не особенно сильно разрушенных) обычно значительно больше, чем других перечисленных металлов, как обменных катионов. Во-вторых, когда именно кальций насыщает (или почти насыщает) емкость обмена почвы, то в почве создаются наиболее благоприятные условия для поддержания в почвенном растворе реакции, близкой к нейтральной; элементы Li , NH_4 , Na , K и отчасти магний как обменные катионы вызывают более щелочную реакцию, а Mn , Al , Fe и H —кислую реакцию.

Далее обменный кальций создает в почве особые физические свойства, благодаря которым между водным и воздушным режимом почвы устанавливается такое соотношение, которое для данной почвы и данных климатических условий наиболее благоприятствует жизни большинства высших растений и аэробных микроорганизмов. При всех остальных перечисленных металлах как обменных катионов это соотношение будет менее благоприятным. Ближе всего к кальцию во всех этих отношениях из перечисленных катионов стоит магний.

В результате вышеприведенных вегетационных опытов на почве, полностью насыщенной одним из следующих 16 катионов: H , NH_4 , Na , K , Mg , Ca , Sr , Cd , Ba , Mn , Fe^{++} , Co , Ni , Cu , Al , Fe^{+++} , мы видим, что и растение указывает на совершенно особое положение обменного кальция среди всех испытанных катионов.

Мы видели, с одной стороны, что на почве, не содержащей обменного кальция, растение не может вовсе развиваться, если в почву искусственно не внесли какой-либо кальциевой соли как источника питания растения кальцием; неспособная к обмену часть почвенного кальция (по крайней

мере, к интенсивному) в противоположность неспособным к обмену магнию и калию восприниматься растением в необходимом для жизни его количестве не может. С другой стороны опыты показывают, что этот катион может полностью насыщать емкость обмена почвы и все-таки растение развивается на такой почве в отношении получаемого урожая не хуже, чем на естественной почве, содержащей, кроме обменного кальция, также и обменный магний.

Из всех 16 исследованных нами элементов как катионов, полностью насыщающих емкость поглощения почвы, только еще один, а именно стронций, очень близкий к кальцию по своим свойствам, оказался и по своему действию на растение очень близким к кальцию: на почве, насыщенной им, т. е. не содержащей обменного кальция, овес развивался почти так же, как и на почве, содержащей обменный кальций: общий урожай овса на этой почве был почти такой же величины, как и на первоначальном черноземе и на черноземе, насыщенном кальцием, но зерна получилось все-таки меньше. Таким образом, стронций, даже полностью насыщая почву, с одной стороны, не вредил растению, так же как и насыщающий почву кальций, а с другой стороны, как бы замещал для растения кальций как питательный элемент. Все остальные исследованные элементы, насыщая полностью емкость поглощения почвы и лишая этим необходимого для питания растения доступного ему кальция, давали такие почвы, на которых растение если и развивалось, то лишь при внесении в почву углекислого кальция. Из таких элементов остановимся прежде всего на водородном ионе.

Опыт показывает, что без CaCO_3 на почве, полностью насыщенной H, овес вовсе не рос; развитию его мешали два обстоятельства: отсутствие в такой почве усвояемого кальция и кислая реакция; внесение CaCO_3 устраняло обе эти причины, и почва тогда давала такой же урожай, как и первоначальный чернозем и чернозем, насыщенный целиком кальцием. Что росту овса мешало не только отсутствие в этой почве доступного растению кальция, но и сама ненасыщенность почвы основаниями (вернее сказать, те свободные кислоты, которые получаются на этой почве вследствие обмена катионов солей почвенного раствора на водородный ион ненасыщенной почвы), показывает наш опыт на этой почве с внесением в нее CaSO_4 вместо CaCO_3 ; результат его следующий (почва, полностью насыщенная водородом):

Удобрение	Общий урожай	Зерно
Полное без CaCO_3	0,21 г	0,1 г
» » CaSO_4	0,24 »	0,02 »
» » CaCO_3	5,7 »	1,6 »

Из остальных исследованных катионов все, т. е. NH_4 , Na, K, Mg, Cd, Ba, Mn, Ni, Co, Cu, Fe^{++} , Fe^{+++} и Al, когда они полностью насыщали емкость поглощения почвы, в отсутствие CaCO_3 вызывали полную гибель овса, в присутствии же углекислого кальция на почве, насыщенной некоторыми из них, а именно: NH_4 , Na, H, Cd, Ba, Ni, Co, Cu, овес также совершенно погибал: почва, насыщенная ими, приобретала такие химические свойства¹,

¹ В условиях постановки наших опытов с почвами, насыщенными щелочными катионами, особые физические свойства этих почв не могли играть сколько-нибудь заметной роли в гибели растений.

которые не позволяли вовсе развиваться растению и при полной обеспеченности его всеми необходимыми питательными элементами. Дело тут, очевидно, в ядовитости тех продуктов, которые получаются в почвенном растворе этих почв; а такими продуктами могут быть лишь эти катионы, переходящие в почвенный раствор вследствие вытеснения их из почвы катионами внесенных в почву питательных солей и водородным ионом воды, причем очевидно, что в случае обменных солей NH_4 , Na и K ядовитость обуславливается не самими этими катионами, а получающимся в их присутствии свободным гидроксильным ионом; остальные же из этих катионов (т. е. Cd, Ba, Ni, Co и Cu), очевидно, губят растение, являясь непосредственно ядовитыми, а не вследствие создания в почвенном растворе неподходящей растению реакции, так как последняя может изменяться вступлением этих катионов в почву лишь очень слабо и притом в сторону усиления кислотности, которая в условиях нашего опыта (присутствие CaCO_3) не может вредно сказываться на растении.

Наконец, на почвах, насыщенных одним из следующих катионов: Mg, Mn, Fe^{++} , Fe^{+++} , Al, на которых овес также погибал в отсутствие CaCO_3 , при внесении этого соединения овес развивался, но давал значительно более низкий урожай, а именно, в то время как на первоначальном черноземе, насыщенном одним лишь кальцием, получалось около 6 г урожая овса на сосуд:

на почве, насыщенной Mg		на почве, насыщенной Mn (+ CaCO_3)	1,6 г
(+ CaCO_3)	2,4 г	» » » Fe^{++} (+ CaCO_3)	1,6 »
на почве, насыщенной Al		» » » Fe^{+++} (+ CaCO_3)	1,0 »
(+ CaCO_3)	2,6 »		

т. е. все эти катионы, хотя и в меньшей степени, чем ранее перечисленные, также ядовиты для растения, когда они полностью насыщают емкость обмена почвы; из них магний и алюминий менее вредны, нежели марганец и закисное и окисное железо.

Из всего сказанного непосредственно вытекает особая роль обменного кальция в жизни растения. *Из всех исследованных металлов как обменных катионов почвы только кальций (посидимому, в той же мере и стронций) создает в почве при полном насыщении ее емкости обмена наиболее благоприятные условия для жизни растения.*

Вышеизложенными опытами мы совершенно не затронули вопроса о действии на растения различных комбинаций в составе обменных катионов в почве; совершенно ясно, что из того факта, что например, барий при полном насыщении им емкости обмена почвы совершенно губит растительность, нельзя сделать еще никакого заключения о влиянии на растение этого катиона, когда он будет насыщать в почве только ту или другую часть ее емкости обмена, а остальную часть будет насыщать кальций. Вполне возможно допустить, если не по отношению к барию, то по отношению к другим каким-либо ядовитым катионам, что при некотором их содержании в почвенном поглощающем комплексе, хотя бы очень малом, они не только не будут вредить росту, а окажутся стимулянтами подобно тому, как это найдено для солей некоторых элементов. Отсюда видим громадный интерес и, может быть, большое практическое значение продолжения и дальнейшей детализации приведенных нами в этой статье исследований.

Мы пытались подойти в этом отношении к изучению влияния на рост растения различного соотношения в почве между обменными кальцием и магнием. Мною было приготовлено из тучного чернозема 16 образцов почвы с различным отношением между обменными кальцием и магнием. На этих почвах в том же 1929 г. на Носовской сельскохозяйственной опытной

станции был поставлен вегетационный опыт с овсом. К сожалению, вследствие неблагоприятных условий сходимость параллельных сосудов получилась настолько плохой, что делать какие-либо выводы из полученных урожаев при малой величине сосудов я не имею возможности. Но наблюдения над развитием овса в этом опыте ясно показывали, что в пределах между минимальным содержанием в почве поглощенного магния (первоначальный чернозем) и максимальным (почва, насыщенная магнием) имелись сосуды с оптимальным развитием растения; повидимому, некоторое повышение количества обменного магния за счет обменного кальция в исследовавшемся черноземе оказывало благоприятное действие на овес. Этот вопрос относительно обменного магния, несомненно, представляет практический интерес, так как он связан, например, с вопросом о допустимом загрязнении магнием известняков, применяющихся для известкования почв; может быть, здесь окажется излишней та щепетильность, с которой некоторые относятся к этому загрязнению. Интересно отметить, что по полученным нами данным в этом опыте (данным, повторяю, недостаточно надежным) овес без всякого вреда выносил замену магнием довольно значительной части обменного кальция. Означенные опыты будут мною повторены. Отмечу далее, что, например, в отношении обменного натрия, делающего почву при полном насыщении им совершенно непригодной для культуры, теоретические соображения¹ определенно говорят о пользе небольшого количества его в черноземе, создающего, по крайней мере для азотистого питания, благоприятные условия. Небольшой опыт, поставленный мною несколько лет назад на Носовской сельскохозяйственной опытной станции, подтвердил это. Опыт этот предполагается повторить в большем размере.

¹ К. Г е д р о й ц. Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция. Носовская сельскохозяйственная опытная станция, вып. 43, 1926.

Кисловодск, март, 1930 г.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВЫ И ОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ КОЛИЧЕСТВАМИ ОБМЕННОГО КАЛЬЦИЯ И ОБМЕННОГО МАГНИЯ В ПОЧВЕ

В предшествующей статье я привел свои исследования отношения овса к почве, полностью насыщенной одним из следующих катионов: H , NH_4 , Na , K , Mg , Ca , Sr , Cd , Ba , Mn , Fe^{++} , Co , Ni , Cu , Al и Fe^{+++} , и указывал, что подобное исследование, особенно если оно захватывает достаточно большое количество различных катионов и проведено достаточно широко и с различными растениями, может дать ряд интересных выводов, могущих, помимо своего глубокого теоретического значения, иметь применение и в земледелии. Настоящее предварительное сообщение будет служить доказательством этой моей мысли: те же опыты, повторенные мною в нынешнем вегетационном периоде¹ в тех же сосудах с добавлением лишь необходимых питательных веществ, дали возможность ближе подойти к давно уже интересующему меня вопросу о причинах отрицательного действия известки на некоторых почвах под некоторыми растениями, когда последняя внесена в почву выше некоторой дозы, различной для различных почв; этот вопрос я считаю очень существенным и актуальным вообще для практики известкования.

В самом деле, на известкование нельзя смотреть лишь как на меру поднятия урожайности почвы; значение его гораздо шире: как мною доказано и много раз указывалось, углекислый кальций, внесенный в почву в достаточном количестве (во всяком случае в количестве, большем, чем это нужно для создания оптимальных условий урожайности), предохраняет почву (в условиях достаточно влажного климата) от неминуемого в противном случае разрушения почвы и именно ее наиболее ценной для человека части — поглощающего комплекса. Известкование является не только временной в целях повышения на ближайшее время урожайности почвы, но и коренной мелиорацией почвы. Конечно, для такой мелиорации требуется затрата известных средств и на само известкование и на повышенное удобрение почвы питательными веществами, но при социалистической конструкции сельского хозяйства заботы о будущем должны занимать видное место в современной работе, а кроме того, при социалистическом земледелии и самые затраты на коренное известкование и сопряженное с ним удоб-

¹ Мною были использованы в 1930 и 1931 гг. сосуды с почвами, насыщенными ранее вышеуказанными катионами, так как они по существу могли быть использованы в определенных целях и так как я не имел возможности по различным условиям вновь приготовить почвы, насыщенные теми же катионами, а тем более увеличить, как предполагал, количество этих катионов.

рение почвы должны значительно снизиться. Перефразируя старую, кажется, английскую, поговорку (основанную на полном недоразумении), что «известь обогащает отцов и разоряет детей», можно сказать, что при правильном известковании мера эта обогащает и отцов и детей и предохраняет праправнуков от разорения. Но известкование выше известной нормы, недостаточной еще, однако, для защиты почвы от разрушения, может, как мы знаем, оказать и отрицательное влияние; совершенно понятно, что пока мы не изучим причины этого явления, пока мы не будем его правильно понимать, а значит, и не будем уметь бороться с ним, до тех пор известкование как коренная меллорация почв будет приемом опасным, могущим понизить урожайность почвы. Если же мы полностью овладеем явлением отрицательного действия избыточного известкования (будем знать причину такого действия, отношение к нему различных наших культурных растений и зависимость этого действия от определенных свойств почвы), то, очевидно, будем в состоянии теми или другими приемами парализовать это отрицательное влияние¹.

Отрицательное действие на урожай известкования, как и вообще действие углекислого кальция на почву, проявляется очень разнообразно: но большая часть этих влияний выражена мало интенсивно и зависит от неблагоприятного действия избытка пона кальция в почве на процессы мобилизации органического азота и труднорастворимых фосфорнокислых соединений почвы²: присутствие в почве некоторого количества обменного водорода³ (т. е. некоторая недокасыщенность почвы кальцием), если оно еще не вредно данному растению, благоприятствует подвижности почвенных соединений, но вместе с тем уже является причиной разрушения почвенного поглощающего комплекса.

В настоящем сообщении я не буду касаться подобных слабоотрицательных влияний избыточного известкования, причины их нам в общем известны, и потому бороться с ними мы можем, нужно лишь уметь их констатировать в каждом конкретном случае. Я здесь имею в виду остановиться на том резко выраженном отрицательном действии извести, которое проявляется при внесении лишь на некоторых почвах и под некоторыми растениями и не может быть уничтожено обычными удобрительными туками.

Такое действие извести мне пришлось наблюдать впервые в 1900 г. в опытах⁴, проводившихся при ближайшем моем участии в сельскохозяйственной химической лаборатории при бывш. Петербургском лесном институте на одном образце сильнооподзоленной почвы б. Смоленской губернии; эта почва, с одной стороны, сильно благоприятно реагировала на

¹ Особое значение вопрос о вредном влиянии избыточных доз извести приобретает в севооборотах с растениями, обладающими различной чувствительностью к большим дозам и дающими максимальный урожай при различных количествах извести. Совершенно понятно, что, не разрешив этого вопроса, нельзя полностью использовать в севообороте все те возможности, какие может дать известкование для каждого в отдельности растения севооборота.

² Во избежание недоразумения должен оговориться, что для целого ряда почв (подзолистого типа) различными исследователями и в том числе и мной констатировалось благоприятное (и иногда очень сильное) действие извести на повышение доступности растениям азота и фосфора почвы; но такое действие извести на почвенные фосфаты, повидимому, имеет место лишь до известной дозы извести и, весьма вероятно, в течение лишь некоторого периода времени. Весьма существенно было бы углубить изучение действия извести на почву в этом отношении.

³ К. К. Г е д р о й ц. Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция. «Труды Носовской сельскохозяйственной опытной станции», вып. 43, 1926.

⁴ Л. А л ь т г а у з е н. Опыты по известкованию. «Труды сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. VI, 1909, стр. 147.

внесение извести под всеми исследованными растениями, урожай правильно повышался с увеличением доз углекислого кальция, а с другой стороны, она же при внесении CaCO_3 в количестве выше некоторой дозы обнаруживала резкое падение урожая некоторых растений (из исследовавшихся тогда растений—ячмень, горчица, вика, клевер, гречиха—такое вредное действие было констатировано под гречихой и особенно сильно под викой и горчицей). Поиски мои других почв с таким же резко отрицательным отношением к избыточному известкованию долго не увенчивались успехом, и только в 1925 г. среди целого ряда девственных почв Ленинградской области, исследовавшихся руководимой тогда мною вегетационной станцией Отдела почвоведения ГИОА, мне удалось снова натолкнуться на подобную почву, но это был сильно торфянистый горизонт (А) лесной почвы (общее с почвой 1900 г. у этой почвы была сильная ненасыщенность основаниями); относительно подзола 1900 г. сужу о степени ее ненасыщенности хотя и по несомненному, но все-таки лишь по косвенным данным, так как в то время о явлении ненасыщенности еще не было представления: почва же 1925 г. имела на 100 г при общей емкости обмена 36,2 м-экв. обменного водорода 34,5 м-экв. и полную гидролитическую кислотность, определенную различными методами, 95,0 м-экв.

То обстоятельство, что обе эти почвы одинаково отрицательно относились к избыточному известкованию, резко различались между собой всеми своими признаками, кроме одного—сильной ненасыщенности, между тем как все бывшие у меня в исследовании почвы, сравнительно слабо ненасыщенные, отзываясь благоприятно на известкование, не реагировали отрицательно или вовсе или лишь слабо на испытывавшиеся большие дозы извести, привело меня к убеждению, что эти два явления, т. е. сильное благоприятное действие извести и сильное отрицательное ее действие, тесно связаны между собой (если имеет место первое, то будет иметь место под чувствительными растениями¹ и второе явление) и проявляются они при сильной ненасыщенности почвы основаниями и что именно эта сильная ненасыщенность основаниями является причиной того и другого явления.

Такой вывод привел меня к другому выводу, а именно к тому, что к изучению явления неблагоприятного действия больших доз извести необходимо подходить иным путем, не тем, который применялся и применяется до сих пор, а именно не опытами с естественными почвами разной кислотности (имею в виду и обменную и гидролитическую), так как такие почвы вместе с тем будут отличаться и другими свойствами, что, конечно, затемняет изучаемое явление, а опытами с одной почвой, подходящей для данного вопроса, насыщенной, с одной стороны, различными катионами, каждым в отдельности и в различной комбинации, а с другой стороны, и главным образом, насыщенной полностью и насыщенной в разной степени водородным ионом, что я и стал проводить сначала в Ленинградской и Носовке, а в настоящее время на Долгопрудном опытном поле в значительно более широком (но все же в недостаточном) масштабе. Между прочим, в 1929 и 1930 гг. я провел небольшой опыт с известкованием в различных дозах тучного чернозема, полностью насыщенного водородом, с овсом и горчицей, а в текущем году в тех же сосудах—с гречихой и викой; опыты эти еще не опубликованы, и в настоящей заметке я их касаюсь лишь мимоходом, тем более что опыт этого года еще не закончен; подробно

¹ А возможно также, и под нечувствительными растениями, если взять соответственно большие дозы.

все полученные результаты как этого опыта, так и всех остальных, касающихся общей темы—почвенные обменные катионы и растение—и, в частности, вопроса об обменном водороде, будут опубликованы мною особо; теперь же я только укажу, что мои предположения оправдались полностью: во-первых, почва, полностью насыщенная водородом, проявила себя в отношении известкования совершенно аналогично двум вышеупомянутым почвам, а во-вторых, действительно оказалась незаменимым объектом для изучения вопросов известкования. На основании данных этого предварительного опыта мною в текущем году был заложен гораздо более обширный вегетационный опыт на 170 сосудов с почвой, полностью насыщенной водородом, и одновременно с пятью растениями: овсом, гречихой, клевером, льном и горчицей. В этих опытах (еще также не законченных) овес не обнаружил отрицательного отношения к самым большим дозам извести, гречиха резко страдала и гибла лишь при самых больших дозах; наиболее чувствительными к избыточному известкованию из испытанных растений оказались горчица и лен (при применявшихся градациях углекислого кальция эти растения проявили себя одинаково), а клевер занимал среднее место между ними и гречихой.

Во время постановки вышеупомянутого опыта с известкованием почвы, насыщенной водородом, уже выявились результаты в сосудах моих прошлогодних опытов, засеянных различными растениями, и, между прочим, опыта с почвой, насыщенной полностью различными катионами, где в текущем году была посеяна горчица. И вот в этом опыте обнаружилось на первый взгляд странное явление: горчица почти всюду гибла или развивалась чрезвычайно плохо и там, где прошлые годы не рос овес, и там, где он развивался достаточно нормально при внесении в почву углекислого кальция; теперь же углекислый кальций не только не способствовал росту горчицы (например, на почве, полностью, насыщенной алюминием, железом и т. д., как это имело место в тех же сосудах с овсом)¹, но даже в некоторых случаях, наоборот, горчица быстрее гибла в тех сосудах, куда вносился CaCO_3 ; выделялись только две почвы: насыщенная магнием и насыщенная водородом; на этих почвах горчица без CaCO_3 погибла, а в присутствии CaCO_3 развивалась хорошо. Сосуды в этом опыте, как я уже указывал, оставались с прошлых лет; в нынешнем же году почва из каждого сосуда вынималась и перемешивалась с новой порцией питательных веществ в количестве, соответствующем величине прошлогодних урожаев; чтобы вполне убедиться, что при таком перебивании сосудов не произошло какой-либо ошибки, горчица, когда развитие ее вполне определилось, была удалена и был произведен посев овса. Овес всюду развивался так же, как в прошлые годы. Таким образом, предположение о какой-либо ошибке при перебивке сосудов отпадало: в этом опыте углекислый кальций создавал благоприятные условия для роста горчицы лишь на почве, насыщенной полностью водородом или магнием. Результат на почве, насыщенной водородом, был вполне понятен, так как углекислого кальция на этой почве было дано как раз то количество, при котором у нас в опыте известкования почвы, насыщенной водородом, создавались оптимальные условия

¹ См. «Удобрение и урожай», 1930, стр. 474. Особенно разительное различие в росте овса и горчицы проявилось на почве, насыщенной целиком Са: в 1930 г. овес дал по полному удобрению 6,8 г на сосуд, а по полному с CaCO_3 —8,5 г и развивался в обоих случаях вполне нормально; горчица же в 1931 г. (в сосуды при перебивке их было внесено полное удобрение) развивалась очень плохо, даже хуже, чем на почве, насыщенной Fe, и примерно так же плохо, как на почве, насыщенной алюминием по полному удобрению с углекислым кальцием.

для роста горчицы; положительное же действие CaCO_3 на почве, насыщенной магнием, и отрицательное его действие на почвах, насыщенных остальными катионами и особенно кальцием (под горчицу в этом опыте в текущем году был всюду внесен, между прочим, сернокислый магний как питательное вещество в количестве 0,01 г MgO на 100 г почвы), я мог объяснить себе только лишь создавшимся в почвах этих сосудов отношением между Ca и Mg , а именно тем, что это отношение оказалось достаточно благоприятным в сосудах с почвой, насыщенной водородом и магнием, а в почвах, насыщенных другими катионами, оно было сильно неблагоприятным вследствие большого избытка Ca над Mg .

В начале нынешнего столетия О. Лоев¹ выступил с теорией, по которой для получения максимального урожая необходимо определенное, для каждого растения свое, отношение между кальцием и магнием в питательной среде в силу их антагонистической физиологической роли, уклонение от этой величины отношения в ту или другую сторону вызывает понижение урожая. Исходя из этого, Лоев указывал, что одной из целей известкования почвы является устранение вредного избытка в почве магния. Вопрос вызвал громадную литературу; появилось очень большое число исследований как с физиологической стороны, так и с точки зрения практики известкования. На этой литературе я сейчас останавливаться не буду; укажу лишь, что в отношении выяснения вопросов, связанных с известкованием почвы вообще и в частности с отрицательным действием избытка извести на различные растения, теория Лоева осталась совершенно неиспользованной, все попытки использовать ее в этом направлении оканчивались неудачей; получилось такое положение, что с физиологической стороны антагонизм кальция и магния и необходимость для получения максимального развития правильного соотношения между этими элементами подтвердились многими исследователями², применительно же к росту растений на почвах обнаружился целый ряд фактов, противоречащих этой теории³; сразу же возник вопрос, о каком кальции и магнии в почвах идет в данном случае речь; О. Лоев разъяснил⁴, что надо принимать во внимание формы этих соединений, доступные корням растений, и вместе с тем считал, что для определения этих форм наиболее подходящей является 10% солянокислая вытяжка; совершенно ясно, что при полной неопределенности понятия «соединения, доступные корням растений» и полном несоответствии данных 10% солянокислой вытяжки с тем, что растение может на самом деле взять из почвы, не могло быть никакой закономерности между действием различных доз извести и содержанием в почве кальция и магния, извлекаемых такой вытяжкой. Достаточно указать на тот факт, что избыточное известкование оказывает как общее правило неблагоприятное действие как раз в областях со сравнительно влажным климатом, где отношение $\text{Ca} : \text{Mg}$ как валовых, так и солянорастворимых вообще меньше, а иногда и значительно меньше, чем в областях с более сухим климатом, на почвах которых и в природе и по опытам такого неблагоприятного влияния даже очень

¹ Первая статья О. Лоева по этому вопросу напечатана в 1901 г. (Liming of Soils from a Physiological standpoint. Bull. I, Bur. of Plant-Ind. U. S. Depart. of Agriculture).

² См., например, работы И. Конювалова. «Журнал опытной агрономии», т. 8, 1907, стр. 257; т. 10, 1909, стр. 303. «Изв. Киевск. политехн. инст.», 1907.

³ См., например, статьи А. Дояренко. «Журн. оп. агр.», т. 14, 1903, стр. 183; D. Meyer. Landw. Jahrb., 1904, стр. 371.

⁴ О. Лев. «Журн. оп. агр.», 5, 1904, стр. 193.

больших количеств CaCO_3 вовсе не замечается, чтобы понять причину того, что теория L o e w'a не только не отразилась на работах по известкованию почв, но была настолько забыта, что теперь о ней почти вовсе не вспоминают. А между тем уже те опыты, которые ставились нами в начале этого столетия в сельскохозяйственной химической лаборатории, о которых я говорил раньше, очень близко подходили к решению вопроса о причинах губительного действия CaCO_3 с точки зрения отношения $\text{Ca} : \text{Mg}$, но отсутствие представления о почвенном поглощающем комплексе, о составе поглощенных катионов в почве и о ее емкости обмена не давали возможности сделать соответствующий вывод. Приходилось искать другие объяснения; в создании двух таких гипотез я принимал очень близкое участие. Первая состояла в том, что избыточное известкование может в некоторых подзолистых почвах вытеснять из минеральной части имеющийся там натрий и образующаяся сода уже губит растение; с развитием моей теории солонцеватости такое объяснение пришлось отбросить. Второе объяснение заключалось в том, что внесение извести в избыточном количестве вызывает очень бурную мобилизацию растворимых в воде соединений почвы, высокая концентрация которых может на известных почвах пагубно действовать на растение. Исследования действительно подтвердили, что известкование часто вызывает значительное повышение воднорастворимых веществ, которое может повысить урожай; но, с другой стороны, опыты показали, что губительное действие больших доз извести не уничтожается ни предварительным промыванием произвесткованной почвы ни продолжительным промежутком времени между внесением в почву извести и посевом растения (например, повторный посев на следующий год). Это предположение также не может объяснить гибели растений.

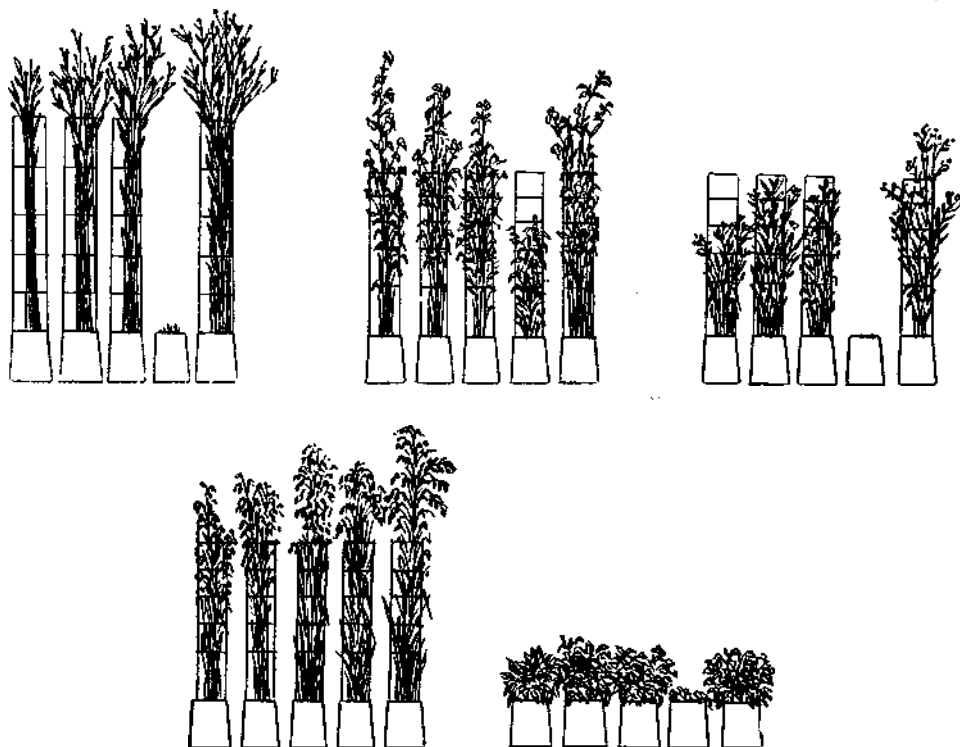
То, что показали мне, как я упоминал выше, опыты этого лета с горчицей на почве, насыщенной полностью различными катионами, и дальнейшие еще не законченные опыты с той же горчицей на почве, насыщенной в различной степени магнием, и с различными растениями на почве, насыщенной водородом, по различным дозам извести привели меня к определенному выводу, что создающееся отношение между кальцием и магнием играет, повидимому, решающую роль в сильно неблагоприятном действии извести, приводящем при избыточных дозах ее к полной гибели некоторых растений на почвах, сильно отзывчивых положительно на известь при меньших ее дозах, и что поэтому при изучении отрицательного действия больших доз извести необходимо обратить особое внимание на магний в почве.

Здесь я имею таким образом в виду не то понижающее максимальный урожай влияние извести, о котором говорит Loew¹, а вредное губящее растения действие.

К такому выводу я пришел, когда уже почти вся приготовленная мною почва, полностью насыщенная водородом, была использована на набивку сосудов по теме действия различных доз извести под пятью растениями; из оставшейся почвы мне удалось поставить еще только четыре сосуда под каждое из пяти растений, и я остановился для предварительного испытания значения отношения между Ca и Mg на замене углекислого кальция доломитом; были поставлены два сосуда с доломитом в количестве, эквивалентном дозе CaCO_3 , по предположению еще не совсем достаточной для получения максимального урожая всех пяти растений (40 м-экв. на 100 г почвы при оптимальной в среднем около 50 м-экв.) и два сосуда с двойной дозой

¹ См. «Журн. оп. агр.», т. 5, 1904, стр. 193.

доломита (эквивалентное количество CaCO_3 совершенно губило горчицу, лен, клевер и несколько понижало рост овса). Цифровых данных результата привести не могу, растения еще не созрели; привожу фотографический снимок. Результат вполне определенный и ясный: при том же количестве нейтрализующего вещества (80 м-экв. на 100 г почвы) один углекислый кальций губит или понижает урожай, а сумма углекислых кальция и магния (в данном случае в равных количествах) не только совершенно пре-



Действие на растения избыточной дозы CaCO_3 и эквивалентного ей количества доломита

Первый сосуд каждого растения—по первоначальному чернозему; остальные—по тому же чернозему, полностью насыщенному водородом, причем во вторые сосуды дано по 40 м-экв. CaCO_3 ; в третьи—по 40 м-экв. доломита; в четвертые—по 80 м-экв. CaCO_3 и в пятые—по 80 м-экв. доломита. Все сосуды с полным удобрением.

кращает гибель, но даже доводит урожай некоторых растений (в данном случае льна, клевера, гречихи и овса) до максимального, полученного в данной серии опытов (насколько можно об этом уже судить по виду растений); что касается горчицы, то внесение равных количеств магния и кальция не полностью уничтожило вредное действие одного углекислого кальция (в этом, между прочим, я вижу косвенное доказательство значения отношения между кальцием и магнием, ибо было бы удивительно, если бы одинаковое отношение было одинаково же благоприятно для всех растений и если бы мы сразу на него наскочили; наоборот, это служило бы поводом думать, что здесь действует что-то другое); отношение горчицы к доломиту очень интересно: с самого начала опыта и до полного цветения горчица развивалась по 80 м-экв. доломита даже лучше, чем горчица в оптимальных

условиях, но затем цветы, не завязывая плодов, стали сохнуть¹. Такого действия доломита на зерно других растений не замечается; интересно далее отметить, что меньшая из наших доз доломита дала горчицу с менее развитыми вегетативными органами, нежели соответствующая доза углекислого кальция, но с более развитыми и полными стручками.

Кроме этого опыта, мы провели кое-какие другие предварительного характера (что вызывалось недостатком почвы и поздним временем) с перебивкой сосудов, на которых растения уже погибли, с внесением в почву различных количеств углекислого магния (лабораторного) и магнезита; эти опыты нас еще более убедили в правильности нашего вывода, что причиной сильно отрицательного действия CaCO_3 на кислых почвах является избыток кальция по сравнению с магнием. Общая картина (сейчас могу говорить лишь о таковой; для большей определенности и детальности необходимы дальнейшие всесторонние исследования вопроса) действия все повышающихся доз углекислого кальция на почве, полностью насыщенной водородом, представляется мне таким образом. Если такая почва будет вполне обеспечена питательными веществами (N, P, K), то в минимуме в ней будет реакция; все повышающиеся дозы CaCO_3 будут сначала вызывать все повышающийся урожай всех растений; как мы раньше доказали, растения могут использовать из почвы тот магний, который находится там в обменном состоянии (или который, быть может, не полностью вытесняется и при полном удалении кальция—последние следы обменных катионов вытесняются с большим трудом, а следы по качественной реакции—это килограммы на гектар); кальций же углекислого кальция с жадностью поглощается почвой; по мере насыщения почвы кальцием и повышения pH создаются, с одной стороны, все лучшие условия в отношении реакции, и, с другой стороны, все возрастает отношение Ca : Mg, доступных корням растений; при том или другом количестве внесенного CaCO_3 для каждого данного растения создается уже неблагоприятное соотношение между этими элементами, так что наконец начинается превалирование над благоприятным действием CaCO_3 , как нейтрализатора; начинается понижение урожая; этот пункт должен быть различным для различных растений, поскольку различно их отношение к величине pH и величине соотношения кальция и магния; все восходящая сначала линия урожая достигает своего максимума; *получаем интервал благоприятного действия углекислого кальция* (на почве, полностью насыщенной водородом,—от 0 до

¹ Конечно, вышеприведенный опыт с доломитом не является еще решающим доказательством роли отношения Ca : Mg, так как доломит, несомненно, труднее реагирует с кислой почвой, нежели углекислый кальций (да еще лабораторный), и возможно поэтому предположение, что действие избыточных доз доломита слабее, нежели углекислого кальция, и что потому в нашем опыте доломит не дал отрицательного результата; возможно, что значительно большие дозы его дали бы также такой отрицательный результат. Мы вполне допускаем такое возражение и считаем совершенно необходимым дальнейшее углубленное изучение всего этого вопроса, и главная цель нашей статьи, как мы указывали выше, и состоит именно в подчеркивании этой необходимости; но вместе с тем и тот материал, какой у меня уже имеется, в значительной степени ослабляет это возражение; я, например, сознательно, имея в виду именно особенности взаимодействия доломита с почвой, ввел в опыт сосуды с малой дозой доломита, эквивалентной количеству углекислого кальция, еще недостаточному для получения максимального урожая (40 м-экв. на 100 г почвы). Как видно по рисунку, по доломиту в этом случае заметно ниже урожай получился только у горчицы, у других же растений (и в том числе у такого чувствительного к кислотности, как лен) урожай такие же или почти такие же, как по углекислому кальцию. Затем у меня имеется небольшой опыт с внесением под горчицу, лен и клевер вместо 25 г CaCO_3 (полная гибель растения) 20 г CaCO_3 и 4,2 г магнезита—растения растут нормально.

некоторой величины урожая; на почве менее кислой—от некоторой величины до максимальной). Далее идет падение кривой, имеем *интервал неблагоприятного действия* CaCO_3 , вызываемый неблагоприятным повышением отношения Са к Mg; у одних растений интервал этот очень короток, например у горчицы и льна; в пределах нашей градации доз (довольно все-таки дробной градации в 2,5 м-экв. CaCO_3 приемкости обмена около 50 м-экв.) у горчицы, например, при 50 м-экв. получился максимальный урожай (сужу только по внешнему виду), при 52,5—небольшое уже понижение, а при 55 м-экв.—полная гибель (все данные на 100 г почвы). У клевера он уже шире; у гречихи еще шире (максимум около 55 м-экв., а почти полная гибель только при 100 м-экв.); у овса же при очень крутой восходящей линии урожая получилась после максимального урожая очень слабо наклонная вниз линия; даже при 100 м-экв. CaCO_3 какого-либо страдания или ненормального урожая мы не имеем; интервал неблагоприятного высокого отношения Са к Mg у овса очень широкий; возможно, конечно, что при дальнейшем повышении количества CaCO_3 мы и для этого растения получим дозу извести, губящую его. В этой области нисходящей линии урожая мы уже имеем в первом минимуме не реакцию почвы, а отношение Са : Mg¹.

О каком собственно кальции и магнии для рассматриваемого отношения приходится говорить? Конечно, не о тех, которые извлекаются 10% солянокислой вытяжкой. Принятие этих количеств для установления благоприятного отношения Са : Mg в почве было той основной ошибкой Loew'a (правда, вполне естественной при том состоянии наших знаний), тем слабым методом, вследствие которого агрохимики отвергли эту теорию и перестали ею заниматься. Иное дело теперь, когда мы знаем, хотя и неполностью, об емкости обмена почвы и об активных кальции и магнии в почве, а именно об обменных кальции и магнии, об обменной и гидролитической кислотности. Теперь с точки зрения почвенного поглощающего комплекса не только можно дать объяснение многим фактам, противоречившим раньше значению отношения Са : Mg, но и выяснить многие теперь еще темные вопросы известкования; нельзя не отметить, что, используя широко учение об обменной и гидролитической кислотности почвы, мы уже в отношении дальнейшего углубления вопросов известкования уперлись в стену и вертимся все вокруг одного и того же пункта. Чтобы сдвинуться с этой мертвой точки, нужно что-то новое; таким новым я считаю изучение и принятие во внимание отношения между Са и Mg в почвенном поглощающем комплексе (это как первое приближение). Я в этом кратком предварительном сообщении не могу останавливаться на многих интересных и важных моментах известкования, выясняющихся при систематическом проведении теории Loew'a, так сказать, через почвенный поглощающий комплекс; главная цель этой статьи—обратить внимание работающих в области известкования на очень вероятную возможность дальнейшего продвижения многих вопросов известкования, если учитывать отношение обменных кальция и магния в почве, и заинтересовать их в этом направлении. Для меня совершенно ясно, что с учетом одной лишь гидролитической кислотности почвы дальше не сдвинуть с места, например, вопрос об оптимальных дозах извести; почему на одних почвах оптимальной дозой является, например, двойная гидролитическая кислотность, а на других—пятерная

¹ Весьма вероятно, что удовлетворение этого минимума (при полной обеспеченности в питательных веществах) вызовет появление другого (третьего уже) минимума—неправильного соотношения между кальцием или магнием и каким-либо другим элементом.

и т. д. Для разрешения этого вопроса, да и многих других, необходим учет не только гидролитической кислотности, но и величины емкости обмена, а также абсолютных количеств обменных кальция и магния и их отношений между собой. В большинстве же опубликованных исследований, если еще емкость обмена кое-где принимается во внимание, то о поглощении Mg, как правило, совершенно не упоминается. Интересно отметить тот факт, что многое из того, что мне (знаю также, что и другим) мешало серьезно отнестись к значению отношения Ca : Mg как раз в свете поглощающего комплекса, подтверждает это значение. Остановлюсь несколько на этом вопросе.

В тучном черноземе мы имеем некоторое отношение между обменными, а значит, и доступными Ca и Mg; вполне ли оно благоприятно или нет, сказать без исследования нельзя; одно несомненно, что оно без заметного ущерба для урожаев, например горчицы и овса (мы работали с этими растениями), может быть еще повышено, так как даже очень большие дозы CaCO_3 сколько-нибудь заметно не понижают урожая; на черноземе потому CaCO_3 не действует вредно, что в поглощающем комплексе его достаточно обменного магния; в процессе оподзоливания с уносом из почвы поглощенных кальция и магния притом первого относительно больше, чем второго, с вхождением вместе с тем в почву обменного водорода и понижением общей емкости обмена постепенно уменьшается отношение между доступными растениям кальцием и магнием; почва становится отзывчивой на известкование и как на нейтрализатор кислотности и как на регулятор отношения Ca и Mg, но по мере того как почвенный поглощающий комплекс насыщается кальцием углекислого кальция в соответствии с величиной емкости обмена и абсолютным содержанием обменного магния в почве, величина отношения Ca : Mg в почве из недостаточной для нормального роста растения переходит обратно в слишком высокую, и растение начинает страдать от избытка извести. Тут возникает интересный вопрос, заключающийся в следующем. Опыты с насыщенным основаниями черноземом и в песчаных культурах (такие опыты в расширенном виде и с тем же черноземом, из которого готовилась почва насыщенная, я повторил в этом году) определенно показывают, что углекислый кальций в условиях растворимости его в естественном черноземе (а в песчаных культурах даже при пропускании в сосуды тока углекислоты) даже, как мы указывали выше, при очень больших дозах не вредит растениям; значит, его растворимость такова, что находящийся в растворе двууглекислый кальций не вреден растениям¹ ни сам по себе, ни влиянием на величину отношения Ca : Mg (понятно, что с увеличением дозы труднорастворимого вещества в почве количество его в почвенном растворе не может возрастать сколько-нибудь заметно). Почему же в том же черноземе, но превращенном в ненасыщенный основаниями, все увеличивающиеся дозы CaCO_3 уже после вытеснения обменного водорода (целиком или в большей или меньшей его части) начинают вредить растению и притом все сильнее и сильнее по мере дальнейшего увеличения дозы. Казалось бы, что если губительное действие углекислого кальция обуславливается созданием в почве слишком высокого отношения кальция к магнию, то таковое отношение должно создаваться в почве уже при той дозе CaCO_3 , когда из почвы вытеснен уже весь обменный водород и

¹ Я провел в текущем году небольшие кратковременные водные культуры с вишней и горчицей на обычной питательной среде, но слабой концентрации (при перемене через каждые три дня питательной смеси) с прибавлением в банки больших количеств CaCO_3 , MgCO_3 , доломита, $\frac{1}{3}\text{CaCO}_3 + \frac{1}{2}\text{MgCO}_3$. Растения росли во всех случаях, кроме сосудов с одним MgCO_3 .

остался небольшой остаток углекислого кальция, так как уже тогда почвенный раствор должен был содержать максимальное количество растворенного кальция, дальнейшего же увеличение количества твердой трудно-растворимой фазы (CaCO_3) не должно повышать растворимость; иначе говоря, казалось бы, что для всех растений интервал неблагоприятного действия CaCO_3 должен быть очень короткий, каков он, например, у гречицы и льна (50 м-экв. CaCO_3 на 100 г почвы—оптимальное развитие, 52,5 м-экв.—слабое понижение, а 55,0 м-экв.—полная гибель растения); а между тем у гречицы, например, а особенно у овса, интервал этот очень широк (у гречицы оптимум около 50—52,5—55,0 м-экв., а почти полная гибель только при 100 м-экв.). Связывать это так или иначе с большой растворимостью CaCO_3 вследствие больших количеств CO_2 , выделяющейся при взаимодействии CaCO_3 с почвой, насыщенной водородом, нет никаких оснований, так как продолжительное промывание избыточно известковавшейся почвы и посев растений после продолжительного стояния в пару известковавшихся сосудов не изменяет, как уже указывалось, в общем явления, так что тут, несомненно, дело не в этой углекислоте. Может быть, тут играет роль растворяющая и выкачивающая деятельность корней растений, различная у различных растений и воздействующая в присутствии в почве CaCO_3 почти исключительно на него, а в условиях сосуда (без взбалтывания) тем сильнее, чем больше в почве будет CaCO_3 ; возможно здесь и участие самой почвы ее способностью к гидролитическому расщеплению CaCO_3 с поглощением CaO ; по-моему, такое поглощение (т. е. гидролитическая кислотность сверх обменной) имеет физический характер; утверждать это я еще не могу, но имеющиеся у меня данные скорее говорят именно в пользу такого объяснения; если это так, то нужно признать, что связь поглощенного таким способом кальция с почвой очень непрочная; такой кальций должен быть значительно доступнее растениям, чем обменный; а вместе с тем в условиях опять-таки сосуда, где и жидкости мало и нет никакого механического перемешивания, гидролитическое расщепление будет тем полнее, чем больше в сосуде избытка твердого углекислого кальция. То же, конечно, но только в меньшей степени, должно проявиться и тогда, если в результате гидролитического расщепления поглощаемый кальций переходит в обменный, так как несомненно, что чем ближе кальций к состоянию, насыщающему обменную способность почвы, тем он рыхлее связан с почвой и тем легче он доступен растениям; а такое окончательное насыщение почвы кальцием должно происходить очень медленно и в условиях сосуда тем полнее и скорее, чем больше в почве будет углекислого кальция.

С точки зрения роли отношения $\text{Ca} : \text{Mg}$ во вредном действии избыточного известкования становится совершенно понятной та разногласия, которая имеется в результатах опытов на различных почвах в отношении зависимости оптимальной дозы извести для одного и того же растения от обменной и гидролитической кислотности. Совершенно ясно, что две почвы, обладающие одинаковой кислотностью, могут и будут вообще иметь различные абсолютные и относительные количества обменного кальция и обменного магния, а потому будут требовать для оптимального урожая различных количеств извести.

В заключение укажу на одно явление, которое мне приходилось наблюдать и раньше, а в текущем году особенно резко, вследствие сильного запоздания с постановкой некоторых опытов: вредное действие избытка углекислого кальция на сильно чувствительные к нему растения находится, повидимому, в зависимости не только от почвы, но и от метеорологиче-

ских условий; чем жарче погода, тем быстрее рост и сильнее транспирация. тем вреднее одна и та же доза извести и особенно тем быстрее начинается страдание всходов и окончательная гибель растения. В нашей основной схеме опытов текущего года на почве, насыщенной водородом, с посевом горчицы 8 июля при долго державшейся затем очень жаркой погоде доза извести в 100 м-экв. на 100 г почвы очень быстро губила уже всходы горчицы; между тем на той же дозе и на той же почве горчица, посеянная 14 августа уже в значительно более прохладную погоду, растет без видимого страдания еще и в настоящее время. Мы предполагаем в дальнейшем обратить особое внимание на это явление и попытаться выяснить его специальным исследованием, потому что, если оно подтвердится, то мы будем иметь сильное подкрепление тому, что губительное действие больших доз извести вызывается физиологической ролью кальция в самом растении.

Метеорологические условия, поскольку они влияют на величину и ход испарения воды растением, вообще должны играть большую роль в количестве так называемых доступных растению питательных веществ в почве и в ходе их поступления в растения. Это очень существенно учитывать при оценке методов определения плодородия почвы*.

* Работы акад. К. К. Гедройца по вопросу о влиянии соотношения поглощенных кальция и магния на физиологические процессы в растениях и на их урожай получили дальнейшее развитие в исследованиях акад. О. К. Кедрова-Зихмана и других, показавших, что присутствие магния в известковых удобрениях повышает их эффективность особенно при культуре клевера, а также свеклы и других корнеплодов, картофеля, люпина, сераделлы. Установлено, что соотношение между поглощенным кальцием и магнием может достигать до 1 : 1, что позволяет широко применять в качестве известковых удобрений доломитовую муку и другие материалы с высоким содержанием магния.—Ред.

Долгопрудное, сентябрь, 1931 г.

ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙ МАРГАНЦА, АЛЮМИНИЯ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ МЕТАЛЛОВ, ВВЕДЕННЫХ В ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС В РАЗЛИЧНЫХ КОЛИЧЕСТВАХ¹

Изучение действия марганца и алюминия на рост растений представляет несомненный интерес, так как, во-первых, оба эти элемента в почвах имеются и могут быть в них в такой подвижной форме, при которой непосредственное их воздействие на растение всегда возможно; совершенно ясно, что мы должны знать, как эти элементы, не являясь необходимыми питательными веществами для растений², влияют на высоту урожая.

Из многочисленных исследований, произведенных до сих пор, мы знаем, что оба эти элемента, внесенные в почву в виде солей выше некоторой дозы (вообще небольшой), являются уже вредными для растения; а с другой стороны, по крайней мере в отношении марганца, относительно которого существует уже колоссальная литература, известно, что в некоторых случаях на некоторые растения при некоторых дозах несомненно его стимулирующее действие на рост растений.

В связи с поставленной себе общей целью агрохимического изучения почвенного поглощающего комплекса и, в частности, агрохимического изучения обменных катионов этого комплекса мы между прочим наметили в программе своих исследований изучить действие на растение ряда металлов, введенных искусственно в почвенный поглощающий комплекс. Изучение стимулирующего или токсического действия на растение тех или других катионов должно идти двумя путями; необходимо, с одной стороны, изучить это действие в зависимости от концентрации этих катионов в питательной среде, что возможно только в том случае, когда среда в отношении взятого катиона индифферентна (не переводит его в связанное состояние), т. е. в водных и песчаных культурах; с другой стороны, необходимо изучать действие этих катионов, когда они находятся в почве в обменном состоянии и в почве нет непрореагировавшей с поглощающим комплексом растворимой соли взятого катиона; только в этом случае мы будем иметь определенные условия. Когда изучение действия какой-либо соли, например марганца, производится таким образом, что ко взятой почве

¹ Вегетационные опыты, давшие материалы для настоящей статьи, проведены мною на Долгопрудном опытном поле при ближайшем участии В. Г. Тарановской, С. Г. Шедерова и А. Н. Вольской.

² Не исключена возможность того, что так называемые «стимулянты» в очень малых количествах так же необходимы растению, как и так называемые «питательные элементы».

прибавляют те или другие количества этой соли, то условия опыта, во-первых, получаются совершенно неопределенные: та или другая часть, но всегда неопределимая, введенного в почву катиона поглощается почвой, остальная часть его остается в растворе; совершенно ясно, что соотношение между этими двумя частями зависит от свойств взятой почвы, зависит от количества прибавленной соли, зависит далее от концентрации ее в почвенном растворе, а значит, от влажности почвы; далее при таком способе исследования мы имеем в почвенном растворе, кроме изучаемого катиона, тот анион, с каким был взят катион в прибавлявшейся соли, а также те катионы, которые были вытеснены из почвы изучаемым катионом, и в результате опыт с почвой может только показать общий эффект на растение всей совокупности этих сложных условий. Для проведения опыта в возможно чистом виде, очевидно, надо расчленить изучение таким образом, как я указал выше; это два совершенно отдельных вопроса.

Особое значение изучение действия на растения различных катионов, введенных в почвенный поглощающий комплекс, имеет в областях достаточного увлажнения (естественного и искусственного), в которых непрореагировавшая соль, а также продукты замещения рано или поздно будут вымыты из почвы и в почве, таким образом, исследуемый катион останется лишь в поглощенном состоянии, а содержание его в почвенном растворе будет тогда производным от содержания его в поглощающем комплексе.

В своей предшествующей статье я показал действие на овес ряда катионов, когда каждый из них полностью насыщал всю емкость обмена исследовавшегося чернозема. Некоторые из этих катионов при полном ими насыщении почвы и при полной обеспеченности азотом, фосфором и калием как в присутствии, так и без CaCO_3 создавали среду, совершенно непригодную для овса; овес или не всходил вовсе, или показавшиеся всходы гибли. При других катионах внесение углекислого кальция несколько исправляло среду, но урожай и в этом случае были низкие. Это мое исследование по намеченной мною программе являлось лишь первым этапом. Следующим этапом я наметил изучение действия различных катионов, когда они насыщают поглощающий комплекс не полностью, а лишь частично, причем я остановился в первую очередь на марганце и алюминии, во-первых, ввиду соображений, приведенных в начале этой статьи, а затем в очень большой степени считаясь с теми возможностями, какие у меня имелись на Долгопрудном опытном поле. Должен отметить, что выполнить все, что следовало бы и что намечалось мною даже в отношении двух указанных катионов, я не имел возможности вследствие неполучения необходимых количеств солей марганца и алюминия, которых для приготовления нужных количеств почвы под вегетационные опыты требуется много и своевременно, ибо приготовление почв—операция очень длительная и при массовых опытах требует около годичной непрерывной работы.

В действии различных стимулирующих катионов, находящихся в почвенном поглощающем комплексе, должно иметь значение не только количество данного катиона, введенное в комплекс, но и величина емкости обмена почвы, состав остальных обменных катионов и соотношение между веществами, получающимися в почвенном растворе; только в таком разрезе можно толковать приводимые мною ниже результаты. С этой точки зрения на них надо смотреть лишь как на первые шаги к выяснению роли тех или других обменных катионов.

Таблица 3

Средний урожай ося (в граммах на сосуд) на черноземе, в поглащающий комплекс которого были введены различные катионы в очень небольших количествах

Контроль	Опыт 1930 г.						Опыт 1931 г.					
	4,7	6,1	10,9	100	100	100	3,5	6,2	9,7	100	100	1,9
	10,9	10,9	10,9	100	100	100	100	100	100	100	100	1,9
Rb { 0,001 норм. . . .	5,8	7,1	12,9	123,40	114,52	118,34	5,4	7,3	12,7	154,28	417,74	130,93
0,005 »	3,9	7,3	11,2	85,40	117,74	102,75	6,1	8,4	14,5	174,28	135,48	149,48
0,010 »	1,6	10,3	11,9	34,04	166,12	118,34	3,4	10,2	13,6	97,14	164,51	140,20
Cd { 0,001 норм. . . .	5,4	6,5	11,9	114,80	104,84	118,34	5,6	7,4	13,0	160,0	119,35	134,02
0,005 »	4,2	6,5	10,7	89,36	104,84	98,16	0,1	4,4	4,5	2,85	70,97	46,39
0,010 »	2,1	5,1	7,2	44,68	82,26	66,05	0	2,6	2,6	—	41,93	26,80
Ba { 0,001 норм. . . .	6,5	7,0	13,5	138,29	112,90	125,85	5,5	7,9	13,4	157,14	127,42	138,14
0,005 »	6,2	6,4	12,6	131,91	103,22	115,59	5,3	6,7	12,0	151,42	108,06	123,71
0,010 »	6,1	6,1	12,2	129,78	98,39	111,93	4,8	7,5	12,3	137,14	120,96	126,80
Mn { 0,001 норм. . . .	6,3	7,1	13,4	134,04	114,52	122,93	5,2	7,4	12,6	148,47	119,35	129,89
0,005 »	6,7	6,6	13,3	142,55	106,45	122,02	6,3	7,4	13,7	180,0	119,35	141,20
0,010 »	6,1	6,5	12,6	129,79	104,84	115,59	5,9	7,1	13,0	168,57	114,51	134,02
Co { 0,001 норм. . . .	5,5	7,3	12,8	117,02	117,74	117,43	4,0	6,1	10,1	114,28	98,38	104,12
0,005 »	6,4	7,1	13,5	136,17	114,51	123,85	2,6	7,1	9,7	74,28	114,51	100
0,010 »	4,4	6,5	10,9	93,62	104,84	100,0	3,3	8,2	11,6	94,28	132,25	119,58
Ni { 0,001 норм. . . .	4,7	5,9	10,6	100,0	95,1	97,25	5,8	7,7	13,4	165,71	124,19	138,15
0,005 »	5,7	6,6	12,3	121,28	106,45	112,84	5,7	7,0	12,7	162,85	112,90	130,93
0,010 »	5,5	7,1	12,6	117,02	114,52	115,59	5,4	7,1	12,5	154,28	114,51	128,86
Смесь Rb. Cd Mn и Co . .	6,0	7,1	13,1	127,66	114,52	120,18	6,6	7,4	13,9	188,57	119,35	143,29

Опыты 1930 г. Эти опыты носили ориентировочный характер. Почва (пахотный горизонт тучного чернозема Каменной степи) обрабатывалась 0,001, 0,005 и 0,01 норм. растворами (при отношении веса почвы к объему раствора как 1 : 1) хлоридов следующих катионов: Rb, Cd, Ba, Mn, Co и Ni и кроме того 0,01 норм. раствором смеси хлоридов Rb, Cd, Mn и Co (концентрация каждой соли в смеси была 0,0025 норм). Взятый раствор соли тщательно смешивался с навеской почвы; после полного отстаивания прозрачная жидкость сливалась прочь и почва промывалась сначала декантацией, а затем на воронках до полного удаления хлор-иона. После такой обработки в почве оставался исследуемый катион только в обменном состоянии.

Какие количества этих катионов остались в почве в поглощенном состоянии, мы не определяли и вот почему: при наивысшей взятой нами концентрации солей (0,01 норм.) в 100 куб. см раствора содержалось всего 1 м-экв. исследуемого катиона; так как все внесенное количество катиона не могло поглощаться почвой, то ясно, что после промывания почв водой могло остаться в поглощенном состоянии на 100 г почвы меньше 1 м-экв.; такие величины даже с очень приблизительной точностью определить нельзя. Нельзя было бы их определить и по количеству Ca и Mg, вытесненных из почвы этими катионами, так как уже чистая вода извлекает из взятого нами чернозема около 0,5 м-экв. кальция, т. е. этим способом мы получили бы ошибку, по крайней мере, в 100%. Мы можем сказать про полученные нами почвы, что при концентрации 0,01 норм. взятых солей они содержали исследованных катионов в поглощенном состоянии меньше 1 м-экв. на 100 г почвы; при концентрации 0,005 норм. — меньше 0,5 м-экв., а при концентрации 0,001 норм. — меньше 0,1 м-экв. Опыт велся в маленьких цинковых сосудах на 600 г почвы при полном удобрении (0,1 г N, 0,1 г P_2O_5 и 0,05 г K_2O). В 1930 г. опыт ставился с овсом; в 1931 г. сосуды были перебиты и снова засеян овес, после которого была высеяна горчица (последний столбец таблицы); так как овес в этом году был высеян поздно, то горчицу пришлось убрать в начале цветения; урожай получились ничтожные, и параллельные сосуды плохо сошлись. В таблице 1 мы приводим данные урожаев, причем для горчицы приводим лишь те опыты, результаты которых не возбуждают каких-либо сомнений. Отметим, что все приводимые результаты вполне согласны с теми наблюдениями, какие велись за этими опытами во время всей вегетации.

Как видно из этих данных, введение взятых металлов в поглощающий комплекс чернозема в очень ничтожных количествах почти без исключения отразилось на величине урожаев и большей частью положительно; в большинстве случаев три взятые концентрации давали неодинаковый эффект, и в большинстве случаев эффект (как положительный, так и отрицательный) был на второй год выше, чем в первом году.

Рубидий в оба года при концентрации 0,001 норм. бравшейся его соли для обработки почвы дал заметное повышение урожая и соломы и особенно зерна; с повышением же концентрации урожай зерна (особенно в первый год) сильно падал, урожай же соломы, наоборот, все повышался.

Кадмий в оба года дал повышение урожая, соломы — слабое, зерна — сильное (особенно на второй год) при наименьшей из исследованных концентраций; с повышением же концентрации действовал отрицательно на второй год; так при концентрации 0,01 норм. раствора $CdCl_2$, которым обрабатывалась почва, т. е. в присутствии в поглощающем комплексе во всяком случае меньше 1 м-экв. Cd зерна не получались вовсе, а урожай соломы упал до 27% от урожая на почве без Cd. Овес и горчица в этом

опыте на концентрациях 0,005 и 0,01 начинали страдать уже вскоре после всхода.

Барий в оба года при всех трех испытанных концентрациях дал заметное повышение зерна, на солому же наиболее благоприятно действовало наименьшее его количество.

Марганец при всех концентрациях в оба года дал сильное повышение урожая зерна (до 80%) и сравнительно слабое повышение урожая соломы.

Кобальт в первом году дал положительный эффект при первых двух концентрациях, а при высшей не оказывал действия (но растения во время вегетации заметно страдали), на второй же год и под овсом и под горчицей концентрации 0,005 норм. и 0,01 норм. дали резкое падение урожая зерна, повышая однако урожай соломы.

Никель в первом году при низшей концентрации не действовал вовсе, а при следующих двух давал небольшой положительный эффект, тогда как на следующий год сильно повышал урожай, особенно зерна, при всех испытанных концентрациях.

Смесь катионов Rb, Cd, Mn и Co действовала положительно, особенно на урожай зерна и на второй год. В общем действие ее было очень сходно с действием Mn.

Прежде чем перейти к опытам 1931 г. с марганцем и алюминием, остановлюсь несколько на результатах небольшого опыта, проведенного нами в прошлом году с тем же черноземом, обработанным растворами хлористого кадмия и хлористого никеля, имевшего целью один методологический вопрос, о котором я сообщу отдельно; опыт этот дает некоторый материал и по трактуемому здесь вопросу. В почву было введено ранее описанным способом 3,4; 7,2 и 13,5 м-экв. Cd; 2,7, 6,1 и 13,5 м-экв. Ni¹, выращивался овес, а за ним горчица. Результат показал, что уже 3,4 м-экв. обменного кадмия в 100 г почвы почти совершенно прекращают развитие обоих растений; что касается никеля, то при 2,7 м-экв. оба растения росли, но сильно страдали, при 6,1 же м-экв. совершенно погибали.

Перехожу теперь к изложению более детальных опытов с поглощенными Mn и Al, произведенных мною в 1931 г.

Для настоящей темы мне удалось в течение 1930—1931 гг. к началу вегетационной кампании изготовить из тучного чернозема (горизонт 0—20 см каменисто-степного чернозема) по 10 кг следующих почв².

Таблица 2

№ опыта	Почвы, содержащие обменный Mn (в м-экв. на 100 г почвы)	№ опыта	Почвы, содержащие обменный Al (в м-экв. на 100 г почвы)
I	0,51 обработка 0,001 норм. MnCl ₂	I	0,53
II	0,91 » 0,005 » MnCl ₂	II	0,75
III	1,45 » 0,010 » MnCl ₂	III	1,12
IV	4,38 » 0,050 » MnCl ₂	IV	5,27
V	7,36 » 0,100 » MnCl ₂	V	9,48
VI	18,59 » 0,500 » MnCl ₂	VI	23,66
VII	Полностью насыщенная Mn	VII	Полностью насыщенная Al

¹ Количества обменных Cd и Ni определялись по количеству вытесненных ими Ca и Mg при обработке почвы хлоридами этих катионов. Анализ принадлежит А. Н. Вольской.

² Обработка первоначального чернозема хлористым марганцем и алюминием велась как описано раньше; почвы, полностью насыщенные Mn и Al, получались мною

Опыты на почвах с обменным марганцем. Опыт на всех семи приготовленных почвах был поставлен с овсом, гречихой, горчицей, льном и клевером в маленьких оцинкованных сосудах на 500 г почвы, в почву сосуда вносилось по 0,1 г N в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,1 г P_2O_5 в KH_2PO_4 и 0,05 г MgO в MgSO_4 . Для возможного уравнивания условий в почвах, обработанных растворами MnCl_2 , и в первоначальном черноземе почва для контрольных сосудов несколько раз промывалась водой и затем высушивалась на воздухе, так же как и почвы, промытые растворами хлористого марганца. Клевер был убран до цветения, а остальные растения — в зрелом состоянии.

Таблица 3

Действие поглощенного марганца на урожай
(средний урожай в граммах на сосуд и в процентах)

Почва Растение	Конт- роль		I		II		III		IV		V		VI		VII	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Клевер	5,8	100	8,3	148	6,0	107	7,0	125	7,0	125	6,3	122,5	0	0	0	0
Овес																
Зерно	4,3	100	5,2	121	6,2	144	5,9	137	6,3	147	5,2	121	4,2	98	0	0
Солома	7,4	100	10,9	147	10,5	142	9,5	128	9,8	132	9,3	132	10,6	143	0,2	0,2
Гречиха																
Зерно	5,0	100	5,2	104	5,8	116	5,5	110	5,3	106	4,8	96	0	0	0	0
Солома	6,0	100	8,6	125	8,8	127	8,6	125	8,6	125	7,8	113	0,5	7	0,1	0,1
Горчица																
Зерно	0,3	100	2,0	667	1,9	633	1,6	533	1,9	633	1,8	600	0	0	0	0
Солома	3,2	100	5,6	175	6,1	191	5,3	166	5,6	175	3,2	100	0	0	0	0
Лен																
Зерно	1,5	100	2,6	173	1,9	127	2,2	147	2,5	167	1,6	107	0	0	0	0
Солома	9,8	100	11,6	118	11,0	112	11,1	113	10,0	102	6,9	70	0	0	0	0

Из таблицы 5 мы видим, что обработка почвы растворами хлористого марганца с дальнейшим удалением всего хлора и непоглощенной почвой части марганца совершенно определенно оказывала влияние на урожай и зерна и соломы всех исследованных растений. Уже обработка почвы раствором MnCl_2 самой низкой из исследованных концентраций (0,001 норм.), т. е. когда в поглощающий комплекс могло вступать меньше 0,1 м-экв. Mn, вызвала заметное повышение урожая и зерна и соломы у всех растений.

гократной обработкой первоначального чернозема 1,0 норм. растворами до прекращения реакции в промывных водах на Са. Количество поглощенных почвой Mn и Al определялось по количеству вытесненных Са и Mg; первые три данных для Mn и Al, несомненно, значительно выше действительных, а начиная с четвертого данные близки к действительным. Определение Са и Mg, вытесненных Mn, произведено А. Н. Вольской, а алюминием — С. Г. Шедеровым.

а у некоторых даже очень сильное (например, урожая зерна у льна и особенно у горчицы)¹.

С дальнейшим повышением количества обменного Mn в почве до 4 м-экв (почва IV) включительно урожай у овса почти не изменялся, в некоторых случаях несколько понижаясь, в других несколько повышаясь; на почве V при 7 м-экв. обменного Mn урожай всех растений, кроме овса, стали уже заметно ниже максимального и в некоторых случаях и контрольного. При 18 м-экв. обменного марганца все растения, кроме овса, погибли; овес же дал и при этом содержании Mn заметное повышение урожая соломы при том же количестве зерна, что и в контрольных сосудах. Наконец, на почве, полностью насыщенной Mn, погиб и овес.

Напомним, что в ранее опубликованных наших опытах с овсом на почве, насыщенной марганцем, по полному удобрению без углекислого кальция растения гибли полностью; на почве же с углекислым кальцием овес давал урожай, хотя и значительно пониженный. В настоящем опыте кальций как питательный элемент вносился в сосуды в избытке в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, но овес все-таки погибал. Совершенно ясно, что углекислый кальций, помимо источника кальциевого питания, играл еще какую-то другую роль, предполагать, что дело тут в pH среды нельзя, так как у нас в сосудах с почвой, насыщенной марганцем без CaCO_3 , pH было 5,6, а в наших опытах с известкованием того же чернозема, полностью насыщенного водородом, при этой концентрации водородного иона овес развивался великолепно.

Отметим, что в наших почвах, обработанных растворами MnCl_2 , наряду с обменным марганцем в поглощающий комплекс вошел и обменный водород, как это видно из величины pH этих почв, так как хлористый марганец—гидролитически кислая соль; но, конечно, количество обменного водорода, вступившего в комплекс, должно быть ничтожно по сравнению с количеством Mn.

Опыты на почвах с обменным алюминием. Они были поставлены так же, как вышеописанные опыты с марганцем на шести не полностью и в разной степени насыщенных и одной полностью насыщенной алюминием почвах, приготовленных из тучного чернозема (см. стр. 473), но под одним только растением—овсом. Целью опыта было, кроме констатирования самого действия на овес тех или других количеств поглощенного Al, изучение влияния на это действие кальция как питательного вещества, углекислого кальция и усиленной дозы фосфорной кислоты и вот по каким соображениям. Наши прошлые опыты с почвой, полностью насыщенной Al, показали то же, что и с почвой, насыщенной Mn,—овес погиб в сосудах без CaCO_3 и рос, хотя и плохо, в сосудах с 10 г CaCO_3 на сосуд; представлялось интересным исследовать, действовал ли углекислый кальций только как источник питания кальцием или и сам по себе и не будут ли большие дозы его сильнее понижать вредное действие обменного алюминия; затем, так как по нашим исследованиям определенно получалось, что почва, насыщенная Al, значительно сильнее поглощает P_2O_5

¹ Относительно горчицы надо заметить, что на исследовавшемся черноземе она развивалась вообще очень плохо, несмотря на сильное удобрение; было что-то в этом черноземе, сильно ограничивающее рост этого растения; влияние этого ограничивающего фактора не понижалось промыванием почвы водой; так, в одном нашем опыте этот чернозем по NPK дал 0,25 г зерна и 3,8 г соломы горчицы, а промытый водой с последующим полным удобрением—соответственно 0,29 и 3,2 г. Почва почти нейтральная, pH по полному удобрению 6,8; большие дозы углекислого кальция заметно улучшали рост горчицы (например, по 30 м-экв. CaCO_3 на 100 г мы получили 1,1 и 5,4 г зерна и соломы).

из растворов фосфорнокислого натрия, то было интересно установить, насколько вредное действие поглощенного алюминия обуславливается этим фактором. Поэтому на всех исследовавшихся семи почвах были поставлены сосуды с PKNaNO_3 и $\text{PKCa}(\text{NO}_3)_2$, далее с разными количествами CaCO_3 : в количестве, эквивалентном поглощенному алюминию в данной почве, с половинным и двойным количествами его (на почве, полностью насыщенной Al , применялась только первая доза из-за недостатка почвы) и с увеличенным количеством фосфорной кислоты (кроме 0,1 г P_2O_5 , вносившихся во все сосуды, давалось добавочное количество: на почвах I—V—эквивалентные содержащемуся в данной почве поглощенному алюминию, а на почвах VI и VII—то же количество, какое вносилось на V почве). Результаты опыта показали, что на почвах I—V все комбинации в пределах каждой почвы дали одинаковые урожаи (в пределах ошибки опыта); на VI почве одинаковые результаты получились во всех сосудах, кроме тех, где вносилась повышенная доза P_2O_5 , поэтому в нижеследующей таблице 6 мы даем средние данные урожаев из всех сосудов, бывших под почвами I—V (по 14 для каждой) и из 10 сосудов для почвы VI; о данных же остальных двух пар сосудов почвы VI и всех комбинаций почвы VII скажем после отдельно.

Таблица 4

Действие поглощенного алюминия на урожай овса
(средний урожай в граммах на сосуд и в процентах)

Почва Растение	Контроль		I		II		III		IV		V		VI	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Зерна	4,1	100	5,9	144	5,9	144	5,9	144	5,7	139	5,2	127	4,4	107
Соломы	7,2	100	9,3	129	9,4	130	8,5	132	8,6	119	8,0	111	6,1	83

Приведенные результаты показывают, что введение в поглощающий комплекс чернозема очень ничтожного количества обменного алюминия—меньше 0,1 м-экв.¹ на 100 г почвы—вызывает совершенно определенный положительный эффект на урожай соломы и особенно на урожай зерна.

Дальнейшее повышение этого содержания сначала не изменяет эффекта (до 1 м-экв.), а начиная с 5 м-экв. эффект понижается и при 23 м-экв. сходит на нет, а на урожае соломы становится отрицательным.

Интересно ближе подойти к вопросу, что является в этих опытах стимулянт—поглощенный ли алюминий или вошедший вместе с ним в поглощающий комплекс водородный ион. С этой целью, как выше уже указывалось, на всех почвах с разным содержанием обменного Al были поставлены сосуды с углекислым кальцием; на почвах I—VI CaCO_3 вносился в трех дозах: 1) в эквивалентном количестве содержащегося в них обменного Al , 2) в половинном количестве и 3) в двойном количестве; после уборки растений в почвах сосудов определялось рН. Ни одна из доз известна на этих шести почвах действия не оказала, а величина рН оказалась следующей².

¹ 0,05 м-экв. Al на 100 г почвы по перечислению на слой в 20 см на 1 га равняется 11,25 кг Al .

² Все определения рН, приводимые в этой статье, принадлежат А. Н. В о л ь с к о й.

Таблица 5

Почва	Конт- роль	I	II	III	IV	V	VI без CaCO ₃	VI+2,96 г CaCO ₃	VI+5,91 г CaCO ₃	VI+ +11,83 г CaCO ₃
pH	6,6	6,8	6,8	6,8	6,4	6,1	5,0	5,7	6,5	8,0

Мы видим, что введение Al в исследовавшийся чернозем в первых трех количествах даже немного повысило величину pH; повидимому, здесь проявило свое действие само промывание почвы, так как и первоначальный чернозем после промывания его дистиллированной водой дал в сосудах после уборки овса pH 7,5; вода удаляла из чернозема какие-то кислые водорастворимые продукты. Только начиная с почвы IV вступление Al в комплекс проявилось повышением концентрации водородного иона, т. е. начиная с этой почвы можно предполагать уже вступление водородного иона в поглощающий комплекс; говорю—предполагать, так как, конечно, и одно присутствие в этом комплексе поглощенного Al должно было дать понижение pH. Во всяком случае величина pH указывает, с одной стороны, на возможность того, что в наших почвах наряду с обменным Al был и обменный водород, а с другой стороны, на то, что в почвенном растворе, по крайней мере начиная с почвы IV, несомненно, водородный ион имелся. Но так как ни на одной из почв до VI включительно ни одна из применявшихся доз извести не изменила полученного увеличения урожая в отсутствие извести, то приходится заключить, что полученный нами эффект обязан содержанию в поглощающем комплексе именно алюминия.

На почве, полностью насыщенной Al, мы получили такой же результат, как и в ранее опубликованных опытах, т. е. овес на такой почве совершенно погибал; прибавление к почве, кроме азота, фосфора и калия, еще кальция (в Ca(NO₃)₂) и магния (в MgSO₄) как питательных веществ несколько не улучшало положения дела.

Эта почва имела pH 4,2; поэтому вредное действие введения в поглощающий комплекс Al до полного вытеснения первоначальных обменных катионов чернозема могло обуславливаться и сильнокислой реакцией почвенного раствора и самим алюминием. К сожалению, невозможность приготовить достаточное количество такой почвы вследствие отсутствия солей алюминия не позволило нам поставить необходимое количество сосудов для прямого выяснения этого вопроса; были поставлены лишь сосуды с 14 г CaCO₃ (эквивалентное количество по содержанию обменного алюминия); в среднем из четырех таких сосудов мы получили 4,1 г зерна и 6,6 г соломы, на первоначальной же почве (без алюминия) мы получили 4,1 г зерна и 7,2 г соломы, т. е. внесение 14 г CaCO₃ на 460 г сухой почвы совершенно уничтожило вредное действие; в этих условиях введенный в поглощающий комплекс алюминий не дал на овсе ни положительного, ни отрицательного эффекта. Остановимся на этом очень существенном, по моему мнению, результате.

В опубликованном ранее опыте 1929 г. с овсом на черноземе, насыщенном полностью алюминием¹, в отсутствие CaCO₃ мы не получили вовсе урожая (всего 0,24 г), а в присутствии 10 г CaCO₃—всего 0,8 г зерна и 1,6 г

¹ «Удобрение и урожай», 1930, № 6, стр. 472.

соломы, при урожае контрольных сосудов—1,4 зерна и 4,5 г соломы; опыт был повторен в 1930 г. в тех же сосудах с прибавлением в сосуды по CaCO_3 половинной порции N , P_2O_5 и K_2O ; в контрольных сосудах было получено 2,9 г зерна и 3,1 г соломы; по алюминию же без CaCO_3 —0,8 г зерна и 1,3 г соломы, а по алюминию с 10 г CaCO_3 —2,4 г зерна и 5,8 г соломы; таким образом, и в этом опыте резко вредное действие алюминия, полностью насыщающего почву, было уничтожено взятым количеством CaCO_3 , но только на следующий год; pH в этих сосудах было без CaCO_3 —3,7, а по 10 г CaCO_3 —5,2. Отметим, что в наших опытах с почвой, насыщенной целиком водородным ионом, овес по различным дозам CaCO_3 начинал расти, хотя и очень плохо, уже при 2,5 г CaCO_3 (pH—3,5), а при 5 г CaCO_3 (pH—4,1) овес развивался великолепно и дал урожай больший, чем в контрольных сосудах (первоначальный чернозем); все это говорит за то, что благоприятное действие CaCO_3 на почве, целиком насыщенной алюминием, вызывалось не только тем, что это соединение являлось источником питания кальцием и не только тем, что оно понижало концентрацию водородного иона в почвенном растворе; повидимому, углекислый кальций сам по себе как-то обезвреживает обменный алюминий; это обезвреживание наступает при больших количествах CaCO_3 раньше, при меньших—позже; можно представить себе, например, что алюминий, вытесняемый из поглощающего комплекса кальцием углекислого кальция, постепенно действием избытка углекислого кальция переходит через золь $\text{Al}(\text{OH})_3$ в безвредный гель. Это пока лишь мое предположение, тем более что все вышеизложенные результаты требуют еще дальнейшего подтверждения и дальнейшей разработки. Вышеприведенные опыты я рассматриваю лишь как предварительные, ставящие ряд вопросов, исследованию которых должно быть, по моему мнению, уделено известное внимание агрохимиками; вопросам марганца—потому что, повидимому, использование в сельском хозяйстве отбросов марганцевой промышленности может повысить урожайность, вопросам алюминия—по той же причине, а главное потому, что вне всякого сомнения этот катион в некоторых почвах (почвы северной половины СССР, красноземы) может быть в заметных уже и вредных растению количествах в поглощающем комплексе и приемы борьбы с ним необходимо выработать.

Отметим, что наши предположения о причинах положительного действия CaCO_3 на почву, полностью насыщенную алюминием, подтверждаются и данными ранее приведенных опытов с почвой, полностью насыщенной марганцем. Во-первых, гибель овса на почве, насыщенной Mn, уже совершенно несомненно вызывается не реакцией среды; pH в почвах, насыщенных в разной степени Mn включительно до насыщенной им полностью, после снятия урожая было следующее (обозначение почв то же, что и раньше):

Таблица 6

Почва	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII+3 г CaCO_3
pH	6,95	6,98	6,86	6,65	6,09	5,73	5,61	7,1

Совершенно ясно, что овес погиб на почве, насыщенной Mn без углекислого кальция, вовсе не вследствие высокой концентрации водородного иона. Во-вторых, и в случае марганца мы имеем то же явление в отношении

действия CaCO_3 , как и в случае алюминия: в опытах 1929 г. внесение в почву, полностью насыщенную марганцем, 10 г CaCO_3 только несколько исправило почву, овес не погиб, но дал очень малый урожай— всего 0,18 г зерна и 1,42 г соломы; в тех же сосудах овес в 1930 г. дал уже 3,3 г зерна и 6,0 г соломы вместо 5,5 г зерна и 5,4 г соломы в контрольных сосудах, т. е. и в случае почвы, насыщенной марганцем, мы видим, что благоприятное действие CaCO_3 на второй год после его внесения оказалось значительно сильнее, чем в первый.

К сожалению, опыты с поглощенным алюминием мне удалось провести лишь с овсом; если бы имелись данные для других растений, то сопоставление их с данными по поглощенному марганцу позволило бы сделать более определенные выводы; это пример того, как существенно для разрешения вопроса иметь возможность поставить исследование сразу в должном объеме.

В заключение считаю необходимым подчеркнуть, что публикуемые мною данные ни в коем случае не считаю решающими вопроса даже в отношении той почвы, которая была в наших опытах. Вся история вопроса о стимулянтах учит нас, что с окончательными, а тем более сколько-нибудь обобщающими выводами тут надо быть очень осторожным; сам вопрос, очевидно, настолько сложен, что трудно поддается такому экспериментальному исследованию, при котором были бы учтены все привходящие обстоятельства. В моем методе подхода к вопросу о стимулянтах слабой стороной (с точки зрения учета) является, несомненно, то обстоятельство, что подготовка почвы сопровождается длительным ее промыванием; для учета влияния этой операции я прибегал к промыванию водой и контрольной почвы (первоначальной), но, во-первых, сделать это совершенно идентично для контрольной и опытной почвы невозможно, а затем я считаю теперь, что необходимо детальнее изучить самый эффект промывания, к чему при первой возможности думаю приступить, и думаю, что такое систематическое изучение может дать интересные и теоретические и чисто практические результаты. Должен сказать, что все вышесказанное в связи с большим эффектом, полученным мною в вышеописанных опытах, удержало бы меня от опубликования в настоящее время этих опытов, если бы не результаты одного небольшого опыта, проведенного мною с почвой, полностью насыщенной алюминием, по одному методологическому вопросу. В этом опыте я к первоначальному чернозему прибавлял различные количества того же чернозема, предварительно полностью насыщенного алюминием, по следующей схеме (количество сухой почвы в граммах на сосуд).

Таблица 7

Почва	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Чернозем первоначальный . .	500	496	494	492	461	432	325	250	125	0
Чернозем, насыщенный Al (в скобках м-экв. Al)	0 (0,0)	4 (2,6)	6 (3,7)	8 (5,2)	39 (24)	68 (42)	175 (108)	250 (154)	375 (231)	500 (308)

Вот результат этого опыта под овсом.

Таблица 8

Средний урожай из двух параллельных сосудов

Почва Растение	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX	
	в г	в %	в г	в %	в г	в %	в г	в %	в г	в %	в г	в %	в г	в %	в г	в %	в г	в %
Зерно . . .	5,9	100	6,3	107	6,9	117	7,5	127	6,4	108	6,5	111	5,1	86	5,9	100	4,9	79
Солома . .	10,0	100	12,3	123	11,4	114	11,1	111	11,0	110	9,6	96	10,6	106	0,1	91	6,5	65

На почве X, полностью насыщенной алюминием, урожай 0.

Мы видим и в этой серии опытов совершенно ясное стимулирующее действие обменного алюминия, которое обнаружено уже при самом малом количестве внесенной в сосуды почвы, насыщенной алюминием (4 г на 496 г первоначального чернозема); в этой дозе стимулирующий эффект сказался главным образом на соломе; с дальнейшим повышением количества почвы, насыщенной алюминием, вносимой в сосуд, эффект повышался включительно до почвы IV (8 г почвы, насыщенной алюминием + 492 г первоначальной), причем особенно сильно выявлялся на зерне. Начиная с почвы V (39 г почвы, насыщенной алюминием + 461 г почвы первоначальной) и дальше с повышением количества почвы, насыщенной алюминием, вносимым на сосуд, эффект постепенно падает, и на почве IX (375 г почвы, насыщенной алюминием + 125 г первоначальной) мы уже имеем сильное отрицательное действие обменного алюминия.

Этот опыт для нас сейчас представляет тот интерес, что по крайней мере для первых четырех почв совершенно исключается тот момент, о котором мы только что говорили (промывание почвы) и который может оказывать сам по себе тот или другой эффект, причем очень трудно учитываемый: несомненно, прибавка к 492 г первоначального непромывавшегося чернозема 8 г (и меньше) чернозема, промывавшегося раствором $AlCl_3$, а затем водой, не могла внести в опыт какого-либо влияния от самого этого промывания; таким образом, стимулирующий эффект, полученный в этом опыте, может быть приписан только обменному алюминию, внесенному в почву сосудов в виде почвы, насыщенной полностью этим катионом; а так как в рассматриваемом опыте влияние алюминия оказалось того же порядка, как и в ранее приведенных опытах, где почва сосуда для введения в нее того или другого количества алюминия целиком обрабатывалась раствором хлористого алюминия, а затем водой, то, очевидно, с очень большой вероятностью можно утверждать, что во всех вышеприведенных опытах мы действительно учитываем величиной урожая действие введенного в почву катиона и что влияние самого промывания почвы, если оно и имеется, отступает на задний план по сравнению с действием введенного катиона.

Относительно алюминия может стать вопрос, зачем его вводить в почву, когда все почвы содержат его очень много; ответ такой же, как и в отношении питательных элементов почвы и необходимости удобрения: дело в форме соединений алюминия в почве; в почвах, насыщенных основаниями, в отсутствие явлений деградации алюминия в поглощенном состоянии не имеется; весь он содержится в этих почвах в очень трудно подвижных

соединениях; введение его в поглощающий комплекс дает подвижную, доступную действию воды форму. В почвах оподзоленных и латеритных обменный алюминий может быть; тогда, несомненно, он влияет на урожайность; но в этих случаях тем более важно изучить влияние алюминия на растение в этой его форме. Сказанное относится также и к марганцу.

В отношении последнего нужно сказать, что внесение его в почву представляет теперь вполне реальную по своей возможности проблему ввиду наличия у нас марганецсодержащих рудных отбросов. Очень возможно, что в этих отбросах марганец находится в недействительной форме и потому отбросы эти не будут действовать или будут слабо действовать на урожай. Надо будет поднять активность марганца в них; наиболее рациональным приемом будет переводение марганца в обменное состояние, для чего эти отбросы надо превратить в поглощающий комплекс, т. е. раздробить их до коллоидального состояния помощью коллоидальных мельниц.

Долгопрудное, февраль, 1932 г.

ПОГЛОЩЕННЫЙ АММОНИЙ КАК ИСТОЧНИК АЗОТА ДЛЯ РАСТЕНИЙ И ДЕЙСТВИЕ ЕГО НА ПОЧВУ¹

Всестороннее изучение влияния на растения любых обменных катионов, как естественно имеющихсся в поглощающем комплексе почв, так и не встречающихся там, а искусственно вводимых туда, представляет колоссальный практический интерес, так как открывает целую область возможного воздействия химией на почву для повышения количества и качества урожая; степень эффективности этого воздействия с совместным применением, конечно, других мероприятий (например, соответствующим снабжением водой и воздухом и т. д.) в настоящее время даже трудно учесть. Само собой разумеется, что такое изучение для получения надлежащих результатов должно быть достаточно глубоко и многосторонне; нельзя, например, ограничиться изучением действия только одиночных обменных катионов даже с учетом влияния различных их количеств; необходимо изучение их различных комбинаций под различными растениями на почвах с различными свойствами вообще и в частности с различной емкостью обмена, так как несомненно, что, например, 10 м-экв. какого-нибудь обменного катиона при емкости обмена почвы 20 м-экв. будут действовать на растение иначе, чем на почве с емкостью обмена 50 м-экв., и на одно растение иначе, чем на другое; несомненно также, что 10 м-экв. данного катиона при одной и той же емкости обмена будут влиять на одно и то же растение неодинаково, если остальная часть емкости обмена насыщена различной комбинацией других обменных катионов.

Несомненно также, что влияние того или другого обменного катиона на количество и качество урожая при всех прочих равных условиях будет находиться в зависимости от топографических условий залегания почвы и метеорологических условий места и что, таким образом, при изучении поставленного вопроса, кроме общего подхода, для нащупывания общих руководящих зависимостей и вопросов необходимо будет подходить чисто конкретно в связи со всей естественной исторической и хозяйственно-экономической обстановкой. Изучение должно вестись и лабораторными методами для учета, например, изменения физических свойств почв под влиянием введения в них тех или других обменных катионов и биологически-

¹ Описанные в настоящей статье вегетационные опыты проведены при непосредственном участии научных сотрудников В. Г. Тарановской, А. Н. Вольской и С. Г. Шедерова. Насыщение почв различными катионами выполнял старший техник А. С. Фомичев.

ми для учета влияния на растение и микрофлору. Вопрос в общем очень большой и требует для своего разрешения и практического использования соответственно большой и обязательно массовой работы.

В настоящей статье я остановлюсь на обменном аммонии; этот обменный катион в почвах всегда имеется, правда в очень небольших количествах; так, например, если методом вытеснения мы получим, что в 1 000 г почвы содержится 20 мг NH_3 (количество очень большое, редко встречаемое в почвах), то, принимая даже, что все это количество аммиака будет в обменном состоянии (на самом деле этого никогда не будет), мы найдем, что в этой почве имеется лишь около 0,1 м-экв. на 100 г почвы.

Постоянно образующийся в почве под влиянием аммонифицирующих микроорганизмов в небольших количествах аммиак частью окисляется в азотную кислоту, частью поглощается почвой; так как образующийся аммиак в почвенном растворе находится в виде углекислого, то он очень легко и достаточно полно поглощается почвами, богатыми обменным кальцием (вследствие трудной растворимости продукта обмена— CaCO_3), и особенно полно почвами кислыми (вследствие летучести углекислоты). Таким образом, несмотря на процессы нитрификации и на то, что в каждый момент аммонификация дает очень немного аммиака, катион этот постепенно может накапливаться в почве в обменном состоянии до известного предела, величина которого зависит от свойств почвы, хода микробиологических процессов, метеорологических условий, состояния растительности и т. д. Аммоний вносится в почву и с атмосферными осадками и человеком в виде органических удобрений и аммонийных солей; каждое отдельное внесение в почву аммонийной соли как азотистого удобрения может дать, конечно, очень мало обменного аммония; так, чтобы обогатить только одним миллиэквивалентом обменного аммония слой почвы в 20 см на площади 1 га даже при допущении, что весь внесенный аммоний поглотится почвой, чего, конечно, никогда не может быть, нужно дать 350 кг/га азота в виде аммонийной соли.

Таким образом, однократным внесением обычных доз аммонийных солей в почву почвенный поглощающий комплекс лишь очень ничтожно может обогатиться обменным аммонием; но если такое удобрение применяется систематически и продолжительное время, то результат может получиться очень заметный. А затем, если изучение вопроса покажет, что обменный аммоний как источник азота для растений представляет известные преимущества перед другими источниками азота в практике сельского хозяйства, то может оказаться целесообразным обогащать им почвы усиленным внесением таких подходящих аммонийных солей, из которых аммоний возможно полнее поглощается почвой, например, углекислого аммония.

Если, кроме того, принять во внимание, что из двух форм азота, непосредственно одинаково, повидимому, доступных растениям, а именно аммиачной и нитратной, последняя поглощается в почве только биологически, почему всегда возможны потери азота в этой форме вымыванием, вследствие чего свободное оперирование азотистыми удобрениями в нитратной форме всегда затруднено и всегда приходится изыскивать способы внесения селитры в почву, обеспечивающие от возможных потерь и вымыванием и денитрификацией, то будет совершенно ясно, что вопрос о поглощенном аммонии в почве, о влиянии его на свойства почвы и о взаимоотношении его с сельскохозяйственными растениями заслуживает изучения. Если даже окажется, что аммиачный азот как таковой уступает в своем действии селитре под теми или другими растениями, то и это обстоятельство

несколько не умаляет важности изучения вопроса об обменном аммонии, так как последний, постепенно переходя из обменного состояния в раствор, будет, конечно, нитрифицироваться, поскольку в почве имеются условия для этого процесса. С другой стороны, знание влияния обменного NH_4 на почву и растение важно и в том отношении, что в зависимости от этого влияния можно и нужно будет соответствующим образом планировать химическую промышленность.

Собственно говоря, основной вопрос во всей проблеме обменного аммония теоретически с качественной стороны можно считать до известной степени разрешенным на основании общих соображений, известных нам уже вообще о поглощенных катионах, а именно вопрос о возможности использовать растением обменный аммоний. Мы знаем, что раз в почвенном поглощающем комплексе имеется данный катион в обменном состоянии, то этот катион вследствие реакций взаимного обмена со всегда имеющимися в почвенном растворе другими катионами (во всяком случае с водородным ионом) непременно также будет в той или иной концентрации и в почвенном растворе; так, если почву, содержащую обменный аммоний, мы промоем спиртом до полного вымывания из нее всех солей аммония, высушим до полного удаления спирта и увлажним, то ион аммония снова появится в почвенном растворе и может служить источником нитрификации и питания растений. Конечно, знания этого еще недостаточно; необходимо изучение количественной стороны явления в зависимости от количества обменного аммония в почве, от степени насыщения им почвы и т. д. В отношении обменного аммония, как и всякого другого обменного катиона, необходимо изучение и другой стороны этого явления.

Повидимому, про каждый катион можно сказать, что введением его в почвенный поглощающий комплекс мы создаем в почве известный комплекс биологических свойств, как благоприятных, так и неблагоприятных для жизни высших растений и микрофлоры. Растением мы учитываем общий результат тех и других изменений; по крайней мере, так дело обстоит со всеми исследовавшимися металлами, вводившимися нами в почву в обменное состояние; даже такой наиболее благоприятный в биологическом отношении обменный катион, как кальций, занимая в почве слишком большую часть обменной емкости, сам по себе, а также вследствие нарушения благоприятного для растений соотношения между составом обменных катионов в поглощающем комплексе, дающем неблагоприятное соотношение между катионами в почвенном растворе, влияет уже понижаяще на урожай.

Различные катионы при различной степени насыщения ими почвы дают в сумме своего положительного и отрицательного действия на биологические свойства почвы оптимальный эффект, который, кроме того, зависит и от других условий, как то: состава всего комплекса обменных катионов, метеорологических условий и др.

Из естественно встречающихся в почве обменных катионов, поскольку можно судить по имеющимся уже у нас данным, указанный оптимум раньше всего достигается натрием; при постепенно увеличивающемся его количестве в поглощающем комплексе, иначе говоря, по мере возрастания его коэффициента насыщения почвы, неблагоприятное действие его на биологические свойства почвы уже очень скоро начинает брать верх над благоприятным влиянием, и уже при сравнительно очень малом коэффициенте насыщения катион этот дает отрицательный эффект на урожай (величина соответствующего этой точке коэффициента насыщения неодинакова для различных растений, изменяется с изменением свойств почвы и находится в зависимости от климата).

Другое крайнее положение в ряду обменных катионов (притом не только среди естественно встречающихся в почве, но и вообще всех катионов) занимает кальций: неблагоприятные влияния на биологические свойства почвы, вызываемые в почве этим обменным катионом, начинают преобладать над положительными лишь при очень высоком коэффициенте насыщения им почвы, причем, повидимому, этот оптимальный коэффициент насыщения может быть еще повышен соответствующим составом остальных обменных катионов в почве. Остальные естественно встречающиеся в почве обменные катионы K , NH_4 , H и Mg в отношении величины критического коэффициента насыщения располагаются между натрием и кальцием, причем в порядке возрастания этого коэффициента они располагаются примерно так, как выше написано; говорю—примерно, потому что нет еще достаточных данных для точного установления этого порядка. Но как бы то ни было, совершенно ясно, что аммоний как обменный катион уже при сравнительно небольшом участии в емкости поглощения, кроме положительного действия на рост растений как источник азотистого питания, должен оказывать и отрицательное действие как в биологическом отношении (возможное подавление деятельности нитрифицирующих бактерий вследствие избытка в почвенном растворе аммиака, увеличение коллоидальности почвы вследствие усиления распыляющего действия воды, ухудшения физических свойств почвы и связанных с ними водного и воздушного режимов), так и в отношении разрушения почвенного комплекса; поэтому наряду с изучением действия на растения обменного аммония как источника азотистого питания растений необходимо и не в меньшей степени изучение действия его на почву вообще и в частности на те ее свойства, которые так или иначе влияют на урожай.

В ранее опубликованных работах я приводил полученные мною результаты исследования сравнительной энергии поглощения почвой аммония и сравнительного действия его при полном насыщении почвы на дисперсность ее; теперь я остановлюсь, раньше чем перейти к вопросу о действии обменного аммония на растение, на сравнительной роли его в растворяющем и разрушающем действии воды на почвенный поглощающий комплекс, насыщенный этим катионом.

Роль обменного аммония в означенном отношении изучалась мною параллельно с изучением этой роли лития, натрия, калия, магния, водорода и первоначально присутствующих в почве обменных кальция и магния (каменноstepной тучный чернозем, горизонт 0—20 см; 10% гумуса; $pH=6,8$; обменного кальция—47,8 м-экв. и обменного магния—8,4 м-экв.).

Навески чернозема, по 10 г каждая, обрабатывались 10 норм. растворами одного из нижеследующих хлоридов: $LiCl$, NH_4Cl , $NaCl$, KCl , $MgCl_2$ и 0,05 норм. HCl ; обработка (на воронках) продолжалась до полного вытеснения из почвы кальция; после этого избыток оставшейся в почве соли удалялся небольшим количеством воды, а окончательно—промывкой почв 80% спиртом до полного удаления хлориона. После полного высыхания почв на воронках и полного улетучивания спирта почва с фильтра переносилась в мерные литровые цилиндры с притертыми пробками; туда же тщательно смывалась водой почва, приставшая к фильтру; цилиндры наполнялись дистиллированной водой до литра, взбалтывались и оставлялись на двое суток при взбалтывании время от времени.

В целях изучения влияния $CaCO_3$ на растворяющее и разрушающее действие воды на почву, насыщенную означенными выше катионами, подобный же опыт был поставлен с прибавлением в каждый цилиндр по 2 г $CaCO_3$. Через двое суток содержимое цилиндров отфильтровывалось через

двойной фильтр из бумаги № 602 extra hart, и собранные фильтраты поступали в анализ. Фильтраты получились из почв, насыщенных различными катионами, в различной степени окрашенными органическими веществами; степень окраски видна из приводимых данных содержания растворившегося гумуса. Все фильтраты независимо от окраски были совершенно прозрачны. Определение гумуса производилось не только в фильтрате первого литра вытяжки; почва, собранная на фильтре, и остаток ее в цилиндре промывались еще литром воды, и в собранном втором литре фильтрата определялся гумус; дальнейшее промывание почвы водой не давало уже заметного количества воднорастворимого гумуса. В первом литре фильтрата, кроме гумуса, определялись общая сумма извлекаемых водой веществ, просушенная и прокаленная кремнекислота, сумма полуторных окислов.

Все означенные данные привожу в нижеследующей таблице в процентах на воздушносухую почву.

Таблица 1

Вода в условиях опыта извлекала (анализ принадлежит автору)

Катион, насыщающий почву	Остаток водной вытяжки		SiO ₂	Al ₂ O ₃ + + Fe ₂ O ₃	Воднораствори- мый гумус		Всего гумуса в процен- тах от ве- са почвы
	просу- шен- ный	прока- ленный			в куб. см 0,05 норм. KMnO ₄		
					в 1-м л	во 2-м л	
Литий	9,41	5,41	2,852	1,980	7 080	1 000	2,09
» + CaCO ₃	8,72	4,80	1,770	1,600	6 720	820	1,95
Аммоний	2,10	1,09	0,596	0,448	2 100	840	0,76
» + CaCO ₃	0,66	0,23	0,080	0,024	1 560	629	0,56
Натрий	9,52	6,02	2,580	2,032	6 800	1 380	1,87
» + CaCO ₃	7,57	4,42	1,900	1,388	5 769	1 180	1,79
Калий	3,95	1,45	0,412	0,320	6 120	1 030	1,85
» + CaCO ₃	3,76	1,86	0,140	0,148	4 080	740	1,35
Магний	0,76	0,34	0,072	—	620	—	0,16
» + CaCO ₃	1,20	0,80	0,036	—	310	—	0,08
Водород	0,35	0,18	—	—	560	—	0,14
Первоначальная почва	0,28	0,11	0,016	—	440	—	0,014

Приведенные данные показывают, что растворяющее (гумус) и разрушающее (SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃) действие воды в том случае, когда обменная емкость почвы, насыщенной одним из щелочных катионов, колоссально по сравнению с таковым действием на первоначальный чернозем; из исследованных щелочных металлов наименее сильно в рассматриваемом отношении действует аммоний, но и он усиливает растворимость гумуса почвы с 0,014 (первоначальный чернозем) до 0,76%, т. е. в 54 раза, количество извлекаемой SiO₂ — с 0,016 до 0,596%, т. е. в 37 раз, и количество полуторных окислов от следов (первоначальный чернозем) до 0,448%. Наибольшее сильное влияние на действие воды оказывает литий; из почв, насыщенной этим катионом, вода извлекает почти 10% от веса воздушносухой почвы органических и минеральных веществ, в том числе около 3% SiO₂, около 2% полуторных окислов и гумуса (по вычислению из данных титрования марганцевокислым калием) 2% с лишком.

Действия натрия лишь немногим слабее действия лития и главным образом в отношении растворимости гумуса, в отношении же полуторных окислов оба эти катиона оказались равнозначными; по величине сухого остатка водной вытяжки получилось даже обратное: общая сумма воднорастворимых веществ (и просушенных и прокаленных) в почве, насыщенной натрием, оказалась выше, чем в почве, насыщенной литием, что вызвано несомненно более высоким атомным весом натрия, составляющим поэтому больший процент от веса остатков, нежели литий в остатках водной вытяжки из почвы, насыщенной литием. Интересно сравнительное действие калия и аммония; в то время как калий значительно больше, нежели аммоний, увеличил растворимость органических веществ (по калию 1,85%, а по аммонии 0,76%), кремнекислоты и полуторных окислов, вода из почвы, насыщенной аммонием, извлекла больше, чем из почвы, насыщенной калием. В своих исследованиях сравнительного действия катионов калия и аммония на различные свойства почвы нам не раз приходилось уже отмечать такое непостоянство места этих двух катионов; на некоторые свойства сильнее влияет поглощенный калий, на другие же — поглощенный аммоний, причем и для одного и того же свойства места этих катионов не всегда бывают одинаковыми у различных почв.

Влияние поглощенного магния на растворяющее и разрушающее действие воды хотя и значительно слабее, чем вышеуказанных четырех щелочных катионов, но все-таки по сравнению с поглощенным водородом и особенно с поглощенным кальцием это влияние надо признать очень сильным; так, гумуса вода растворяет из почвы, насыщенной магнием, примерно в 10 раз больше, чем из почвы, насыщенной кальцием, а минеральных веществ в три раза больше.

Присутствие углекислого кальция в почве при всех исследованных обменных катионах понижает и растворяющее и разлагающее действие воды: относительно такое влияние углекислого кальция слабее при поглощенных Li, Na и K и очень сильно при поглощенном аммонии, особенно в отношении разрушения водой алюмосиликатной части; так, из почвы, насыщенной этим катионом, вода в отсутствие CaCO_3 извлекала 0,596% SiO_2 и 0,448% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, а в присутствии CaCO_3 всего соответственно 0,080 и 0,024%.

Уже из приведенных выше данных мы видим, что почва, содержащая обменный аммоний, должна существенно отличаться по многим своим свойствам от почв, содержащих обменный кальций, магний и водород, и в том числе по составу своего почвенного раствора; совершенно ясно, что отношение растений к такой почве должно быть иным и что это отношение будет изменяться в зависимости от коэффициента насыщения почвы аммонием и величины емкости обмена данной почвы.

Изучать действие на растение того или другого обменного катиона при частичном насыщении им почвы можно двояким путем. Можно, во-первых, насытить достаточное количество исследуемой почвы полностью изучаемым катионом и к первоначальной почве примешивать то или другое количество этой полностью насыщенной почвы до желаемого содержания в почве этого обменного катиона. Во-вторых, можно в первоначальную почву прямо вводить обработкой соответствующей солью то или другое количество исследуемого катиона. Несомненно, что эти два способа не равнозначны и один другого заменить не могут. Для тех целей, которые я преследую своими исследованиями — изучение влияния на рост растений присутствия в почве того или другого количества обменного катиона, необходим второй из указанных способов. Когда мы имеем две системы,

например: 1) 0,9 первоначальной почвы + 0,1 целиком насыщенной NH_4 и 2) первоначальная почва, в которую введен NH_4 в количестве, равном 0,1 ее емкости обмена, в обоих случаях количество обменного NH_4 будет, конечно, одинаково, но состояние той или другой системы и состояние почвенного раствора в сосудах, наполненных этими почвами и находящихся при одной и той же влажности, будет различное, пока первая система не придет в равновесие. Аммоний, извлекаемый водой из почвы, целиком насыщенной NH_4 , будет постепенно поглощаться смешанной с нею первоначальной почвой, пока во всей массе почвы не получится одна и та же степень насыщения этим катионом, на что в условиях сосуда (отсутствие перемешивания, малое содержание воды и т. д.) потребуются значительное время; между прочим, в первой системе до наступления этого равновесия вследствие медленности диффузии и сильной транспирации растений распределение NH_4 в почвенном растворе сосуда будет пространственно очень неравномерным: будут участки (возле частиц почвы, целиком насыщенных аммонием) с высокой концентрацией в растворе NH_4 и со средой, обладающей всеми особенностями почвы, целиком насыщенной аммонием, и участки (первоначальная почва) со сравнительно низкой концентрацией NH_4 и слабо выраженными щелочными свойствами. Корни растений могут выбирать, смотря по своим потребностям, соответствующие места.

Во второй же системе мы будем иметь во всем объеме сосуда однородную среду. Очевидно, условия для развития растений будут в этих двух случаях неодинаковыми (для различно чувствительных растений различно неодинаковыми) и притом при различных количествах обменного аммония в разной степени неодинаковыми; очевидно также, что в том случае, когда ставится вопрос о действии на растение того или другого количества данного катиона в поглощенном состоянии, нужно применять метод введения изучаемого катиона в нужном количестве во весь поглощающий комплекс сосуда.

В целях опытной проверки этих теоретических соображений нами был поставлен в 1931 г. небольшой вегетационный опыт с небольшими, но заведомо уже вредными количествами обменных кадмия и никеля под овсом, а после уборки овса—под горчицей. Для этого из каменисто-степного тучного чернозема было приготовлено восемь почв.

Таблица 2

I Насыщенная	3,45 м-экв.	Cd	V Насыщенная	2,71 мг-экв.	Ni
II »	7,22 » »	Cd	VI »	6,11 » »	Ni
III »	13,32 » »	Cd	VII »	113,5 » »	Ni
IV Полностью насыщенная		Cd	VIII Полностью насыщенная		Ni

Почвами I, II, III, V, VI, VII были набиты каждой по два сосуда (на 500 г почвы каждый), а почвы IV и VIII примешивались к первоначальному чернозему в таких количествах, что в почве сосуда получалось в такой смеси столько же поглощенных Cd или Ni, сколько каждого из них в сосудах, набитых почвами I, II, III, V, VI и VII (почвы Ia, IIa, IIIa с обменным кадмием и почвы Va, VIa, VIIa с обменным никелем).

Результат опыта виден из нижеследующей таблицы 3 опыта с овсом и горчицей при обменном кадмии.

Во всех сосудах растения страдали; страдание начиналось тем раньше и тем сильнее, чем больше введено было Cd и Ni в почву, но вместе с тем всюду и то и другое резко выражалось в сосудах, в которых вся почва содержала обменные Cd и Ni, чем в тех сосудах, почва которых доводилась до того же

Таблица 3

Урожай овса и горчицы (в граммах на сосуд)

№ опыта	Вид почв	Овес	Горчица
I	Почва I (17,26 м-экв. Cd на сосуд)	0,54	0,33
Ia	» первон. IV (17,25 м-экв. Cd на сосуд)	1,03	0,35
II	Почва II (36,1 м-экв. Cd на сосуд)	0,07	0,16
Ila	» первон. IV (36,1 м-экв. Cd на сосуд)	0,19	0,33
III	Почва III (67,6 м-экв. Cd на сосуд)	0,06	0
IIla	» первон. IV (67,6 м-экв. Cd на сосуд)	0,08	0,05
V	Почва V (13,53 м-экв. Ni на сосуд)	3,32	0,26
Va	» первон. VIII (13,55 м-экв. Ni на сосуд)	3,60	0,39
VI	Почва VI (30,55 м-экв. Ni на сосуд)	0,08	0
VIa	» первон. VIII (30,55 м-экв. Ni на сосуд)	0,21	0
VII	Почва VII (67,6 м-экв. Ni на сосуд)	0	0
VIIa	» первон. VIII (67,6 м-экв. Ni на сосуд)	0,03	0

содержания этих катионов прибавлением к первоначальному чернозему соответствующих количеств этой же почвы, насыщенной целиком этими катионами. То же полностью подтверждается весом собранного в этом опыте воздушносухого растительного вещества.

Таким образом, совершенно определенно можно утверждать, что рассматриваемые здесь два способа изучения влияния обменных катионов на растение для случая отрицательного их действия дают неодинаковые результаты. Мы думаем, что то же должно быть при продолжительном влиянии поглощенных катионов и может быть распространено и на действие всяких других вводимых в почву веществ, вступающих с почвой во взаимодействие: действие на растение должно быть неодинаково в зависимости от того, будет ли испытуемое вещество (например, фосфорнокислое удобрение, известь и т. п.) смешано сразу со всей почвой или с большими ее объемами или же сначала с небольшим сравнительно количеством почвы, а затем эта полученная смесь смешана уже с остальной почвой; вопрос может заключаться в количественной стороне, так как, несомненно, в каждом отдельном случае степень различия, степень выраженности в результатах этих двух способов будет обуславливаться конкретными условиями (характером испытуемого вещества и исследуемой почвы, степенью закрепления этого вещества почвой, отношением его к продукту закрепления почвой к воде, соотношением между количествами почвы и этого вещества и т. д.).

Сосуды с вышеописанным опытом были оставлены на следующий год и весной 1932 г. засеяны льном. Вредность обменных кадмия и никеля на этом растении проявилась еще сильнее, чем в прошлом году на горчице, и лен вскоре во всех сосудах погиб. После льна был высеван овес. Оба растения вполне подтвердили высказанные выше соображения об уравнении с течением времени в различии действия на растения применявшихся двух способов внесения в почву того или другого количества обменного катиона и о длительности этого уравнительного процесса: различие в действии сохранилось еще и в нынешнем году, но уже в меньшей степени; затем опыты обоих лет в совокупности показывают, что указанное различие в действии обменных катионов, когда это действие вредное, проявляется тем сильнее, чем менее чувствительно к нему испытуемое растение.

Общий вывод из этого опыта тот, что рассмотренные два метода

введения в почву обменных катионов в отношении взаимодействия полученной почвы с растением дают различные результаты и что в зависимости от поставленной цели исследования должен применяться тот или другой метод, а не безразлично какой.

С влиянием на рост растения поглощенного аммония мы провели пока лишь предварительные двухлетние опыты в очень небольшом масштабе; ограниченность опыта была вызвана затруднениями в приготовлении нужных количеств соответствующих почв; необходимость в данном случае промывки почвы после обработки ее хлористым аммонием 80% спиртом для полного удаления хлористого аммония (что в этих опытах особенно существенно) особенно усложняет это исследование (большие количества потребного спирта и очень длительная промывка вследствие малой растворимости хлористого аммония в спирте).

Из каменистопопелного чернозема мы приготовили три почвы: три навески его, по 2 кг каждая, обрабатывались одна 2 л дистиллированной воды, вторая 2 л 0,01 норм. раствора NH_4Cl , а третья 2 л 0,05 норм. раствора NH_4Cl . После суточного стояния при частом перемешивании смеси были отфильтрованы; воронки с почвами, обработанными раствором хлористого аммония, промывались 80% спиртом до исчезновения реакции на хлор, после чего все почвы были доведены до воздушносухого состояния и ими были набиты маленькие сосуды, на 500 г сухой почвы каждый. На каждой почве были поставлены сосуды с РК (0,1 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 и 0,05 г K_2O в K_2SO_4), а на почве, промытой только дистиллированной водой, кроме того, сосуды без удобрения и по NPK (0,1 г N в NaNO_3).

Опыт был поставлен в 1930 г., а в 1931 г. перезимовавшие сосуды были перебиты с внесением тех же удобрений и в тех же количествах и снова засеяны; в оба года опытным растением служил овес. Вот результат этого опыта.

Таблица 4

Урожай овса (в граммах на сосуд)

Вид почв	Удобрение	Опыт 1930 г.			Опыт 1931 г.		
		зерно	солома	всего	зерно	солома	всего
Почва, обработанная дистиллированной водой	O	1,3	1,8	3,2	0,3	1,1	1,4
	RK	3,4	4,4	7,4	1,9	3,7	5,6
	NPK	6,0	6,2	12,2	5,8	9,1	14,9
Почва, обработанная 0,01 норм. NH_4Cl (7,5 м-экв. или 0,105 г поглощ. N на сосуд)	RK	6,1	5,7	11,8	2,1	4,3	6,4
Почва, обработанная 0,05 норм. NH_4Cl (20,5 м-экв. или 0,28 г поглощ. N на сосуд)	RK	6,2	7,7	13,9	4,9	5,7	10,6

Мы видим, что в первый год опыта поглощенный аммоний в меньшей своей норме повысил урожай и зерна и соломы до той же величины, что и 0,1 г N в NaNO_3 (по поглощенному NH_4 имеем 6,1 г зерна и 5,7 г соломы, по азотнокислому натрию соответственно 6,0 и 6,2 г); по второй же большей норме поглощенного аммония общий урожай овса получился даже выше, чем по азотнокислому натрию (13,9 г вместо 12,2 г по азотнокисло-

му аммоний), причем оба эти источника азота повысили урожай зерна совершенно одинаково, а более сильное действие поглощенного аммония сказалось лишь на урожае соломы (во второй дозе поглощенного аммония получилось на 24% больше соломы)—явный признак избытка азота. На второй год урожай овса по первой дозе поглощенного аммония упал до величины урожая на почве, не получившей азотистого удобрения; таким образом, поглощенный аммоний в этом случае последствием не оказал. На второй (высшей) дозе поглощенного аммония последствие было очень сильно, овес дал 10,6 г на сосуд, т. е. почти вдвое больше, чем в сосудах, не получивших азота, но меньше, чем в сосудах, получивших в первом и во втором годах по 0,1 г азота в азотнокислом натрии.

Первая (низшая) доза обменного аммония соответствовала 0,105 г N на сосуд, т. е. почва в этих сосудах получила столько же азота в форме поглощенного аммония, сколько было внесено его в сосуды с первоначальным черноземом в форме азотнокислого натрия, и, как мы видели, урожай овса в обоих случаях получился в первом году одинаковый (т. е. азот в форме поглощенного аммония оказался в такой же степени доступным растению, как и азот селитры).

Во второй дозе поглощенного аммония в почву было внесено 0,287 г азота, т. е. почти втрое больше, чем в первый год в виде селитры, и урожай овса по поглощенному аммоний получилась больше, чем по селитре; на второй год в сосудах с селитрой общее количество (за оба года) внесенного азота составляло 0,2 г, но урожай овса на второй год был выше, чем по поглощенному аммоний, так что в этом случае поглощенный аммоний оказался менее эффективным, чем селитра. Опыт не дает возможности выявить причину этого.

Во всяком случае приведенные данные определенно показывают, что поглощенный аммоний является хорошим источником азотистого питания растений и даже в такой большой дозе, как 0,574 г N на 1 кг почвы (или 4,1 м-экв. на 100 г почвы), не создает в исследовавшейся почве неблагоприятных физических и химических свойств для овса. Последний вывод относится, конечно, только к бывшей в этом опыте почве; на другой почве с иным механическим составом, с иной буферностью и иной емкостью обмена такое количество поглощенного аммония могло создать для того же овса и иные свойства. Совершенно так же описанный опыт не предвещает вопроса об отношении других растений к обменному аммоний. Вопрос о поглощенном аммоний должен быть подвергнут всестороннему исследованию; здесь целый ряд моментов должен быть изучен: влияние различных его количеств на физические свойства почвы в зависимости от ее свойства, влияние на химические свойства (получение в почвенном растворе вредного для растений углекислого аммония), ход нитрификации и т. д. Главное значение вышеприведенного предварительного опыта заключается в том, что его данные определенно показывают, что такое углубленное и всестороннее изучение этого вопроса имеет определенный практический смысл: поглощенный аммоний как источник азота, поскольку его количество в почве не создает еще плохих условий для жизни растений, имеет громадные преимущества перед другими источниками азота для растений; он чрезвычайно слабо вымывается из почвы (во всяком случае медленнее, чем любой другой источник азота), а вместе с тем он в достаточной степени мобилизуется даже для очень высоких урожаев (10 г урожая овса в сосудах, в которых велись вышеописанные опыты, соответствуют 32 000 кг/га) и не создает даже при громадном содержании его в почве вредной концентрации.

В нашем опыте содержание в почве сосуда 0,287 г N в виде NH_4 не создавало вредных условий, а такое большое содержание обменного аммония может получиться в почве при воздействии на нее лишь колоссального количества аммонийной соли— от 10 до 40 т на 1 га. Таким образом, наш опыт дает полное основание предполагать, что даже усиленное и многолетнее удобрение почв аммонийными солями не грозит такими неприятными последствиями, как удобрение, например, натриевой селитрой (приведенные в этой статье данные распыляющего действия щелочных катионов вполне объясняют это распыляющее действие обменного аммония, и растворимость гуматов аммония значительно слабее, чем обменного натрия). О возможном накоплении при таком удобрении в почве аниона аммонийной соли и о влиянии этого обстоятельства на рост растений, равно как последствий усиленной утилизации растениями азота поглощенного аммония (в виде ли аммиака и продуктов нитрификации), мы здесь вовсе не касаемся. Это очень существенный, но совершенно особый вопрос.

Долгопрудное опытное поле,
август, 1932 г.

ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ УГЛЕСОЛЕЙ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ*

В целях подойти к разрешению означенного вопроса был поставлен ряд вегетационных опытов, заключающий в себе несколько самостоятельных серий. Все эти опыты велись в маленьких однокорневых сосудах, вмещающих 500—600 г почвы. Мы остановились на таких сосудах по следующим соображениям.

Основной опыт велся нами на почве, целиком насыщенной водородом; для резкого выявления агрономических особенностей такой почвы и действия известия на таковой желательно было иметь почву с возможно большой емкостью обмена, т. е. с возможно большим содержанием обменного водорода, а приготовление из почвы с большой емкостью обмена почвы, полностью насыщенной водородом, — операция очень длительная; принимая же во внимание, что с приготовленной таким образом почвой нужно было поставить, по крайней мере, 160 сосудов, т. е. даже при 500 г почвы на сосуд изготовить около 90 кг такой почвы мы не могли, нам было совершенно ясно, что при большой величине сосудов при имевшихся условиях работы зимой 1930/31 г. на Долгопрудном опытном поле с поставленной задачей мы справиться бы не могли. Если нам удалось приготовить и эти 90 кг почвы, то лишь благодаря тому, что еще в бытность свою в Ленинграде весной 1930 г. я налажил в Почвенном институте Академии наук изготовление около 40 кг почвы, насыщенной водородом, а само изготовление ее было произведено там моими сотрудниками.

К тому же меня побуждало и стремление к экономии места в вегетационном домике, так как на весь ряд опытов по рассматриваемой теме пришлось заложить известное число сосудов.

Конечно, маленькие сосуды имеют свои неудобства; главное из них то, что растения в таких сосудах требуют большого ухода: чаще необходимо поливать вследствие малого запаса воды в сосуде, а главное — всякая потеря (повреждение различными вредителями, поломки, осыпание)

* Эта статья была начата акад. К. К. Гедройцем незадолго до его смерти, и он предполагал закончить ее во время своего отпуска в Сочи. В настоящей статье акад. К. К. Гедройц намечал подвести итоги своим исследованиям по вопросу о значении для растений соотношения Са : Mg в почвенном поглощающем комплексе. Материалы по этому вопросу были в дальнейшем обработаны Ф. Н. Германовым, А. Н. Вольской и С. Г. Шедеровым и опубликованы в книге акад. К. К. Гедройца "Почвенный поглощающий комплекс, растения и удобрение. Сельхозгиз. 1935. — Ред.

сказывается гораздо сильнее на величине урожая, а значит, и точности опыта, нежели при большей величине сосудов, но последнее обстоятельство особой роли в данном случае не могло играть, так как в этом предварительном опыте важна была общая картина и скорее качественная, а не количественная сторона.

Мы сейчас опишем в отдельности каждую серию опытов.

Опыт с CaCO_3 . Опыт проводится в маленьких сосудах оцинкованного железа вместимостью 1 кг песка. Средой служил стерильный белый кварцевый песок, получивший на сосуд: 1 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,1 г P_2O_5 и 0,066 г K_2O в KH_2PO_4 и 0,05 г MgO в MgSO_4 . Высаженные в сосуды овес и горчица по различным количествам осажденного углекислого кальция развивались всюду вполне нормально и были убраны в зеленом состоянии. Дозы вносившегося углекислого кальция и полученный урожай видны из нижеследующей таблицы 1.

Таблица 1

Средний урожай из двух параллельных сосудов (в граммах на сосуд)

Количество CaCO ₃	Овес	Горчица	Количество CaCO ₃	Овес	Горчица
	полное удобрение			полное удобрение	
0	2,11	1,55	10,000	1,76	1,19
0,625	2,10	1,25	12,500	2,48	1,05
1,250	1,92	1,13	15,000	2,14	1,05
2,500	1,98	1,17	17,500	2,08	1,15
5,000	2,29	1,24	20,000	1,98	1,35
7,500	1,99	1,09	25,000	1,81	1,15

Полученные данные показывают, что в песчаной культуре углекислый кальций не оказывал в сколько-нибудь заметной степени вредного действия на овес и горчицу, во всяком случае об губительном действии даже таких доз, как 25 г CaCO_3 на 1 кг песка, говорить не приходится. В моих прежних опытах, которые ставил в б. Сельскохозяйственной химической лаборатории в С.-Петербурге в песчаных же культурах с этими растениями, при пропускании в течение $1\frac{1}{2}$ месяца через день тока углекислоты через сосуд по 2 часа в день вредного действия углекислого кальция также не обнаружилось. Таким образом, углекислый кальций сам по себе растениям в заметной степени не вредит.

Опыт с осажденным углекислым магнием. Опыт был поставлен так же, как вышеописанный, но в сосуды не давался сернокислый магний, и состав полного удобрения был следующий (на сосуд в 1 кг песка): 0,1 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,1 г P_2O_5 в NaH_2PO_4 ; 0,066 г K_2O в K_2SO_4 .

Опытным растением служили овес, горчица и лен после горчицы. Растения были убраны в зеленом состоянии, когда результат уже определен. Данные этого опыта и количества вносившегося углекислого магния привожу в таблице 2.

Как видно из этой таблицы, уже самая малая доза углекислого магния (0,525 г MgCO_3 на сосуд) вызывала понижение урожая овса и горчицы. С дальнейшим увеличением количества углекислого магния урожай растений все понижался, причем овес рос и на самой большой дозе MgCO_3 (16,8 г на сосуд), хотя и дал очень небольшой урожай (0,44 г надземной

Таблица 2

Урожай растений по осажденному углекислому магнию (в граммах на сосуд)

Количество $MgCO_3$	Овес	Горчица	Количество $MgCO_3$	Овес	Горчица
0	3,86	1,90	4,200	0,78	0
0,525	2,83	0,53	8,400	0,63	0
1,050	1,22	0,20	16,800	0,44	0
2,100	0,92	0,20			

массы на сосуд вместо 3,56 г без $MgCO_3$), горчица же уже на дозе 4,21 г $MgCO_3$ отказывалась совершенно расти: начиная с этой дозы и дальше горчица вовсе не развивалась.

После горчицы в те же сосуды был посеян лен; он оказался еще более, нежели горчица, чувствительным к углекислому магнию; уже на первой самой малой дозе (0,525 г $MgCO_3$ на сосуд) лен вовсе не развивался; таким образом, в описанном опыте лен рос только в сосудах с полным удобрением без $MgCO_3$, остальные же никакого урожая не дали.

Опыт с доломитом и магнезитом. Опыт был поставлен совершенно так же, как и с углекислым кальцием и углекислым магнием; опытным растением служила горчица, убранная в зеленом состоянии. Урожай и дозировка доломита и магнезита видны из нижеследующей таблицы.

Таблица 3

По доломиту		По магнезиту	
количество доломита на сосуд (в г)	урожай	количество магнезита на сосуд (в г)	урожай
0	1,90	0	2,07
0,6	2,53	0,55	2,13
1,2	2,15	1,10	2,19
2,4	2,93	2,20	2,05
4,8	3,03	4,40	2,00
9,6	3,00	8,80	2,00
19,3	2,35	17,60	1,00

Опыт показывает, что ни доломит, ни магнезит даже в очень высоких дозах не оказывали вредного действия на горчицу в песчаных культурах.

Подводя итоги описанным выше опытам с овсом, горчицей и льном в песчаных культурах по выяснению отношения этих растений к различным дозам углекислого кальция, углекислого магния (осажденного), доломита и магнезита, мы должны прийти к заключению, что углекислый кальций, доломит и магнезит в условиях опыта оказались совершенно безвредными для исследовавшихся растений даже в очень больших дозах (400 м-экв. на 1 000 г песка); углекислый же магний, наоборот, обнаружил сильное ядовитое действие в отношении всех трех испытанных растений: растения сильно страдали уже от первой самой малой дозы $MgCO_3$ (0,525 г $MgCO_3$ на сосуд, или 12,5 м-экв. на 1 000 г песка).

Таким образом, в такой инертной среде, какой является кварцевый песок в отношении исследовавшихся углесолей кальция и магния (в этой среде возможно допустить лишь проявление физического поглощения, да и то в ничтожной степени, так как песок представляет крупнозернистую среду, в которой почти отсутствовали частицы меньше 0,25 мм), кальций как в виде углекислого, так и в виде двойной углекислой соли кальция и магния переносится растениями в очень больших дозах, магний же в виде природной углекислой соли магнезита также безвреден, как CaCO_3 и доломит, а в виде осажденного искусственно приготовленного MgCO_3 сильно ядовит. Совершенно ясно в данном случае, той реакцией между средой (песок) и вносившимися углесолями, вследствие которой могло быть вредное действие, должно было быть почти исключительно растворение этих углесолей в жидкости сосудов. Чтобы подойти ближе к причине рассматриваемого явления, я произвел исследование результата взаимодействия между дистиллированной водой и бывшими в настоящих опытах углесолями: 10 г CaCO_3 и эквивалентные количества доломита, осажденного углекислого магния и магнезита взбалтывались время от времени в сосудах, герметически закрытых пробками, с 2 л воды в течение 6 дней. Анализ полученных растворов, насыщенных взятыми углесолями, приводим в нижеследующей таблице (в граммах на 1 л).

Таблица 4

Исследовавшаяся соль	Сухой остаток	Щелочность в куб. см 0,02 норм.		Ca	Mg	pH
		фенол-фталени	метил-оранж			
CaCO_3	0,0914	0	96	0,033	0,002	7,2
MgCO_3	0,3374	100	364	0	0,095	9,0
Доломит	0,0826	0	96	0,024	0,006	7,5
Магнезит	0,0616	0	84	0,005	0,014	7,3

Как мы видим из приведенных данных, углекислый магний (лабораторный) значительно более растворим в чистой воде, нежели остальные три углесоли, особенно магнезит, причем только он один дал раствор сильнощелочной в отношении фенолфталенина; pH у раствора, насыщенного этой солью, оказался равным 9,0, тогда как остальные три углесоли дали pH не выше 7,5. Таким образом, совершенно ясно, что условия растворимости испытывавшихся в этих опытах углесолей таковы, что именно лабораторный углекислый магний мог быть ядовитым для растений, остальные же три соли должны были быть сами по себе безвредными. Говорю, что углекислый магний, судя по его отношению к воде, мог быть ядовитым, так как он таковым мог бы и не оказаться, если бы взятая для опыта среда, в которую вносился углекислый магний, соответственно изменяла продукт его растворения. Мы в дальнейшем будем иметь такой случай. В описанных же опытах песчаная среда была слишком мало активной для изменения в сколько-нибудь заметном размере отрицательного влияния на растение внесенного в нее MgCO_3 . Что в данном случае в действительности водный насыщенный раствор, полученный нами при воздействии воды на исследовавшиеся углесоли, был в общем аналогичен (в отношении продуктов растворения этих углесолей) раствору в сосудах с песком вышеописанных опытов, показывает величина pH в песке этих

сосудов. Мы сейчас остановимся на этой величине. У нас имеется величина рН в сосудах из-под опыта на песке с различными дозами углекислого кальция, рН определялось после уборки горчицы в водной суспензии (1:1). Определение производилось во всех сосудах. Вот полученные результаты.

Таблица 5

Внесенное в сосуд удобрение	Сосуд	рН	Среднее
NPKMg	1-й	7,0	7,05
NPKMg	2-й	7,10	
NPKMg—0,625 г CaCO_3	1-й	7,54	7,54
NPKMg—0,625 » CaCO_3	2-й	7,54	
NPKMg—1,25 » CaCO_3	1-й	7,86	8,02
NPKMg—1,25 » CaCO_3	2-й	8,19	
NPKMg—2,50 » CaCO_3	1-й	7,98	8,12
NPKMg—2,50 » CaCO_3	2-й	8,26	
NPKMg—5,00 » CaCO_3	1-й	8,25	8,32
NPKMg—5,00 » CaCO_3	2-й	8,40	
NPKMg—7,5 » CaCO_3	1-й	8,12	8,22
NPKMg—7,5 » CaCO_3	2-й	8,30	
NPKMg—10,0 » CaCO_3	1-й	8,45	8,32
NPKMg—10,0 » CaCO_3	2-й	8,19	
NPKMg—12,5 » CaCO_3	1-й	8,32	8,25
NPKMg—12,5 » CaCO_3	2-й	8,19	
NPKMg—15,0 » CaCO_3	1-й	8,25	8,32
NPKMg—15,0 » CaCO_3	2-й	8,30	
NPKMg—17,5 » CaCO_3	1-й	8,35	8,35
NPKMg—17,5 » CaCO_3	2-й	8,38	
NPKMg—20,0 » CaCO_3	1-й	8,45	8,47
NPKMg—20,0 » CaCO_3	2-й	8,50	
NPKMg—25,0 » CaCO_3	1-й	8,56	8,53
NPKMg—25,0 » CaCO_3	2-й	8,50	

Как видим из этой таблицы, рН в сосудах оказалось выше, чем в насыщенном растворе углекислого кальция в дистиллированной воде, так как в сосудах внесившийся KH_2PO_4 давал с углекислым кальцием углекислый калий, а углекислота, выделяемая корнями растений, усиливала растворимость CaCO_3 . Во всяком случае рН в сосудах с песком по CaCO_3 нигде не поднималось выше 8,5.

В таблице 6 мы приводим величину рН, найденную в сосудах вышеописанных опытов в песчаных культурах с лабораторным углекислым магнием, доломитом и магнезитом после снятия урожая. Количества углекислого магния, доломита и магнезита даны в таблице в эквивалентном количестве CaCO_3 (в граммах на сосуд).

Таблица 6

pH по полному удобрению с различными количествами $MgCO_3$, доломита и магнезита

Количество углекислоты	$MgCO_3$	Доломит	Магнезит
0	7,35	7,35	7,25
0,625	7,98	—	7,29
1,25	8,41	7,86	7,42
2,50	8,80	7,80	7,36
5,00	8,93	7,73	7,36
10,00	9,00	7,86	7,50
20,00	9,11	7,87	7,86

Приведенные данные очень интересны: во-первых, мы видим, что доломит и магнезит дали почти одинаковую величину pH, причем эта величина у доломита почти совершенно одинакова при всех его дозах, а именно около 7,8, у магнезита же она постепенно повышается с усилением дозы начиная с 7,3 и кончая при наивысшей дозе 7,8; во-вторых, мы видим, что pH по доломиту и магнезиту ниже, чем по $CaCO_3$, по той же дозе которого pH достигает 8,5, и, наконец, таблица показывает, что pH по лабораторному углекислому магнию самое высшее; уже по первой, самой малой дозе его (0,625 г), pH достигает и даже переходит максимальную величину его по доломиту и магнезиту (7,98), между второй и третьей его дозами pH достигает максимальной величины, полученной по $CaCO_3$, 8,4 и 8,8, а по $CaCO_3$ максимум 8,5, при максимальной же дозе углекислого магния pH достигает 9,11; величины pH в песчаных культурах по углекислому магнию, доломиту и магнезиту очень близки к ранее приведенным величинам pH в водных вытяжках из этих углесолей. Мы видим из последних данных, что по углекислому магнию в песчаных культурах на высоких его дозах получается такая высокая актуальная щелочность, что страдание и даже гибель растений, которая имела место в наших песчаных культурах и с овсом и с горчицей, может быть вполне объяснена реакцией. Но все-таки все явления, имевшие место в этих опытах, целиком нельзя объяснить реакцией среды: данные урожая по углекислому магнию показывают, что урожай и овса и горчицы понизился в очень сильной степени уже по самой малой дозе углекислого магния (овес без $MgCO_3$ —3,6 г, по 0,525 г $MgCO_3$ —2,8 г; горчица без $MgCO_3$ —1,9 г, по 0,525 г $MgCO_3$ —0,53 г), когда pH было всего 7,98; по такой величине pH эти растения и по $CaCO_3$ и по доломиту и магнезиту урожая не понижали. Мы видим здесь непосредственно вредное действие иона магния, не уравновешенного соответствующим количеством иона Ca; мы видели выше, что лабораторный магний сильно растворим; таких больших количеств магния в растворах песчаных культур, какие получались по $MgCO_3$, не могло получиться ни по доломиту, ни по магнезиту; повидному, при большой растворимости углекислого магния в сосудах с этой углесолью было недостаточно того количества иона кальция, какое давалось в этом опыте в виде $Ca(NO_3)_2$ для создания благоприятного отношения между Ca и Mg в растворах, и растения страдали от малой величины Ca : Mg.

Переходим теперь к описанию вегетационных опытов с внесением тех же углекислых соединений, но уже в активную среду, в почву, где эти углесолы вступали в реакцию обмена, влиявшую на состав почвенного раствора.

Для опыта был взят верхний горизонт (0—20 см) тучного чернозема Каменноостепной опытной станции.

Опыт с CaCO_3 . Основной опыт состоял в испытании действия на означенные растения различных доз осажденного углекислого кальция. В сосуды с 500 г чернозема вносилось полное удобрение в составе 0,1 г N (в NaNO_3) и 0,1 г P_2O_5 (в KH_2PO_4) и различные количества CaCO_3 . Растения были убраны в зрелом состоянии и дали следующий урожай*.

Мы видим, что даже громадные количества углекислого кальция (25 г CaCO_3 на сосуд, т. е. 5% от веса почвы, или 100 м-экв. на 100 г почвы) вовсе не понижали урожая обоих испытанных растений на исследовавшемся черноземе, насыщенном кальцием и магнием, даже наоборот: несмотря на нейтральность чернозема, у овса мы наблюдаем некоторую тенденцию к повышению урожая от внесения извести, выражена она очень слабо и для определенного ее выявления нужны более точные опыты, в отношении же горчицы и на основании полученных результатов можно определенно говорить, что углекислый кальций заметно повышал урожай зерна. Нам сейчас важно подчеркнуть два вывода, вытекающие из приведенного опыта:

1) углекислый кальций, вносившийся в исследованный нами нейтральный чернозем, оказался совершенно безвредным даже при очень больших дозах (100 м-экв. на 100 г почвы отвечают 125 т на 1 га) и овсу и горчице;

2) под горчицей углекислый кальций не только не действовал вредно, но совершенно определенно вызывал положительный эффект, который не исчезал даже при самой высокой из применявшихся доз. Приписывать это нейтрализации кислотности нельзя, ибо pH у исследовавшегося чернозема было почти 7, положительный эффект действия углекислого кальция на горчицу и почти полное отсутствие такого (или очень слабая, неясная выраженность его) под овсом обуславливались другими причинами, которые станут ясны из дальнейшего изложения.

Опыт с MgCO_3 . Когда наметилась из наблюдений над ростом различных растений возможная зависимость неблагоприятного действия больших доз извести от содержания в почвенном растворе магния, представилось желательным изучить действие на растения на первоначальном черноземе углекислого магния (осажденного). Этот опыт был поставлен совершенно так же, как предшествующий, опытными растениями служили овес и горчица. Так как опыт был поставлен поздно и результаты его достаточно ясно выразились еще до созревания, то растения были убраны в конце сентября, овес—в стадии выхода в трубку, а горчица—в стадии окончания цветения. Полученные данные приводим в таблице 7.

Таблица 7

Действие различных доз MgCO_3 по полному удобрению на нейтральном черноземе (урожай в граммах на сосуд)

Количество MgCO_3		Овес	Горчица
в граммах на сосуд	в мг-экв. на 100 г почвы		
0	0	7,3	5,3
0,525	2,5	6,9	4,9
1,05	5,0	7,6	6,7
2,10	10,0	7,5	6,4
4,20	20,0	7,7	6,1
8,40	40,0	7,9	5,5
16,80	80,0	2,3	0,5

* Материалы по учету урожая отсутствуют (статья не была закончена автором).—Ред.

Приведенные данные показывают, что к углекислому магнию на нейтральном черноземе овес и горчица относятся несколько иначе, чем к углекислому кальцию: при углекислом кальции все испытанные дозы включительно до 100 м-экв. не оказывали вредного действия, углекислый же магний уже в дозе 80 м-экв. сильно вредил овсу и почти губил горчицу.

Опыт с доломитом и магнезитом. Применявшийся в этих опытах доломит (размол $< 0,17$ мм) имел состав, соответствующий формуле $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, а магнезит (аморфный размол $< 0,25$ мм) содержал, кроме углекислого магния, 3,5% CaCO_3 . Опыт ставился с одной только горчицей. Растения при всех дозах доломита развивались очень хорошо и были убраны в полном цвету. Полученный урожай приводим в таблице 8.

Таблица 8

Действие различных доз доломита на полное удобрению на нейтральном черноземе (урожай в граммах на сосуд)

Количество доломита		Горчица
в граммах на сосуд	в м-экв. на 100 г почвы	
0	0	5,3
0,6	2,5	5,6
1,2	5,0	5,9
2,4	10,0	5,5
4,8	20,0	5,6
9,6	40,0	5,6
19,2	80,0	5,7

Приведенные данные показывают, что даже при дозе, соответствующей 4% от веса почвы, доломит отрицательного действия на горчицу не оказывал.

Опыт с аморфным магнезитом был поставлен по той же схеме, как и с доломитом, дозы магнезита были эквивалентны (по углекислоте) дозам доломита и дозам углекислого магния (осажденного) в ранее описанном опыте. Испытывалось действие под горчицей. Растения во всех сосудах развивались нормально и были убраны в полном цвету. Вес полученного урожая привожу в таблице 9.

Таблица 9

Урожай (в г)

Количество доломита		Горчица
в граммах на сосуд	в м-экв. на 100 г почвы	
0	0	4,8
0,55	2,5	4,9
1,10	5,0	5,1
2,20	10,0	5,3
4,40	20,0	5,1
8,80	40,0	4,9
17,60	80,0	4,8

Учитывая точность вегетационного опыта в маленьких сосудах, приходится считать различия в полученных результатах находящимися в пределах ошибки. Таким образом, магнезит, так же как углекислый кальций и доломит, даже при внесении его в самой большой из применявшихся доз вовсе не вредил горчице.

Мы видели выше, что лабораторный углекислый магний в дозе 80 м-экв. на 100 г почвы вызывал почти полную гибель горчицы и сильно понижал урожай овса на этом же черноземе, природный же углекислый магний—магнезит—вредного действия вовсе не оказывал.

Если мы теперь сравним действие исследовавшихся углесолей на черноземе с действием их на песчаных культурах, то увидим, что углекислый кальций, доломит и магнезит на обеих этих средах под всеми испытанными растениями действовали совершенно одинаково, т. е. отрицательного эффекта эти вещества вовсе не вызывали даже при очень больших дозах; таким образом, эти соединения на обеих исследованных средах сами по себе (т. е. продуктом их растворения в почвенном растворе) вовсе не вредили растениям, не вредили они также и теми продуктами, какие могли образоваться в силу взаимодействия этих соединений с черноземом, бывшим в наших опытах, чернозем же этот был насыщен основаниями, а именно кальцием и доломитом, магнезитом и магнием; между углекислым кальцием, доломитом и магнезитом, с одной стороны, и таким черноземом, с другой стороны, могли происходить лишь реакции обмена, а именно: в случае углекислого кальция в почвенный раствор могло переходить избыточное количество магния по сравнению с почвой без CaCO_3 , в случае магнезита в почвенный раствор могло переходить из почвы больше кальция, в случае доломита могло переходить больше или кальция или магния, в зависимости от свойств доломита, от относительной растворимости его CaCO_3 и MgCO_3 . На этих явлениях мы остановимся несколько ниже.

Но если в действии вышеназванных трех веществ на почве и на песке мы не видели разницы, то в отношении четвертой испытанной углесоли, а именно лабораторного углекислого магния, проявилось существенное различие.

Таблица 10

Действие MgCO_3 в песчаных и почвенных культурах
(урожай в граммах на сосуд)

Количество MgCO_3 (в граммах на сосуд)	Овес		Горчица	
	Почва	Песок	Почва	Песок
0	7,3	3,56	5,3	1,9
0,525	6,9	2,83	4,9	0,53
1,050	7,6	1,22	6,7	0,20
2,100	7,5	0,92	6,4	0,20
4,200	7,7	0,73	6,1	0
8,400	7,9	0,63	5,5	0
16,800	2,3	0,44	0,5	0

На почве углекислый магний проявил свое вредное действие на овсе и горчице только в дозе 16,8 г на сосуд (в сосуде 500 г почвы или 1 000 г песка), половинная же доза (8,4 г) была совершенно безвредна обоим растениям, на песке же вредить начинала уже самая малая доза в 0,525 г

$MgCO_3$ на сосуд. Совершенно ясно, что причина этого различия в том, что песчаная среда была индифферентной в отношении углекислого магния, на ней это соединение вредило растениям как таковое, почва же взаимодействовала с углекислым магнием и до известных пределов «обезвреживала» его вредные свойства. Для того чтобы разобраться в вопросе, что происходило между почвой и $MgCO_3$, остановимся сначала на величине pH в сосудах с черноземом, получивших различные углесоли и в том числе углекислый магний (см. таблицу). (На этом месте прерывается рукопись акад. К. К. Гедройца.—*Ред.*)

РАБОТЫ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОТДЕЛА НИУ ПО ВЗАИМООТНОШЕНИЮ МЕЖДУ ПОЧВЕННЫМ ПОГЛОЩАЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ, РАСТЕНИЕМ И УДОБРЕНИЕМ

Когда мы вносим в почву какое-либо удобрение, то та или другая часть его (в зависимости от свойств почвы и внесенного удобрения, его количества, влажности почвы, степени перемешанности и т. д.) поглощается, закрепляется почвой. Мы знаем, что катионы удобрительных веществ вступают при этом в почвенный поглощающий комплекс, анионы же могут поглощаться, образуя с катионами почвы нерастворимые соли или образуя с гуматами, полуторными окислами, кремнекислотой сложные коллоидальные комплексы. Такой способностью обладает, повидимому, анион PO_4 , возможно, что и анион SO_4 . Далее почва закрепляет белковые вещества, дающие с лигнином разлагающихся органических остатков лигнопротеины (коллоидальные стойкие вещества, составляющие главную массу гумуса), вступающие, таким образом, в состав почвенного поглощающего комплекса. Остающиеся незакрепленными почвой питательные элементы удобрения используются растениями и микроорганизмами или вымываются при благоприятных условиях атмосферными осадками. Этот процесс исчезновения из почвы незакрепленных ею питательных элементов удобрения совершается, повидимому, довольно быстро, на что, например, указывает слабое последствие минеральных удобрений даже при очень низком проценте использования растением удобрительного тука в первый год внесения.

Совершенно ясно, что в деле химизации земледелия изучение как судьбы вносимых в почву удобрений, так и действия на почву и на растение тех элементов удобрения, которые почвой поглотились, представляет не меньший, а я убежден, что даже значительно больший интерес и значение, особенно в отношении новых, сложных удобрений, нежели изучение той части этих элементов, которые остаются незакрепленными почвой в почвенном растворе или в виде первоначального вещества. С другой стороны, все естественно содержащиеся в почве питательные элементы, дающие в почвенном растворе соединения этих элементов, являющиеся непосредственной пищей растениям, поступают в большей, преобладающей своей части в этот раствор из почвенного поглощающего комплекса. В полной мере это относится к почвам влажных областей, в которых накопление каких-либо простых солей, а в том числе и питательных, не может иметь места; для этих почв почвенный раствор есть производная часть только поглощающего комплекса. Почвенный поглощающий комплекс, находясь во многих отношениях в тесной зависимости от почвенного

раствора, реагируя на всякое изменение в качественном и количественном его составе, для рассматриваемых почв является единственным (до вмешательства человека) источником соединений почвенного раствора. До последнего времени трудно было увязать эту точку зрения по отношению доступного растению азота, так как было неясно, из каких почвенных соединений происходит этот азот, который, аммонифицируясь и нитрифицируясь, дает в почвенный раствор доступные растению азотистые соединения (аммоний и азотная кислота). В настоящее же время можно довольно определенно утверждать, что азот гумуса почвы содержится в органической части почвенного поглощающего комплекса, представляющей собою комплексные соединения лигнина и протеина. Из вышесказанного совершенно ясно, что изучение почвенного поглощающего комплекса необходимо не только потому, что он поглощает вносимые в почву удобрительные вещества, но и потому, что именно в нем по преимуществу содержатся те питательные элементы, которые растения получают из почвы.

Общий вопрос о взаимодействии между растением, удобрением и почвенным поглощающим комплексом в настоящее время резко расчленяется на два отдельных вопроса: о взаимодействии в отношении анионов и о взаимодействии в отношении катионов. Первый вопрос находится еще в начальной стадии разработки; мы еще почти ничего не знаем о самой анионной части поглощающего комплекса как таковой; поэтому подходить сколько-нибудь систематически, планомерно к изучению взаимодействия между этой частью поглощающего комплекса, растением и удобрением теперь еще нет возможности. Тут можно иметь результаты, лишь косвенно относящиеся к вопросам этого взаимодействия; на очереди же еще стоит изучение анионной части поглощающего комплекса как таковой и реакций между поглощающим комплексом и анионами солей. В настоящее время такое изучение в широком масштабе ведется М а т т с о н'ом и, повидимому, методика, принятая этим исследователем должна дать положительные результаты. Когда анионная часть почвенного поглощающего комплекса будет в достаточной степени познана тогда можно будет приступать к планомерному изучению взаимодействия между этой частью поглощающего комплекса, растением и удобрением.

В ином совершенно положении находится вопрос о взаимоотношении между растением и удобрением и катионной частью почвенного поглощающего комплекса. Эта часть поглощающего комплекса значительно более изучена, мы знаем в достаточной степени законы, управляющие этой частью, мы обладаем методикой изучения ее и продуктов взаимодействия ее с растением и удобрением; мы можем по своему желанию изменять состав этой части, вводить в нее элементы, влияние которых на растение желательно нам изучать, и т. д.

Несмотря на указанное выше ограничение возможностей «агрохимического» использования в настоящее время учения о почвенном поглощающем комплексе, имеющиеся уже возможности все-таки очень широки; их необходимо использовать.

Основной задачей, поставленной на разработку руководимой мною группой НИУ, является агрохимическое в указанном выше смысле изучение почвенного поглощающего комплекса (точнее сказать—агрономическое, так как сюда входит и агрофизическое изучение). Такого рода изучение начато мною уже давно; собственно говоря, оно шло параллельно с моим изучением явлений поглощения и почвенного поглощающего комплекса, но достаточно широко оно могло развернуться лишь после того,

как я достаточно оформил учение о почвенном поглощающем комплексе (1923/24) и у меня оказалась необходимая обстановка для перенесения моих опытов и исследований из лаборатории в природу. Такую обстановку, достаточную для начала исследований, я получил на Долгопрудном опытном поле НИУ в лице соответствующего персонала и выстроенного в 1931 г. вегетационного павильона на 2 500 сосудов.

Свои исследования вопросов, связанных с взаимодействием между растением и обменными катионами почвы, в расширенном виде я начал на Долгопрудном опытном поле с 1930 г. Программу этих исследований в сколько-нибудь законченном виде, систематическую и детальную в настоящее время нельзя еще дать; вопросы все совершенно новые, каждый дальнейший шаг обуславливается результатами, получающимися в предшествовавшем исследовании, но в самых общих чертах программа эта на основании полученных уже данных с оговоркой, что дальнейшие результаты могут сильно изменить ее, рисуется мне таким образом. Подчеркиваю еще раз, что о более или менее систематических опытах по отысканию взаимоотношений между растением, удобрением и почвенным поглощающим комплексом можно сейчас говорить лишь в отношении катионной части этого комплекса; поэтому в дальнейшем я буду говорить об обменных катионах.

I. Изучение отношения растений к различным (возможно большего числа) катионам при полном насыщении каждым из них емкости обмена почвы, с параллельным лабораторным изучением физических, химических, физико-химических и микробиологических свойств, полученных при таком насыщении почвенных образований. На основании полученных результатов такое же изучение должно быть проведено с наиболее интересными катионами на почвах с различной емкостью обмена, с различным отношением между минеральной и органической частью поглощающего комплекса и с различным механическим составом неколлоидальной части почвы; так как различные растения неодинаково относятся к одному и тому же обменному катиону, то в указанном направлении должны быть изучены различные растения.

Вышеозначенный вопрос я считаю основным вопросом; изучение его должно дать общие указания на взаимоотношения между растением, удобрением и обменными катионами, на основании которых должны появиться дальнейшие конкретные вопросы. Так как этот основной вопрос мною частично уже выявлен, то я могу сейчас уже поставить некоторые другие вопросы.

II. Исследование тех катионов, которые в состоянии, насыщающем емкость обмена, ядовиты для растений, в отношении их стимулирующего действия при частичном содержании их в поглощающем комплексе. Повидимому, чем ядовитее данный катион при большем его содержании в поглощающем комплексе, тем скорее можно ожидать стимулирующего его действия в ничтожных количествах и тем сильнее может быть такое действие. Здесь опять-таки надо иметь в виду зависимость действия на растения взятого катиона от величины емкости обмена, состава обменных катионов и т. д., т. е. вообще от конкретных условий, в которых находится изучаемая почва.

III. Особое и вместе с тем весьма существенное положение во всей проблеме почвенного поглощающего комплекса занимает вопрос о поднятии естественного плодородия почвы, о повышении подвижности питательных элементов почвы изменением состава обменных катионов почвы. Мы знаем, что обменный Са является наиболее благоприятным катионом

для растений в смысле создания наиболее подходящей среды для роста растений, но с другой стороны, он закрепляет азотистые и фосфорнокислые соединения почвы, делает их мало подвижными. Другие естественные обменные катионы почвы, как то: H , NH_4 , Na , K , Mg , являются, наоборот, начиная с известного количества, ядовитыми, но вместе с тем присутствие их в поглощающем комплексе даже в очень небольших количествах повышает подвижность и азотистых и фосфорнокислых (а также калиевых) соединений. Задача исследования и заключается в том, чтобы найти оптимальное содержание их в поглощающем комплексе в зависимости от свойств почвы и условий залегания ее, причем необходимо считаться с тем, что повышение подвижности азота и фосфора (и калия) связано вместе с тем и с выносом этих веществ из почвы не только растением, но и атмосферными осадками, т. е. что повышение подвижности питательных элементов почвы может при недостаточно осмотрительном отношении повести к бесполезной трате этих элементов.

IV. В связи с целым рядом чисто практических задач, приобретших особое значение при социалистической реконструкции сельского хозяйства (мелиорация кислых почв, солончаков и солонцов, использование труднорастворимых фосфатов, сложных, новых удобрений, аммонийных солей и т. д.), имеется острая необходимость углубленного и всестороннего изучения действия на почву и на растение таких обменных катионов, как водород, натрий, магний, аммоний, калий.

Целый ряд вопросов связан с содержанием в почве обменного водорода, со степенью насыщенности почвы основаниями, но в большинстве случаев мы до сих пор знаем лишь, что те или иные свойства почвы, то или иное отношение растения к ней зависят от содержания в ее поглощающем комплексе обменного водорода, но количественные зависимости остаются еще далеко не изученными. Совершенно то же можно сказать в отношении обменного натра, калия, магния и аммония. Совершенно ясно, что все эти вопросы должны быть систематически исследованы, так как влияние этих катионов на высоту и качество урожая несомненно.

Из многочисленных вопросов, относящихся к этому пункту, для примера укажу, в частности, на один, а именно на роль указанных выше пяти обменных катионов в доступности растениям труднорастворимых фосфатов; совершенно несомненно, что все эти пять катионов (в различной, конечно, степени соответственно особенностям каждого), обмениваясь своими местами с катионами труднорастворимого фосфата, будут изменять его растворимость, а значит, и доступность растениям, причем ясно также, что это влияние будет находиться в зависимости не только от количества в почве того или другого из этих обменных катионов, но и от целого комплекса других условий, как то: величины емкости обмена, коэффициента насыщения почвы этими катионами, коэффициента насыщения почвы катионами, действующими обратно, т. е. понижающими растворимость этих фосфатов (кальция), и т. д. Познать растворяющее действие почвы на труднорастворимые фосфаты настолько, чтобы мы могли управлять этим свойством почвы и предусматривать его, можно будет, только изучив реакцию взаимодействия между поглощающим комплексом, содержащим означенные катионы, и труднорастворимыми фосфатами при самых разнообразных условиях и сопоставив полученные результаты с результатами соответствующих опытов с растениями. Укажу еще на один частный случай—мелиорацию почв, содержащих обменный натрий. Мы знаем теперь совершенно определенно, что из таких почв надо удалить обменный натрий.

если количество последнего превосходит некоторую величину (какую в каждом данном случае, нам еще неизвестно); но здесь в связи с конкретными свойствами каждой почвы возникает целый ряд других второстепенных уже вопросов, которые, однако, очень существенны в отношении стоимости мелиорации и в отношении величины урожая, который будет получаться с мелиорированной площади: нужно ли удалять из почвы продукты обмена и, если нужно, то до какой степени; каково будет соотношение между обменными катионами после удаления обменного натрия (например, отношение $\text{Ca} : \text{Mg}$); в какой мере это соотношение будет благоприятно тому или другому растению, в каком направлении следует изменить это соотношение и т. п.

V. Как указывалось выше, почвенный раствор почв достаточно влажных областей есть производная почвенного поглощающего комплекса; состав обменных катионов этих почв обуславливает состав и концентрацию катионов почвенной влаги.

Чем глубже проникает наука в вопросы питания растений в широком смысле этого слова, тем все очевиднее становится, что развитие растений зависит не только от содержания в почве так называемых необходимых питательных элементов, но и от целого комплекса других условий и, между прочим, от содержания в почвенном растворе различных других элементов; если последние не являются необходимыми, то во всяком случае их присутствие так или иначе отражается на рост растений; мало того, все яснее становится зависимость развития растений, а значит, и величины и качества урожая не только от абсолютного содержания каждого из соединений почвенного раствора, но и от соотношения их между собой: весь ход развития учения о питании растений убеждает нас в этом, и само положение о зависимости развития растений не только от концентрации веществ, входящих в почвенный раствор, но и от величины отношения между этими концентрациями, можно считать твердо установленным; но какова величина этих отношений для оптимального развития растений, между какими элементами отношение играет роль в первую очередь, между какими оно имеет второстепенное значение, какова величина этих отношений для различных растений, как меняется оптимальная величина тех или других отношений в зависимости от различных факторов вегетации (например, от кислотности почв, от влажности почвы, температуры и т. д.), — все это почти не затронутые еще вопросы. Таким образом, изучение почвенного поглощающего комплекса с этой стороны, изучение влияния его состава обменных катионов, соотношение между различными этими катионами и влияние их на растение представляет одну из существенных задач агрохимии.

Для примера укажу на вопрос о влиянии отношения между кальцием и магнием в почве на урожай, вопрос, поднятый в начале текущего столетия Левом, который, однако, до сих пор оставался неиспользованным в агрохимии, пока он не был увязан с почвенным поглощающим комплексом.

VI. Из числа программных вопросов по изучению взаимоотношений между почвенным поглощающим комплексом и растением я выделяю особо один вопрос, хотя он тесно переплетается почти со всеми вышеотмеченными; выделяю его по тому колоссальному его значению, какое он имеет у нас при социалистической реконструкции сельского хозяйства и связанной с нею химизацией нашего земледелия. Я имею в виду повышение максимальной производительности почвы, т. е. величины урожая, которую почва способна давать при обеспеченности ее питательными веществами.

Мы знаем, что у различных почв величина эта очень неодинакова и что она, несомненно, находится в теснейшей зависимости от величины и свойств почвенного поглощающего комплекса и в том числе от состава обменных катионов; изменением этого состава, введением в поглощающий комплекс тех или других новых катионов или увеличением или уменьшением количества содержащихся уже в нем обменных катионов можно повысить максимальную производительность почвы, т. е. усилить отзывчивость почвы на удобрение и повысить использование удобрений растением, а значит, и величину урожая. Само собой разумеется, что мы должны использовать эту возможность повысить урожайность наших полей, увеличив отзывчивость их на удобрение изменением состава обменных катионов почвы; но для этого мы должны изучить зависимость максимальной производительности почв от этого состава.

Я указывал ранее, что группа НИУ по изучению взаимодействия между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением возникла лишь летом 1930 г.; некоторые работы были начаты мною раньше в Ленинграде и на Носовской станции; во всяком случае с достаточным числом сотрудников и в подходящих условиях я работаю над этой проблемой всего второй год; но в этой области так много уже назревших вопросов, что даже за этот короткий период времени (собственно говоря, период подготовительный, период создания необходимых условий для работы) кое-что уже сделано. Я здесь кратко останавлиюсь на полученных результатах.

Изучение отношения овса к почве, насыщенной целиком одним из нижеследующих обменных катионов: H , NH_4 , Na , K , Mg , Ca , Sr , Cd , Ba , Mn , Fe^{++} , Co , Ni , Cu , Al , Fe^{+++} , показало следующее¹:

1. В использовании овсом кальция почвы, с одной стороны, и калия и магния почвы, с другой стороны, существует резкое различие: овсу доступен только обменный кальций; растение это гибнет, когда в почве весь обменный кальций замещен любым другим катионом и в почву не внесен кальций (например, в виде углекислого) как питательное вещество; в отсутствие же обменного калия или обменного магния и каких-либо солей этих металлов овес может развиваться нормально, питаясь необменным калием и магнием.

2. Среди всех исследованных металлов кальций как обменный катион занимает совершенно особое положение в отношении создания в почве условий для жизни растений: на почве, полностью насыщенной кальцием, овес растет и развивается вполне нормально и в присутствии достаточного количества питательных веществ дает максимальный урожай; к кальцию в этом отношении приближается очень сходный с ним химически стронций; все остальные исследованные нами металлы, насыщая полностью емкость обмена почвы, дают такую почву, на которой даже при полной обеспеченности питательными веществами овес или вовсе не растет (NH_4 , Na , K , Cd , Ba , Ni , Co , Cu) или дает более низкий урожай (Mg , Mn , Fe^{++} , Al , Fe^{+++}).

Давно уже мною была доказана зависимость физического состояния почвы от рода насыщающего почву катиона и показана особая роль в этом отношении кальция: из всех обменных катионов, входящих естественно

¹ К. К. Гедройц. Почвенные обменные катионы и растение. I. Доступность растению кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии, к обмену не способном. Отношение растения к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы.

в почвенный поглощающий комплекс, в том случае, когда каждый из них полностью насыщает емкость обмена, именно кальций создает наиболее благоприятные в данной почве для жизни растения физические свойства; то же нужно сказать и в отношении химических свойств; при взаимодействии почвенных вод с почвой, когда она полностью насыщена кальцием, получается наиболее нейтральная реакция и наименьшая концентрация почвенного раствора. Теперь же на основании вышеприведенных вегетационных опытов с овсом на почвах, полностью насыщенных различными катионами, можно сказать, что кальций как обменный катион, полностью насыщающий почву, во всех отношениях и по непосредственному действию на растение и по действию на растения через почву является наиболее благоприятным для растений катионом. Я здесь подчеркиваю, что речь сейчас идет лишь о катионах, из которых каждый полностью насыщает емкость обмена почвы, т. е. о тех условиях, которые создаются в почве для жизни растений, когда ее поглощающий комплекс целиком насыщен одним каким-либо катионом. Вот в таком случае из всех исследованных мною металлов как обменных катионов кальций оказывается наиболее благоприятным для растений; к нему приближается, по видимому, стронций. Но мы можем теперь утверждать больше, а именно что даже и кальций, если он только полностью насыщает емкость обмена почвы, не создает еще наиболее благоприятных условий в почве для жизни растения (при том условии даже, если в такую почву вносить необходимые питательные вещества в тех небольших количествах, в которых они требуются для хороших урожаев: какой должен быть состав обменных катионов на данной почве, при котором получается наивысший урожай для данного растения, мы еще далеко не знаем, но уже сейчас можем утверждать, что для различных растений он не может быть одинаковым, так что речь может идти о ведущей культуре и что этот состав не может быть представлен одним катионом, хотя бы и кальцием; этот оптимальный состав, несомненно, сложен; по видимому, в этом составе должен значительно преобладать кальций, а затем на втором месте стоит магний, но оба они, занимая в поглощающем комплексе почти всю емкость обмена, не должны все-таки целиком насыщать ее, оставляя один или несколько миллиэквивалентов другим катионам (как питательным, так и стимулирующим и т. п.).

Действительно, как показывают наши опыты¹, введение в поглощающий комплекс очень небольших количеств самых разнообразных катионов (как очень сильно ядовитых при большом содержании, так и сравнительно безразличных), как то: алюминий, барий, кадмий, кобальт, марганец, никель, рубидий, можно заметно повысить производительность тучного чернозема и создать таким образом лучшую среду для развития сельскохозяйственных растений. Очень интересно отметить тут следующий факт: означенные опыты мы вели в маленьких сосудах на 500 г почвы; в этих сосудах гораздо нагляднее проявляется часто наблюдающееся явление — плохой рост того же растения на второй год в том же сосуде; это наблюдается часто даже в том случае, когда сосуд перед посевом на второй год перебить и снова дать почве полное удобрение; создается своего рода утомление почвы; в малых сосудах, где на единицу объема почвы приходится очень большое количество растительной массы, явление это значительно резче выражено, чем в сосудах больших размеров; и вот второгодние опыты текущего года обнаружили такое резкое падение урожаев в контрольных

¹ К. К. Гед р о й ц. Почвенные обменные катионы и растение. Действие на растение обменного марганца и обменного алюминия (печатается).

сосудах (по полному удобрению) и продолжающийся в этом году очень хороший рост растений в сосудах, почва которых содержала обменный марганец и алюминий. Очевидно, что то «нечто неблагоприятное», например, для овса, которое оставляется в сосуде предшествующим урожаем овса же и не разрушается и не вымывается из почвы контрольного сосуда, не образуется или же, если образуется, то успевает разрушиться к следующему посеву благодаря тем изменениям в почве, какие произошли в ней вследствие введения в поглощающий комплекс обменных стимулянтов.

Совершенно подобное же мы наблюдаем и в отношении водородного иона. В 1931 г. нами был заложен большой опыт с искусственно приготовленной почвой, целиком насыщенной водородом (из тучного чернозема Каменноостепной станции), для изучения явлений, связанных с известкованием. В этих опытах со всеми исследовавшимися растениями мы получили максимальный урожай по оптимальной дозе CaCO_3 значительно выше, чем на первоначальном черноземе, не превращенном в ненасыщенный (и там и тут по полному удобрению).

Вот несколько цифр для иллюстрации.

Общий урожай (в граммах на сосуд)

Культура	Первоначаль- ный черно- зем	Чернозем, насыщенный водородом		
		урожай	доза CaCO_3 (в м-экв.)	pH
Овес	16,0	22,3	50,0	6,0
Гречиха	12,7	19,7	52,5	6,4
Лен	13,0	17,1	50,0	6,0
* Горчица	4,0	11,1	50,0	6,0
Клевер	5,9	9,8	50,0	6,0

Мы видим, что наивысший урожай на почве, полностью насыщенной водородным ионом, получился у всех растений, во-первых, значительно выше, чем на первоначальном черноземе, насыщенном Ca и Mg (pH—6,7), а во-вторых, на дозе CaCO_3 , еще недостаточной для полного вытеснения обменного водорода (полная замена водорода кальцием получилась при дозе 57,5 м-экв. CaCO_3 на 100 г почвы). Таким образом, насыщение почвенного поглощающего комплекса обменным водородом связано с приобретением почвой особых свойств в отношении растений; когда в такой почве известкованием все увеличивающимися дозами извести постепенно уменьшать содержание обменного водорода, заменяя его кальцием, то развитие растений на ней становится все лучше и лучше, достигая при почти полном (но не совсем полном) насыщении кальцием максимума; в этой точке величина урожаев всех испытанных растений значительно выше, чем на первоначальной почве; дальнейшее прибавление углекислого кальция, т. е. дальнейшее понижение содержания обменного водорода и прибавление избытка CaCO_3 сверх необходимого для полного вытеснения обменного водорода действует на разные растения различно, но всегда понижая урожай; это понижение у одних растений сказывается лишь на зерне, урожай же соломы продолжает даже возрастать (овес), у других растений (лен, горчица) оно очень резкое, урожай почти сразу от максимального падает до нуля; причина этого явления уже иного порядка и не связана с водородным ионом; мы к ней сейчас вернемся. Здесь же отметим еще, что

в этом же опыте 1931 г. с известкованием овса, льна, горчицы, гречихи и клевера различными дозами углекислого кальция, продолженном в тех же сосудах и с теми же растениями в 1932 г. с прибавлением в сосуды новой порции полного удобрения, мы натолкнулись на то же явление, какое мы выше отметили на почвах с обменным марганцем и алюминием: урожай растений на второй год в тех же сосудах на первоначальной почве по полному удобрению был значительно ниже, чем в первом году, на почве же с обменным водородом урожай не только не понизился, а даже несколько увеличился. Таким образом, в этих опытах с обменным марганцем, алюминием и водородом мы имеем несомненное повышение максимальной производительности почвы, усиление отзывчивости почвы на удобрения и лучшее их использование растениями.

Результаты небольшого предварительного опыта с горчицей на почве, полностью насыщенной водородом, поставленного нами, в 1930 г. по различным дозам углекислого кальция (всего на 22 сосуда), заставили нас сосредоточить свое внимание в 1931 и 1932 гг. на изучении действия различных доз углекислого кальция под различными растениями на почве, искусственно насыщенной водородом, так как эти результаты показали нам, что такой метод исследования даст ответы на целый ряд интересных вопросов действия извести и откроет новые пути для практики известкования. Наши предположения оправдались. На этих опытах и их результатах мы здесь можем остановиться лишь в самых общих чертах; более детальное описание можно найти в опубликованном мною в прошлом году предварительном сообщении¹, подробный отчет об опытах 1931 и 1932 гг. подготавливается к печати.

Опыты 1931 г. показали нам, что отмечавшееся уже в литературе губительное действие избыточной дозы углекислого кальция под некоторыми растениями имеет место лишь на очень сильноокислых почвах и связано непосредственно с малым содержанием обменного магния в такой почве; при известковании такой сильноокислой почвы, которая всегда именно потому, что она сильно кисла, будет бедной и обменным кальцием и обменным магнием, мы по мере увеличения дозы извести все повышаем количество обменного кальция, оставляя неизменным количество обменного магния; отношение кальция к магнию в почвенном растворе как отображение поглощающего комплекса становится при этом все больше и больше, и в той точке, где вследствие излишнего количества внесенной извести часть ее остается в непрореагировавшем с почвой состоянии (в виде CaCO_3), там это отношение может достигнуть уже такой величины, при которой растения страдают и даже гибнут. Конечно, в вопросе о том, создает ли избыток известкования для чувствительных растений (например, для льна) такое неблагоприятное отношение между кальцием и магнием в почвенном растворе, решается величиной емкости обмена данной почвы и соотношением между количествами обменных водорода, кальция и магния; при различном значении этих величин избыточное известкование может давать различный результат от положительного (по сравнению с меньшими дозами) до полной гибели растения включительно.

Очевидно, для того, чтобы избежать этого вредного действия избыточного известкования, в почву надо дать, кроме кальция, еще и магний. Так как избыток магния также должен вредить растениям и даже в боль-

¹ К. Гедройц. Почвенные обменные катионы и растение. 2. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и магния в почве. «Удобрение и урожай», 1931, № 11—12, стр. 1047.

шей степени, чем избыток кальция, то, очевидно, вопрос об уничтожении вреда от избытка известкования внесением в почву магниезаменного удобрения не так прост и должен быть изучен и в отношении общих закономерностей и для каждого конкретного случая. Если для этого обратиться, что наиболее естественно, к углекислому магнию, то необходимо иметь в виду, что углекислый магний, если он не целиком прореагирует с почвой, может быть вреден сам по себе растениям (что не имеет места в отношении CaCO_3) вследствие сравнительно большой его растворимости и сильнощелочной реакции; тут, таким образом, вопрос о создании правильного отношения в почве между кальцием и магнием сильно усложняется. При применении в этих случаях доломитов нужно иметь в виду, что в них связь между углекислым кальцием и углекислым магнием очень различна в зависимости, очевидно, от их химического состава, а также от их происхождения. В опыт 1931 г. я наряду с CaCO_3 ввел один образец доломита как предварительное испытание для дальнейшего исследования действия различных доз доломита на почве, целиком насыщенной водородом (доломит имел 58,6% CaCO_3 и 38,2% MgCO_3 вместо теоретических 54,3 и 45,7). Результат показал, что внесение сильно избыточного количества этого доломита, а именно такой его дозы (80 м-экв. на 100 г почвы), задолго до которой чистый углекислый кальций уже совершенно губил и лен и горчицу (это имело место при количестве CaCO_3 около 58 м-экв. на 100 г почвы) или вовсе не вызывало отрицательного действия (лен, гречиха, клевер, овес) по сравнению с оптимальной дозой извести, или же только несколько понижало выход зерна (горчица). Таким образом, при нейтрализации почвы не одним только CaCO_3 , а совместно с углекислым магнием в этом случае совершенно исчез отрицательный эффект избыточного известкования, и наш вывод о решающей роли в данном явлении отношения между кальцием и магнием вполне подтвердился. Конечно, мы напали на такой именно доломит совершенно случайно; совершенно ясно, что для того, чтобы в почвенном растворе создалось нужное отношение между кальцием и магнием, вносимое в почву в избытке соединение, содержащее CaCO_3 и MgCO_3 , должно обладать определенными свойствами этих двух своих составных частей и прежде всего соответствующей сравнительной растворимостью этих двух компонентов, а последняя у различных доломитов и доломитизированных известняков, конечно, неодинаковая. Опыты 1932 г. подтвердили эти соображения.

Для этих опытов был взят другой доломит, очень близкого состава с доломитом опытов 1931 г. (57,4% CaCO_3 и 39,9% MgCO_3), который, однако, дал на почве, полностью насыщенной водородом, иные результаты, а именно: хотя вредное действие его на льне и горчице начинало обнаруживаться на дозах больших, чем на дозах одного CaCO_3 (лен погибал на CaCO_3 начиная с дозы 50 м-экв. на 100 г почвы и выше, а на этом доломите, только начиная с дозы 60 м-экв.), но на дозе 80 м-экв. доломита 1932 г., на которой доломит опыта 1931 г. дал хорошие результаты и для льна и для горчицы, эти растения вовсе не развивались. Таким образом, уже исследование только двух доломитов показало, что в отношении действия на растения различные доломиты могут резко различаться между собой.

Считая вопрос об использовании доломитов и особенно доломитизированных известняков в качестве материала для известкования кислых почв чрезвычайно важным в практическом отношении (использование в сельском хозяйстве местных известняков, содержащих магний и непригодных для других технических целей, возможность найти между ними

также, избыточное внесение которых не влекло бы понижение урожаев и не давало бы отрицательного эффекта на чувствительных к отношению $\text{Ca} : \text{Mg}$ растениях), мы поставили в 1932 г. небольшой предварительный опыт под льном и горчицей на почве, полностью насыщенной водородом, с шестью доломитами различного происхождения; пять из них (№ 1, 2, 4, 5, 6) имели очень близкий состав (содержание CaCO_3 колебалось в пределах 53—57%, MgCO_3 —38—43%, нерастворимого в соляной кислоте остатка—от 1,1 до 2,9%), и только один образец № 3 заметно отличался от теоретического состава доломитов (CaCO_3 —43,2%; MgCO_3 —28,0%; нерастворимый остаток—19,2%; 100 г углесолей этого доломита содержали 60,5% CaCO_3 и 35,0% MgCO_3). Останавливаться подробно на этом опыте я сейчас не могу, он будет опубликован отдельно.

По дозе, эквивалентной 45 м-экв. CaCO_3 ¹ (оптимальная доза CaCO_3 на данной почве под льном и горчицей), все доломиты дали такой же результат, как и углекислый кальций; на двойной дозе (90 м-экв.) углекислый кальций совершенно погубил и горчицу и лен; из доломитов же ни один не погубил полностью эти растения, но действие их при этой дозе было чрезвычайно различно: между ними мы имеем такой доломит, как № 2, по двойной дозе которого и горчица и лен дали такой же урожай, как и по оптимальному количеству CaCO_3 ; таким образом, магний этого доломита совершенно уничтожал вредное действие углекислого кальция; этот доломит, очевидно, реагирует с нашей почвой таким образом, что в почвенном растворе получается благоприятное для льна и горчицы соотношение между Ca и Mg . Далее имеем доломит № 6, двойная доза которого уже вредила, но очень слабо. Остальные доломиты вредили больше и в разной степени, почти до полного уничтожения урожая. Вывод из этого небольшого опыта может быть сделан такой: между доломитами встречаются такие, сильно избыточное внесение которых на сильноокислых почвах не вредит урожаям таких чувствительных к избыточному известкованию растений, как лен и горчица; но есть и такие, которые в этом случае почти губят эти растения; такое различие в их действии не находится в прямой зависимости от химического состава доломита. Для выяснения причин, обуславливающих различное действие доломитов разного происхождения, мы предпринимаем лабораторное исследование и намечаем расширение вегетационных опытов по этому вопросу на 1933 г.

Мы считаем вопросы действия на растения доломитов, доломитизированных известняков и вопросы избыточного известкования вообще вопросами одной и той же большой проблемы влияния на растение отношения между Ca и Mg в почве. Для дальнейшего подхода к разрешению этой проблемы мы продолжили в 1932 г., между прочим, наши исследования действия различных доз CaCO_3 на почве, полностью насыщенной водородом, и на сильноокислой торфянистой почве на фоне различных количеств MgCO_3 ; в почву сначала вносились те или другие количества MgCO_3 , а затем через некоторое время вносится углекислый кальций. Опыты еще не закончены и будут подробно описаны отдельно; тут же мы хотим только отметить, что этими опытами нам удалось доказать с несомненностью существование взаимного антагонизма между кальцием и магнием в почвенных культурах; имеющийся фотоснимок* иллюстрирует по-

¹ Здесь и всюду ниже величины CaCO_3 и MgCO_3 в миллиэквивалентах на 100 г почвы.

* Настоящая статья опубликована после смерти автора в книге Акад. К. К. Гедрыц. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение, 1935, Сельхозгиз, без рисунков.—Ред.

нижение вредности избытка кальция магнием; на нем мы имеем три серии сосудов (по 5 сосудов в каждой) со льном на почве, полностью насыщенной водородом: I серия получила во всех сосудах по 45 м-экв. нейтрализатора; II серия—по 50; III серия—по 55. Первые сосуды каждой серии (т. е. № 1053, 1037, 1039) в качестве нейтрализатора получили только CaCO_3 ; как видим, оптимальной дозой было 45 м-экв. CaCO_3 ; 50 м-экв. дало уже понижение, а 55—полную гибель льна.

Остальные сосуды получили причитающееся им количество нейтрализатора в виде и углекислого магния и углекислого кальция, а именно: вторые сосуды каждой серии (т. е. № 1065, 1067 и 1069)—по 5 м-экв. MgCO_3 , а остальные в виде CaCO_3 ; третьи сосуды (№ 1095, 1097, 1099)—по 10 м-экв. MgCO_3 ; четвертые сосуды (№ 1125, 1127, 1129)—по 15 м-экв. MgCO_3 и, наконец, пятые сосуды (№ 1153, 1156 и 1157)—по 25 м-экв. MgCO_3 и соответственно по 20, 25 и 30 м-экв. CaCO_3 . Положительное действие магния в этом опыте в серии II и III на избыточное известкование совершенно ясно: внесение вместо 50 м-экв. одного CaCO_3 , 45 м-экв. $\text{CaCO}_3 + 5$ м-экв. MgCO_3 сильно повысило урожай и понизило отрицательное действие лишних 5 м-экв. CaCO_3 (оптимальная доза последнего—45 м-экв.)—это в серии II; а в серии III, где 55 м-экв. CaCO_3 совершенно губило лен, замена 5, 10 и 15 м-экв. углекислого кальция магнием не исправляла положения, при замене же 25 м-экв., т. е. по 30 м-экв. $\text{CaCO}_3 + 25$ м-экв. MgCO_3 , получился очень хороший урожай (около 9 т общего урожая на 1 га).

На другом фотоснимке (опыт на сильноокислой торфянистой почве) мы видим обратное, а именно: понижение сильно вредного действия избытка Mg углекислым кальцием. На фотографии I сосуд без углекислого кальция и магния; все остальные сосуды по 20 м-экв. MgCO_3 на 100 г почвы, причем первый из них (№ 243) без углекислого кальция, а остальные по увеличивающимся дозам CaCO_3 (№ 245—10 м-экв., № 247—20 м-экв. и т. д.) Таким образом, внесение в сильноокислую почву 20 м-экв. магния (взятая для опыта почва содержала 12,6 м-экв. обменного Ca; 3,6 Mg; 30,8 H. при 60 м-экв. всей гидролитической кислотности) почти совершенно погубило лен; прибавление же к ним еще углекислого кальция в количестве 10 м-экв. подняло урожай льна почти до максимальной величины, полученной нами на этой почве; дальнейшее повышение количества CaCO_3 , включительно до самой высокой дозы (500 м-экв. CaCO_3 на 100 г почвы) хотя и не поднимало урожая до этой величины, но все-таки значительно обезвреживало почти губящее действие 20 м-экв. в виде одного магния.

В заключение укажу, что в 1930 и 1931 гг. мы провели небольшой предварительный вегетационный опыт с искусственно введенным в почву обменным аммонием в качестве рекогносцировочного опыта для дальнейшего всестороннего исследования этого очень существенного вопроса для практики современной химизации нашего социалистического земледелия: промышленность дает в качестве отходов большие количества аммонийных солей, отбросы эти должны быть использованы; применение больших количеств аммонийных солей как азотистого удобрения возбуждает ряд вопросов, из которых наиболее существенными являются: 1) аммоний поглощается почвой, а известно, что обменный аммоний, как и всякий щелочной катион, создает в почве неблагоприятные для жизни растений физические и химические свойства; степень выраженности этих свойств стоит в зависимости от величины емкости обмена почвы и от количества поглощенного аммония; 2) в силу того что та или другая часть (в зависимости от свойств почвы и количества внесенной в почву аммонийной соли)

аммония из аммонийной соли закрепляется почвой, переводится в обменный аммоний, является вопрос о доступности поглощенного аммония растениям и микробам.

Проведенные нами опыты показали, что обменный аммоний даже в таком большом количестве, как 4 м-экв. на 100 г почвы (соответствует 1 400 кг N в слое 20 см на 1 га, или 1 800 кг NH_4 , или 5 800 кг NH_4Cl), на суглинистом черноземе с 60 м-экв. емкости обмена вовсе не создает неблагоприятных условий для роста и развития овса и что азот обменного аммония в описанном опыте поднимал урожай овса не хуже, чем селитра, и использовался овсом так же быстро, как азот селитры; преимущество же его перед селитрой совершенно ясное: отсутствие опасности потерь вымыванием и вредного действия повышением концентрации почвенного раствора.

Долгопрудное опытное поле,
сентябрь, 1932 г.

ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС, РАСТЕНИЕ, УДОБРЕНИЕ И МЕЛИОРАЦИЯ

Между практикой сельского хозяйства и теорией в агрономии вообще и в частности в агрохимии (и агрофизике) наблюдается резко выраженный разрыв: теория чрезвычайно сильно отстает от запросов практики. Имеется целый ряд вопросов, выдвинутых практикой сельского хозяйства уже очень давно и агрохимией до сих пор еще не разрешенных. Очень интересно отметить, что в таком же примерно соотношении находится практическая медицина и медицина как наука. Аналогия здесь, конечно, не случайна. И там и тут имеются общие причины. Одной из существенных причин является чрезвычайная сложность самого предмета агрохимии. Эта наука, как я ее понимаю, прежде всего базируется на почвоведении и физиологии. Сами по себе они имеют своим предметом очень сложные явления природы, далеко еще не изученные в достаточной степени. Понятно, что агрохимия как наука, изучающая взаимодействия между почвой, растением и удобрением, т. е. нечто значительно более сложное, чем почвоведение и физиология, каждая в отдельности, находится в еще менее удовлетворительном состоянии. Я именно так понимаю предмет агрохимии: почвоведение—это одно, а агрохимия, имея своим основным базисом почвоведение и плюс физиологию,—нечто совершенно новое, чего ни в том, ни в другом нет,—это другое. И что бы ни утверждали некоторые почвоведы и некоторые агрохимики, доказывая, что есть только почвоведение или только агрохимия, они, конечно, неправы, упуская из виду то, что отличает эти две науки. Такое утверждение есть следствие человеческого консерватизма и известного научного «империализма». Кстати, отметим, что в истории науки это повторялось почти всегда, когда ходом развития из одной науки отделялась другая. Почвоведцам, противникам агрохимии как отдельной самостоятельной науки, следовало бы помнить историю отделения почвоведения от геологии. Но еще и сейчас между геологами имеются такие, которые считают почвоведение на современном этапе нашего развития лишь главой геологии. Я говорю именно на современном этапе потому, что речь идет в данном случае, конечно, не о том состоянии наук, когда отдельные науки будут лишь главами одной общей науки.

Другим моментом, обуславливающим недостаточное развитие современной агрохимии, отставание ее от запросов практики, является, несомненно, то совершенно недостаточное внимание, какое уделялось ей до самого последнего времени. Наряду с созданием в последнее время пе-

лой сети научно-исследовательских институтов по различным отраслям сельского хозяйства мы до сих пор не имели центрального агрохимического института. Агрохимия в сельскохозяйственных опытных учреждениях остается беспризорной и по представленным ей возможностям занимает далеко не то положение, какое ей надлежало иметь по ее значению в борьбе за урожай. Будем надеяться, что созданный в системе Ленинской академии Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения (несмотря на свое название далеко не охватывающий всего предмета агрохимии) заполнит существующий теперь пробел и организует агрохимию на местах, без чего, конечно, развитие этой науки совершенно немыслимо.

В связи с социалистической реконструкцией сельского хозяйства и той напряженной работой, какую мы ведем в борьбе за урожай, широкая организация агрохимической работы на основе современных достижений подсобных агрохимии наук с использованием всей новейшей методики¹ может дать, несомненно, колоссальные результаты.

Я остановлюсь сейчас лишь на одном, я сказал бы центральном, вопросе агрохимии—на значении почвенного поглощающего комплекса для урожайности и поднятия производительности почвы удобрением и мелиорацией.

Но прежде укажу на два примера резкого отставания агрохимии от запросов практики сельского хозяйства. Это вопросы о структурности почвы и о дозах извести. Оба вопроса выдвинуты практикой уже очень давно, но они до сих пор далеко не достигли той степени научной разработки, которая позволила бы их использовать в практических целях. Если обратиться к истории, мы увидим, что в борьбе за их разрешение агрохимия (и агрофизика) сделала очень много, и, несмотря на это, до сих пор среди знатоков агрохимии и практического земледелия остаются «структурники» и «антиструктурники». До сих пор вопрос об оптимальной дозе извести разрешается в каждом частном случае лишь полевым опытом. Выход из этого положения на данном этапе развития агрохимии я вижу в углубленном агрохимическом изучении почвенного поглощающего комплекса.

Основанное мною учение о почвенном поглощающем комплексе как естественнoисторическом явлении стало теперь центральным местом почвоведения.

Вопросами, связанными с изучением этого явления, с изучением свойств этого комплекса и роли его в процессах почвообразования, занимаются теперь, можно сказать без преувеличения, почвоведы всего мира. В ином положении находится агрохимическое изучение почвенного поглощающего комплекса, т. е. изучение взаимоотношений между этим комплексом и сельскохозяйственными растениями в целях рационального использования естественных производительных сил почвы и поднятия этой производительности агротехникой, удобрением и мелиорацией. В таком разрезе почвенный поглощающий комплекс почти никем еще не изучался. А между тем мои очень ограниченные до сих пор исследования в связи с теми мыслями, которые имеются у меня на основании изучения этого комплекса

¹ Для этого прежде всего необходимы лаборатории, оборудованные действительно по последнему слову науки и техники, необходима такая организация работы, чтобы не было места таким курьезам, когда при наших колоссальных достижениях и при еще более колоссальных задачах работа задерживается или, еще хуже, срывается из-за недостатка, например, необходимых сортов фильтровальной бумаги или других самых обычных материалов, достать которые всегда легко и возможно. Такое совершенно ненормальное положение должно быть, конечно, полностью изжито.

в разрезе почвоведения, ясно показывают, что и в агрохимии (в агрофизике) почвенный поглощающий комплекс должен занять центральное место.

Я указывал выше на явление структурности как на пример резкого отставания агрохимии от запросов практики. В явлении структурности как свойства почвы без относительного влияния его на сельскохозяйственные растения изучение почвенного поглощающего комплекса дало уже очень много. Это изучение поставило этот вопрос на новые рельсы; мы знаем теперь, что в нем (почвенном поглощающем комплексе) надо искать структурообразователей, что его свойства, обуславливаемые в первую очередь составом его поглощенных катионов, являются решающими в отношении величины и характера (прочности) структуры; остальная часть почвы (частицы крупнее 0,001—0,0001 мм) представляет тот фон, на котором проявляется структурообразовательная деятельность поглощающего комплекса в зависимости от характера этого фона, т. е. от механического состава неколлоидальной части почвы.

Мы знаем теперь, в каком направлении тот или другой обменный катион поглощающего комплекса влияет на структурообразовательные свойства этого комплекса, мы знаем, что в структурообразовании принимает участие и органическая и минеральная части комплекса, мы имеем возможность теперь учесть и изучить направление и относительное участие той и другой части в явлениях структурообразования. Вместе с основанием учения о почвенном поглощающем комплексе введено совершенно новое понятие и о микроструктуре. Мы знаем теперь, что структурность—явление зональное, находящееся в тесной зависимости от положения почвы в почвенной классификации, и понимаем причину этой зависимости.

Одним словом, состояние вопроса о структуре почвы в почвоведении находится уже на такой стадии, что до известной степени мы можем управлять этим явлением. Теперь дело за агрохимией. Она в вопросе о структурности сильно отстала не только от запросов практики, но и от того, что известно в почвоведении и что должно служить ей базисом для выполнения роли структуры в урожайности, во влиянии ее на почвенные процессы, обуславливающие использование растениями питательных запасов почвы и вносимых удобрений, на обеспеченность их водой и кислородом.

Если мы грубо разделим все почвы СССР на две группы: 1) почвы влажных областей, в которых при имеющейся степени их увлажнения невозможно накопление простых солей, и 2) почвы засушливых областей, в которых имеются скопления солей, труднорастворимых или трудно- и легкорастворимых, и оставим как промежуточные между ними почвы, периодически в зависимости от условий погоды принадлежащие то к той, то к другой группе, а также почвы грунтового увлажнения с притоком солей со стороны, то можно установить следующее.

То, с чем корневой системе приходится иметь непосредственное дело в почве, т. е. почвенный раствор, в первой группе почв является производным почвенного поглощающего комплекса и обуславливается только им, взаимодействием между этим комплексом и почвенной влагой. Во втором случае почвенный раствор является производной не только поглощающего комплекса, но и состава простых солей почвы. Тут дело усложняется особенно в отношении изучения отдельных конкретных случаев. И в самом деле, раз в систему почва + почвенная влага вступила корневая система (микрофлору почвы в громадном большинстве можно отнести к поглощающему комплексу), то мы имеем уже взаимодействие между поглощающим комплексом, влагой и растением. Корневая система, выделяя и поглощая

вещества, изменяет почвенный раствор, а этим изменяет состав поглощающего комплекса. Все то, что поглощает растение из почвенного раствора почв первой группы, есть результат совместного действия почвенной влаги и самого растения (через влагу) на почвенный поглощающий комплекс.

Так: 1) усвояемый азот почвы является результатом аммонификации и нитрификации растворившихся в воде органических веществ органического поглощающего комплекса (в том числе и мертвых микроорганизмов как части этого комплекса);

2) доступная фосфорная кислота—результат минерализации фосфо-роорганических соединений, фосфорнокислых железа, алюминия, кальция и магния;

3) доступная сера—результат минерализации органических серосодержащих соединений органического поглощающего комплекса, причем все три названные кислоты, быть может, используются растениями непосредственно из физически адсорбированного состояния или, быть может, только при освобождении их из этого полусвязанного состояния, если адсорбция их положительная; если же адсорбция отрицательная (что в некоторых случаях, несомненно, имеет место), то такая деятельность поглощающего комплекса способствует использованию этих кислот растениями;

4) источниками питательных катионов служат обменные катионы почвы¹.

Мои исследования касались лишь вопроса взаимоотношения между растениями и обменными катионами почвы и имели целью установить зависимость роста растений от рода катиона, находящегося в поглощающем комплексе, и обратно—изучить роль различных обменных катионов в почве, как естественно в них присутствующих (т. е. Ca, Mg, Na, K), так и искусственно в почву вводимых, в жизни сельскохозяйственных растений. Из этой очень большой проблемы мною затронуты пока лишь частичные вопросы и разработка даже их еще не доведена до конца. Но уже и сейчас можно сделать из моих полученных данных некоторые интересные заключения, имеющие несомненно практическое значение.

1. Мои исследования показывают, что из всех катионов, встречающихся в почвах (H, NH₄, Na, K, Mg, Ca), и из всех других, с которыми мне удалось провести насыщение достаточных количеств почвы для вегетационного опыта (Sr, Cd, Ba, Mn, Fe⁺⁺, Co, Ni, Cu, Al, Fe⁺⁺⁺), а их было достаточное количество для возможности обогащения, только один кальций (и, повидимому, стронций) может почти полностью насыщать почву, не создавая неблагоприятных условий для роста растений, а для овса, например, насыщение кальцием может быть даже практически полное. Все остальные катионы (в том числе Mg), насыщая почву практически полно, создают условия, неблагоприятные для роста растений; степень неблагоприятности

¹ Мои опыты с овсом на почве, целиком насыщенной различными катионами, показали, между прочим, что на почве, практически лишенной обменного Mg и K, означенное растение все-таки находит себе в почве эти катионы для питания. Это явление несколько не противоречит выставленному сейчас положению. Не надо забывать, что 1 м-экв. обменного катиона равняется на гектар в слое 20 см 300 кг Mg или 975 кг K. Таким образом, если в почве осталась даже только часть одного м-экв. обменного магния или калия, то этого с громадным избытком достаточно для хорошего урожая. Ручаться же, что при насыщении почвы имеющимися способами каким-либо катионом таких количеств, вытеснявшихся почвенных обменных катионов, все-таки не осталось в почве, конечно нельзя. С другой стороны, если овес черпал Mg и K из необменного их состояния, то эти необменные катионы должны были для этого раствориться в воде и реагировать с поглощающим комплексом, т. е. опять-таки стать обменными катионами.

гоприятности зависит от рода катиона; между ними есть такие, которые при полном насыщении совершенно губят растения (H, Cd, Ba, Mn, Co, Ni, Cu), даже такие мало чувствительные, как овес; имеются такие, которые понижают в разной степени урожай (Mg, Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, Al).

Чувствительность различных растений в этом отношении неодинакова. Вредное действие означенных катионов в обменном состоянии, если они частично насыщают почву, находится в прямой зависимости от степени насыщения ими почвы. Так, например, при емкости обмена почвы 62 м-экв. на 100 г уже около 3 м-экв. Ni в поглощающем комплексе очень сильно понижали урожай овса и горчицы, а 6 м-экв. совершенно губили эти растения; марганец же, убивая совершенно все исследованные растения (овес, гречиха, горчица, клевер и лен) при полном насыщении им почвы, не вредил овсу еще при содержании в почве 18 м-экв., гречихе и клеверу—при содержании 7 м-экв., горчице и льну—при содержании 4 м-экв.

2. Почва, практически полностью насыщенная кальцием, являясь (при обеспеченности растения всеми питательными веществами и правильным соотношением между кальцием и магнием в почвенном растворе) самой лучшей средой для роста сельскохозяйственных растений по сравнению с почвой, целиком же насыщенной любым другим катионом (возможно, за исключением стронция), не является наилучшей вместе с тем средой, если речь идет не об одном обменном катионе в почве, а о комбинации их в поглощающем комплексе.

То, что до сих пор сделано мною (сравнительно еще очень не много), приводит меня к полному убеждению, что в этом отношении мы имеем чрезвычайно широкие возможности повысить производительность почвы, изменяя в том или другом отношении состав обменных катионов почвы в зависимости от климата, от характера почвы и главной культуры (само собой разумеется после необходимого изучения).

Думаю, что для всякого научного работника чрезвычайно важно сознание, что темы, над которыми он работает, которым он посвящает себя, могут быть использованы практикой если не сейчас, то хотя бы в ближайшее время. Такое сознание является могучим стимулом для его работы.

Над поглощающим комплексом почвы я работаю уже давно, но только в последнее время почувствовал то полное удовлетворение от этой работы, о котором я сейчас говорил, так как совершенно ясно сознавал, что даже значительно более простые приемы улучшения почвы, нежели изменение состава обменных катионов в почве¹, невозможны при капиталистическом строе.

Только социалистическая реконструкция сельского хозяйства, с таким успехом проводимая в настоящее время на основе развития тяжелой промышленности, открывает безграничные возможности по осуществлению даже такого сложного мероприятия, как коренное изменение состава обменных катионов почвы в целях повышения ее производительности.

Уже изучение почвенного поглощающего комплекса как естественно-исторического тела давно показало мне, что полное насыщение его кальцием (и частично магнием, как это имеет место в нормальных черноземах)

¹ Напомню опять, что введение лишь 1 м-экв., например, калия в почву требует введения в поглощающий комплекс слоя почвы в 20 см на 25 кг-экв. этого катиона, т. е. 975 кг K, а так как из внесенной соли только часть ее катиона поглощается, то приведенное количество надо увеличить в несколько раз. Затем большей частью при таком изменении состава поглощенных катионов необходимо будет искусственное удаление из почвы оставшейся соли и продукта обмена, т. е. орошение с дренажем.

имеет свои отрицательные стороны, создавая малую подвижность почвенных соединений и обуславливая этим малое использование естественных производительных сил почвы. Об этом я высказывался много раз¹. Я указывал, что небольшое количество в почве поглощенного водорода или щелочных элементов, не влияя еще отрицательно своими специфическими свойствами, должно парализовать это неблагоприятное свойство обменного кальция, вызвав значительно большую подвижность и азотистых и фосфорнокислых, а может быть, и калийных соединений почвы.

Нужно только для каждого конкретного случая найти оптимальное количество такого катиона-возбудителя, так как уже небольшой избыток и поглощенного водорода и поглощенного натрия может вызвать своим влиянием на другие моменты (вредной концентрацией водородного иона, высоким содержанием соды, ухудшением физических свойств, а значит, и водного и воздушного режимов) неблагоприятное действие на растение. Нужно найти то количество этих катионов, при котором суммарное положительное и отрицательное действие их оказывает максимальный положительный эффект на величину урожая. Вегетационными опытами на Носовской опытной станции мне удалось подтвердить это в отношении натрия. Очень интересно было бы изучить в этом направлении действие введенного в почву в небольшом количестве калия. В отношении водородного иона опытов для подтверждения своего положения я не ставил, но, насколько мне известно, произведенные в самое последнее время вегетационные и полевые опыты на маленьких делянках Н. И. Соколовым и П. П. Заевым на Каменноостепной опытной станции с обработкой почвы кислотами вполне подтвердили это.

Должен подчеркнуть, что если введение небольших количеств обменного натрия и калия, какие нужны для повышения подвижности почвенных соединений в целях лучшего использования азота и фосфора почвы, и в прежнее время могло быть осуществлено, то широкое использование в практике подкисления почвы возможно лишь при высоком развитии химической промышленности, дающей различные кислые продукты отброса.

Вместе с тем необходимо отметить, что введение в поглощающий комплекс почвы таких возбудителей плодородия, как водород, натрий или калий, делают этот комплекс более доступным разрушающему действию воды, т. е. оно должно вызвать деградацию (в случае водорода) или осолодение (в случае калия и натрия). И то и другое будут уже явления отрицательные. Вот почему к таким мероприятиям надо отнестись очень вдумчиво и осторожно, с учетом всей обстановки и всех возможных последствий не только для завтрашнего дня, но и для более отдаленного будущего.

3. Очень существенные результаты получились у меня в отношении обменного магния в почве. Этот обменный катион оставался до сих пор совершенно в тени. Он даже определялся в почвах только между прочим. Мы имеем, например, методы, предложенные и пригодные только для определения обменного кальция ввиду, очевидно, предполагаемой неважности знания количеств обменного магния².

Мои исследования, однако, указывают на существенное значение катиона и соотношения в почве между количествами его и обменного кальция.

¹ См., например, «Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция». Вып. 43-й работ Агрохимического отдела Носовской сельскохозяйственной опытной станции, 1926; «Химический анализ почвы», 2-е изд., 1929, стр. 515.

² В связи с этим же на методику определения обменного магния до сих пор совершенно не обращали внимания.

Эти исследования вместе с тем открывают, по моему мнению, новую страницу в вопросе об известковании почв, подобно тому как это сделало установление правильного представления на кислотность почвы, выяснившего, на что расходуется известь, вносимая в почву, т. е. современное учение об обменной и гидролитической кислотности. И то и другое было использовано и теорией и практикой известкования, но все-таки не внесло окончательной ясности в этот вопрос: с одной стороны, оптимальное количество извести на различных почвах оказалось в различной зависимости от величины этих кислотностей; а с другой—остался совершенно открытым вопрос о причинах вредного действия больших доз извести под некоторыми растениями. Мои исследования дают ключ к разрешению обоих вопросов. Для меня давно уже было ясно, что подойти к решению этих вопросов изучением различных почв, имеющих кислотность (что необходимо) разной величины, нельзя или очень трудно, так как ясно, что такие почвы различаются между собой не только величиной кислотности, но и многими другими свойствами (какими именно, в точности, конечно, неизвестно и едва ли может быть в данное время установлено). Поэтому я давно уже пытался подойти к этим опытам с искусственно приготовленной кислой почвой и провел такой небольшой опыт в 1929 г. в Носовской станции, а затем продолжил его в 1930 г. на Долгопрудном опытном поле; в 1931 г. мне удалось поставить такой опыт в значительно расширенном масштабе, и я надеюсь, что в текущем году буду иметь возможность провести эти исследования в том размере, какой нужен для окончательных выводов.

Во всех этих опытах я работал с почвой, обладающей большой емкостью обмена (каменностепной гучный чернозем, горизонт 0—20 см), превращая ее в почву, полностью ненасыщенную основаниями промывкой по моему методу 0,05 норм. соляной кислотой до полного удаления обменных оснований, а затем до полного удаления соляной кислоты.

План у меня был такой. По некоторым данным, я имел основание считать, что на взятом мною черноземе, а также на такой бездеятельной среде, как промытый песок, никакие дозы углекислого кальция не должны вредить растениям. Такой опыт был мною проведен теперь для окончательной проверки моего предположения, и он действительно показал, что даже чрезвычайно высокие дозы CaCO_3 (до 125 т на 1 га) на этом черноземе и на песке не вредят ни овсу, ни такому чувствительному растению, как горчица. Укажу здесь же, что аналогичные опыты с углекислым магнием (осажденным) показали вредное действие его на тех же субстратах при больших дозах даже для овса, а лен и горчица даже при умеренных дозах MgCO_3 совершенно погибали. Таким образом, CaCO_3 сам по себе совершенно безвреден растениям. Почему он безвреден и независимо от величины его дозы, конечно, понятно. Далее я рассуждал таким образом. Имеется нейтральная почва, на которой углекислый кальций не действует сколько-нибудь заметно ни положительно, ни отрицательно. Если я такую почву из состояния, насыщенного основаниями, переведу в состояние, полностью ненасыщенное основаниями, не изменяя в этой почве ничего или почти ничего, кроме замены обменных кальция и магния чернозема на водородный ион, то буду иметь две почвы, относительно которых определенно знаю, чем они различаются между собой. Если теперь действие углекислого кальция на этих двух почвах будет неодинаково, то ясно, какими факторами это различие обуславливается.

Опыт, проведенный мною с пятью растениями (овес, гречиха, клевер, лен и горчица) на такой почве, вся емкость обмена которой (около 55 м-экв. на 100 г почвы) была насыщена водородным ионом со все повышающимися

дозами углекислого кальция—от 0 до 5 г CaCO_3 на 100 г почвы (т. е. до 125 т CaCO_3 на 1 га), показал следующее. Урожай всех пяти растений возрастал вместе с дозой извести от нуля до некоторой максимальной величины, соответствующей приблизительно той дозе извести, при которой весь обменный водород почвы вытеснялся кальцием углекислого кальция (между 50—55 м-экв. CaCO_3 на 100 г почвы). С дальнейшим повышением дозы углекислого кальция различные растения вели себя неодинаково. Урожай овса почти не изменялся до самой последней применявшейся дозы; у остальных же четырех растений он понижался и сходил на нет при различных дозах извести: гречиха гибла при внесении 100 м-экв. CaCO_3 на 100 г почвы; клевер—при 70 м-экв., а горчица и лен—уже при 57,5 м-экв., в то время как еще при 55 м-экв. CaCO_3 оба эти растения развивались очень хорошо.

Чем же различаются между собой наши две почвы? Одна—первоначальный чернозем, почти не реагирующий на CaCO_3 под овсом и горчицей; другая—тот же чернозем, но только с полной заменой в нем обменных кальция и магния на водородный ион и реагирующий совершенно иначе на CaCO_3 . До оптимальной точки урожая—дело всем известное и теперь совершенно понятное—положительное действие CaCO_3 на второй почве—результат присутствия в этой почве ядовитого для растений обменного водорода и вытеснения его кальцием углекислого кальция. Начиная же с тех доз CaCO_3 , при которых происходит полное или почти полное вытеснение водородного иона, вторая почва становится также насыщенной основаниями, как и первоначальный чернозем. А между тем на ней дальнейшее внесение CaCO_3 продолжает влиять на растение, но уже отрицательно.

В чем же различие между этими двумя почвами с момента нейтрализации второй почвы соответствующей дозой CaCO_3 ? Совершенно ясно, что только в том, что в первоначальном черноземе обменными катионами являются кальций и магний, а во второй почве—только кальций. Совершенно ясно, что в нашем случае среда—почва, содержащая обменные кальций и магний плюс даже громадные дозы углекислого кальция,—безвредна для самых чувствительных растений, а среда—та же почва, содержащая только обменный кальций плюс углекислый кальций,—является уже неблагоприятной для развития того или другого растения в зависимости от чувствительности его к фактору различия между двумя этими почвами и от дозы вносимой извести.

Таким образом, путем такого сравнения мы должны сделать единственно возможный вывод: вредное действие известкования проявляется на почве в том случае, когда в почвенном поглощающем комплексе нарушается соотношение между количествами обменного кальция и обменного магния; когда обменного магния вовсе нет, мы имеем резкий случай губительного действия на чувствительные растения уже даже ничтожного (сравнительно) избытка (сверх нейтрализации) углекислого кальция.

Почему же это не проявлялось до точки нейтрализации; почему понадобился некоторый избыток CaCO_3 для появления отрицательного действия CaCO_3 ? Во-первых, вредное действие, может быть, проявлялось и раньше, но оно компенсировалось и скрывалось более сильным положительным действием, удалением водородного иона, а во-вторых, потому, что с появлением в почве даже небольшого избытка CaCO_3 (сверх нейтрализации), остающегося в почве в неизменном состоянии, сразу чрезвычайно сильно повышает в почвенном растворе концентрацию иона Ca ; количество кальция, извлекаемое водой из углекислого кальция в почвен-

ных условиях, значительно больше, чем количество его, извлекаемое водой из поглощающего комплекса первоначального чернозема. Некоторое же количество магния в почвенном растворе в почвах, практически насыщенных всяким другим катионом, всегда имеется, как показали наши опыты с овсом¹, а кроме того, магний вносился в описываемых опытах как удобрение (правда, в очень ничтожных количествах: 0,01 г MgO на 100 г почвы, т. е. 0,5 м-экв.) Очевидно, этого количества магния в почвенном растворе было достаточно, чтобы не могло проявиться губительное действие на растения избытка кальция в почвенном растворе тогда, когда источником этого кальция был лишь обменный кальций почвы, но его было уже недостаточно, когда этим источником оказался кальций не только обменный, но и углекислый.

Причиной вредного действия избыточных доз углекислого кальция на кислых почвах является недостаточное содержание в этих почвах обменного магния, вследствие чего после внесения в почву углекислого кальция (а может быть, и до внесения) создается в почвенном растворе неблагоприятное, слишком высокое соотношение между Ca и Mg , т. е. перед нами физиологическая теория Лоэв'а, но только в агрохимическом разрезе, проведенная через поглощающий комплекс; без такого проведения эта теория была совершенно неприменима к почвам и потому давно уже отвергнута агрохимиками и совершенно забыта.

Таков был путь, принятый нами для решения вопроса опытами 1931 г. о причинах вредного действия избыточных доз извести на те или другие растения и таковы выводы из полученных результатов. Но еще раньше, чем был произведен посев растений в данной серии опытов (с посевом запоздали), некоторые опыты с овсом 1930 г., повторенные в тех же сосудах в 1931 г. с другими растениями (горчица, лен), дали мне указания на роль магния в рассматриваемом явлении. Поэтому в вышеописанные опыты были включены сосуды с большой дозой доломита. Результат показал, что по доломиту губительное действие совершенно исчезает: урожай получается уже очень близкий к оптимальному, причем и тут имеются различия у различных растений. Само собой разумеется, что не этот опыт с доломитом является решающим в рассматриваемом здесь вопросе, а все вышеприведенное, так как, несомненно, то отношение между кальцием и магнием, какое было в применявшемся доломите (он имел почти в точности формулу $CaCO_3 \cdot MgCO_3$), не может быть одинаково благоприятно для различных растений и различных почв, но во всяком случае благоприятный результат замены губительной дозы углекислого кальция эквивалентной дозой доломита налицо и подтверждает сделанный нами совсем другим путем вывод.

Таким образом, при решении вопроса об оптимальной дозе извести под данное растение и на данной почве нужно знать чувствительность растения к отношению $Ca : Mg$, а в почве—не только ее кислотность, но и общую емкость обмена и абсолютное содержание обменного магния, а также ту закономерность, какая существует между содержанием Mg в обменном состоянии и концентрацией его в почвенном растворе. Нужно будет проделать еще очень большую экспериментальную работу для выяснения всех возникающих из новой теории вопросов.

С точки зрения моей теории становятся понятными многие явления, отмеченные при известковании. Остановлюсь вкратце на следующем.

¹ См. мою статью «Почвенные обменные катионы и растения», I. «Удобрение и урожай», 1930, № 6.

Почему отрицательное действие больших доз извести проявляется, вообще говоря, только на почвах сильнокислых, т. е. на которых имеется при соответствующих дозах извести сильное положительное действие?

Потому что чем больше в почве обменного водорода, тем меньше будет в ней, вообще говоря, обменного магния.

Почему, например, на почвах с приблизительно одинаковой гидролитической кислотностью оптимальные дозы извести бывают часто сильно различными?

Потому что одинаковая гидролитическая кислотность не предвещает еще вовсе вопроса о количестве обменного магния: в одной почве его может быть больше, в другой меньше при одной и той же кислотности.

Останавливаться дольше на этом вопросе здесь мы не можем¹. Мы его привели только как иллюстрацию нашего общего положения о необходимости и плодотворности агрохимического изучения почвенного поглощающего комплекса со всех возможных сторон этого сложного явления.

Приведу еще из своих опытов один пример в подтверждение практического значения состава обменных катионов в почве. Опыты с введением обменного марганца в тучный чернозем в количестве от 0,5 до 4 м-экв. на 100 г почвы дали для некоторых растений очень заметный эффект², причем очень интересно отметить, что внесение в исследовавшуюся почву усиленной дозы сернокислого магния (вместо 0,5—1,0 м-экв. на 100 г почвы) значительно повысило положительное действие марганца.

4. Вопрос о мелиорации солонцов и по существу своему и по истории его развития имеет много общего с вопросом мелиорации кислых почв известью. Как там, так и здесь в начале научной разработки исследователи, естественно, обратили свое внимание на почвенный раствор и в своих методах мелиорации считались с количествами вредных веществ в этом растворе. Поэтому в первом научном подходе к мелиорации солонцов, сделанном Hilgard'ом, рекомендовалось внесение в такие почвы гипса как вещества, уничтожающего соду в количестве, соответствующем содержанию ее в почвенном растворе. Когда мною было установлено, что сода в почвенном растворе солонцов является производной обменного натрия в почве, стало ясно, что такими количествами гипса делу не помочь, что его надо вносить по расчету на обменный натрий, т. е. в количествах, значительно превышающих дозы Hilgard'a. Таким образом, и здесь правильная установка получилась лишь после изучения особенностей поглощающего комплекса солонцов. Далее успешность этой меры, как мною выведено теоретически и подтверждено непосредственным опытом³, связана с правильным учетом той реакции, которая совершается между поглощающим комплексом солонцеватой почвы и вносимым гипсом, результатом которой является сернокислая соль натрия, в известных количествах уже вредная растениям. Если эта соль в необходимых для этого случаях естественно или искусственно не удаляется, то мелиорация может

¹ Я считаю, что действие различных стимулянтов необходимо изучать также с точки зрения поглощающего комплекса и во всяком случае не только принимать во внимание количество их, вносимое в почву, так как при малых их количествах и при достаточном естественном увлажнении почвы в самое ближайшее время в почве останется только стимулирующий катион в обменном состоянии, а избыток его, не поглощенный почвой, вымывается вон.

² Подробный отчет о вышеизложенных опытах подготавливается к печати, предварительное сообщение напечатано в «Удобрение и урожай» 1931, № 11.

³ К. Гедройц. До питания гипсования солончаковых грунтов. «Вісник сільсько-господ. науки та досвідної справи», т. 5, № 6, 1928, стр. 106.

дать пониженные результаты, а иногда остаться совершенно безрезультатной и даже вредной; все это в зависимости от степени солонцеватости и возделываемого растения.

Теперь я могу на основании вышеприведенного о действии CaCO_3 на кислые почвы внести дальнейшее уточнение в вопрос гипсования солонцов.

Тут мы имеем полную аналогию. Так, если возьмем злостный натриевый солонец, где натрий целиком или почти целиком насыщает почву, где поэтому нет или почти нет обменных кальция и магния, то при гипсовании получим то же, что при известковании почвы, полностью насыщенной водородом; только в случае солонца после его промывания для удаления Na_2SO_4 как нелетучего соединения солонец превратится в почву, целиком или почти насыщенную кальцием (из гипса), а обменного магния он не будет содержать или будет его содержать очень мало. В результате растения, отрицательно относящиеся к высокому отношению $\text{Ca} : \text{Mg}$, будут развиваться неудовлетворительно.

Таким образом, и при мелиорации солонцов необходимо обратить внимание на обменный магний. Должен отметить, что очень возможно, что многие солонцеватые почвы не особенно высокой солонцеватости могут быть богаты обменным магнием.

В связи с вопросом о гипсовании солонцов отмечу, наконец, желательность изучения благоприятного действия гипса под некоторые растения на почвах, заведомо несолонцеватых, с точки зрения содержания в них обменного магния. Возможно, что и этот очень темный вопрос получит освещение путем такого изучения.

ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС КАК КОЛЛОИДАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ И ЕГО ВЗАИМООТНОШЕНИЕ С РАСТЕНИЕМ

Учение о почвенном поглощающем комплексе и связанное с ним учение о поглотительной способности почвы в современном виде начало развиваться только с 1910 г. и оформилось в общую систему только после Октябрьской революции (1-е изд. «Учения о поглотительной способности почвы», 1922, 1-е изд. «Почвенного поглощающего комплекса», 1925); все же, что сделано до настоящего времени по изучению взаимоотношения между поглощающим комплексом и растениями, сделано в самые последние годы.

Главнейшие общие положения, вытекающие из современного состояния учения о почвенном поглощающем комплексе и поглотительной способности почвы, следующие.

1. Высокая степень дисперсности коллоидальной фракции почвы и обусловливаемая этим сильно выраженная поверхность этой фракции и особое строение коллоидальной части—мицеллы (Wiegner, Mattson)—придают этой части почвы особые свойства, выраженные названием, данным мною этой части почвы—почвенный поглощающий комплекс (П.К.).

2. Происхождение этой части почвы двойное: *дисперсионное* (раздробление до коллоидальных размеров почвенных минералов под влиянием агентов выветривания) и *конденсационное*, синтетическое (образование сложных адсорбционных комплексов из молекулярных продуктов выветривания). В различных типах почвообразования преобладает то то, то другой, то вместе оба типа образования коллоидов.

3. Наиболее существенным свойством коллоидальной фракции почвы, которым она отличается от других фракций и вследствие которого ей дано название почвенного поглощающего комплекса является то, что в этой части почвы почти исключительно сосредоточиваются все виды поглотительной способности и в том числе наиболее изученный и наиболее практически важный вид—обменная поглотительная способность. Экспериментально доказано, что другие более крупные механические фракции обменной способностью почти не обладают.

4. Анионная часть почвенного П.К. и реакция взаимодействия между почвенным П.К. и анионами солей еще мало изучены. Наоборот, катионная часть почвенного П.К. и именно те катионы, которые находятся на поверхности его частиц и потому обладающие способностью к обмену (обменные катионы—О.К.), и реакции взаимодействия между почвенным П.К. и катио-

нами солей изучены уже достаточно полно и систематически выявлены основные законы обмена между катионами почвы и солевых растворов.

5. Химический состав горных почвообразующих пород и условий почвообразования на земной поверхности таковы, что в числе «главных» О.К. в П.К. почв земного шара нормально встречаются только следующие четыре металла: Са, Mg, Н, Na (в порядке частоты нахождения их в почвах); остальные металлы и в том числе даже такой, как калий, занимают в почвенном П.К. «подчиненное» положение; они должны содержаться в почвенном П.К. в обменном состоянии, но, как правило, лишь в ничтожных трудно определяемых количествах.

6. Содержание в П.К. почвы тех или иных главных обменных катионов находится в зависимости от материнской породы и внешних факторов почвообразования, поэтому каждому типу почвообразования соответствует свой определенный состав О.К.; этот состав есть основной признак почвенной генетической классификации.

7. Все свойства почвы—и физические, и химические, и биологические—находятся в теснейшей зависимости от того, какие О.К. содержит ее П.К., каков коэффициент насыщения каждого из этих катионов и какова вся емкость обмена почвы.

8. Состав почвенного раствора, в котором живут корни растений и из которого они черпают почти все необходимые для жизни элементы, представляет отображение почвенного П.К. и состава его О.К.; поэтому совершенно понятна самая тесная взаимная связь между растением и почвенным П.К. вообще и в частности особенно его О.К. Производительность почвы в смысле использования растениями питательных веществ, как естественно содержащихся в почве, так и вносимых туда с удобрениями, есть функция ее П.К. и, в частности, его О.К.

9. Из числа естественно присутствующих в почвах О.К. (т. е. Са, Mg, Н и Na) и целого ряда других исследованных мною металлов (NH₄, К, Sr, Cd, Ва, Mn, Fe, Со, Ni, Cu, Al) кальций занимает совершенно особое место на земном шаре по своему влиянию на растительность (повидимому, и на микрофлору); это единственный металл, при полном насыщении емкости обмена которым в почве получаются благоприятные условия для развития растений. К кальцию в этом отношении примыкает очень сходный с ним химически стронций; на почвах же, полностью насыщенных одним из 14 остальных вышеуказанных катионов, растения или совершенно гибнут, или развиваются заметно слабее, чем на почве, насыщенной одним лишь кальцием.

10. Но почва, насыщенная одним лишь кальцием, далеко не дает еще максимального урожая даже при избытке питательных веществ; урожай могут быть значительно повышены введением в почвенный П.К. ряда других катионов и изменением отношения между количествами существующих уже в почве О.К.

11. Непосредственные опыты указывают на большое влияние на высоту урожая величины отношения между обменным кальцием и магнием; оптимальное отношение Са : Mg различно для растений и, повидимому, зависит от величины емкости обмена данной почвы и присутствия в ее П.К. других О.К. Создание в почве неблагоприятного отношения между кальцием и магнием (слишком высокого) объясняет неблагоприятное действие, иногда совершенно губящее урожай, избыточного известкования чувствительных к этому отношению растений (лен, картофель, горчица и др.). Дальнейшее изучение этого вопроса даст возможность введения в практику известкования таких сортов доломитов и доломитизированных известня-

ков, при применении которых не будет опасности вредных последствий избыточного известкования.

12. Но, кроме магния как обменного катиона, имеющиеся уже данные экспериментального исследования указывают на ряд других катионов, присутствие которых в обменном состоянии в почвенном П.К. может заметно повышать производительность почвы; но в то время как для максимального эффекта содержание обменного магния должно быть в почве довольно высокое (можно для первого приближения таковым считать среднее содержание обменного магния в черноземах, т. е. примерно 20—40 единиц его на 100 единиц обменного кальция), содержание остальных О.К., полезных для растительности, должно быть, как правило, очень малым, а иногда и совершенно ничтожным; между такими «добавочными» О.К. можно различать два рода катионов:

а) одни из этих добавочных катионов (это обычно те, которые даже в очень небольших количествах сильно ядовиты для растений) в самых ничтожных количествах в почвенном П.К. стимулируют рост растений, каким-то еще неизвестным способом улучшают общие условия жизни растений и этим способствуют усиленному использованию имеющихся в почве или вносимых в почву с удобрением доступных растениям питательных веществ. Такую стимулирующую способность мы обнаружили пока у следующих металлов, введенных искусственно в почвенный П.К. в качестве обменных катионов: H, Rb, Cd, Ba, Co, Mn, Ni, Al;

в) другие металлы, введенные в почвенный П.К., оказываются способными повышать деятельность почвы в отношении перевода ее соединений в состояние, доступное для усвоения растениями и микроорганизмами; это те О.К., которые обладают способностью распылять почвенный П.К., разрушать микроструктуру почвы и усиливать коллоидальность почвы, т. е. это легкие одновалентные металлы Ni, Na, K, NH_4 , H (расположены в порядке убывания указанной способности); все эти О.К., находясь в почве выше известного количества, не только вредят растениям, но даже полностью их губят. Почвы, содержащие в таких количествах обменный натрий (солонцеватые почвы) или обменный водород (подзолистые и латеритные почвы), нуждаются в мелиорации для замены этих катионов кальцием (гипсование солонцов и известкование подзолистых почв), но в ничтожных количествах эти катионы, не вредя еще сколько-нибудь заметно растениям, усиливают распыляющее и растворяющее действие воды и тем способствуют переходу недоступных растению азотистых и фосфорнокислых соединений почвы в усвояемое состояние.

13. Тесная зависимость развития растения от содержания в питательном растворе «питательных» и различных «непитательных» элементов, от высоты их концентрации и величины отношений между этими концентрациями, с одной стороны, и тесная связь состава почвенного раствора с почвенным П.К. и в первую очередь с его О.К., с другой стороны, определенно говорят за то, что химизацией земледелия возможно не только обеспечить урожай нужными питательными элементами (азот, фосфор, калий), но и так изменить состав О. К. в поглощающем комплексе (введение в П.К. желательных катионов обработкой почвы солями этих катионов), создать в почвенном П.К. такое соотношение между ними, которое обуславливало бы возможно высшую производительность почвы и наиболее сильное использование вносимых удобрений ведущей культурой севооборота.

14. Несомненно, существующая теснейшая зависимость урожайности почвы от свойств ее П. К. и от состава его О. К. требует для возможности управления ею в желательном для человека направлении прежде всего

всестороннего изучения и исследования и, между прочим, изучения действия на почвенный поглощающий комплекс земледобрильных туков. Внесением в почву удобрений, известкованием, гипсованием почвы и вообще при всяком воздействии на почву любыми активными веществами вызываются изменения в почвенном П.К. и в частности в составе его О.К. Очевидно, чем интенсивнее будет такое воздействие, тем сильнее будут эти изменения. Каждое же изменение в почвенном П.К. рано или поздно, так или иначе, положительно или отрицательно должно отразиться на произрастающем на почве растении, на урожайности почвы.

Чтобы показать, как сильно может изменяться состав О.К. в почве под влиянием известкования и в какой мере это может отразиться на урожайности, приведу из своих исследований следующие данные.

1. Сильнокислый торфянистый горизонт— A_1 ; в поглощающем комплексе содержится на 100 г почвы: обменного Н—30, 8 м-экв.; обменного Са—12,6; обменного Mg—3,6; гидролитическая кислотность вся полностью—58, 8 м-экв.

Урожай льна на этой почве 0,12 г зерна и 5,6 г соломы на сосуд.

Почва эта изменялась следующим образом:

а) Внесение в эту почву 50 м-экв. $CaCO_3$ на 100 г дало почву с 62,6 м-экв. обменного Са; 3,6 обменного Mg и 18,8 м-экв. гидролитической кислотности. Урожай льна на ней 15 г зерна и 22 г соломы.

б) Внесение 100 м-экв. $CaCO_3$ дало почву с 71,4 м-экв. обменного Са; 3,6 обменного Mg и с 41,2 м-экв. $CaCO_3$; Урожай льна упал до 3,8 г зерна и 10,8 г соломы.

в) Внесением 20 м-экв. $MgCO_3$ получена почва, содержащая: 12,6 м-экв. обменного Са; 23,6 обменного Mg; 10,8 обменного Н; гидролитическая кислотность—38,8 м-экв.

Урожай льна всего: 0 г зерна и 1,8 г соломы.

д) Кроме 20 м-экв. $MgCO_3$ почва получила еще 10 м-экв. $CaCO_3$; такая почва содержала: 22,6 м-экв. обменного Са; 23,6 м-экв. Mg; 0—обменной кислотности и 38,8 гидролитическая кислотность. Урожай льна поднялся до 10,6 г зерна и 25,4 урожай соломы.*

18 сентября 1932 г.

* Работы К. К. Гедройна по изучению роли обменных катионов в питании растений были продолжены трудами О. К. Кедрова-Зихмана, А. В. Петербургского, Е. И. Ратнера, С. С. Ярусова и других исследователей. Перу Е. И. Ратнера принадлежит специальная монография «Минеральное питание растений и поглощательная способность почв». Изд. АН СССР, М.—Л., 1950.—Ред.

ПО ПОВОДУ СТАТЬИ проф. В. СЕРЕБРЯКОВА «ГИДРОЛИТИЧЕСКАЯ КИСЛОТНОСТЬ И ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВЫ»¹

III оводом к вышеназванной статье проф. Серебрякова послужило следующее обстоятельство.

При определении гидролитической кислотности по методу Каппена в лаборатории кафедры почвоведения Нижегородского университета было найдено, что даже почвенные горизонты, содержащие углесолы, в том числе и чистый белый материнский мел, обнаруживают по этому методу гидролитическую кислотность, т. е. дают вытяжки уксуснокислым натрием кислые на фенолфталеин, требующие для появления розовой окраски в присутствии этого индикатора то или другое количество щелочи, в исследованных случаях от 0,6 до 3,7 куб. см 0,1 норм. раствора NaOH на 100 г почвы или на 250 куб. см уксуснокислого натрия.

Цель моей заметки—выяснить отмеченное проф. Серебряковым явление. Других вопросов, затронутых им, я коснусь лишь мимоходом, так как об обменной кислотности я писал много и мое отношение к ней можно найти в последнем издании «Химического анализа почвы» (стр. 517), о гидролитической же кислотности я ничего не писал до сих пор, так как только в самое последнее время получил возможность заняться этим вопросом, и когда производящиеся исследования достигнут известного состояния, я на этом вопросе остановлюсь подробно.

Что собственно следует из приводимого проф. Серебряковым факта? По моему мнению, только то, что метод Каппена неприменим к почвам, содержащим углесолы, да и прикладывать его к таким почвам, конечно, незачем, так как мы знаем, что такие почвы не могут обладать тем интересным свойством (думаю, что интересным и в теоретическом и в практическом отношении), открытым в почвах Каппеном,—способностью усиливать гидролиз солей слабых кислот и сильных оснований с освобождением кислоты и со связыванием оснований, для учета которого Каппен и предложил свой метод уксуснокислого натрия или кальция.

Всякий метод, в том числе и метод Каппена, имеет свою область применимости; но эта область применимости должна быть установлена соответствующим изучением; она выявляется лишь постепенно, по мере включения в изучение данным методом новых объектов, обладающих новыми свойствами. Относительно метода Каппена надо сказать, что он изучен действительно еще недостаточно, несмотря на то, что этим методом, особенно у нас, работают очень много; главной причиной этому является прежде всего сложность самого явления взаимодействия между почвой и солями слабых кислот и сильных оснований, а кроме того, по моему мнению,

¹ Журнал «Совхоз», 1930, № 6, стр. 49—51.

то обстоятельство, что у нас вместо механизации лабораторной техники происходит механизация мысли. Но как бы то ни было, а браковать метод Каппена потому, что он дает абсурдные результаты в тех случаях, в которых он по самому существу своему неприменим, столь же логично, как отвергать, например, метод определения Са щавелевокислым аммонием, потому, что метод этот дает абсурдные результаты, когда осаждение кальция производится в присутствии бария, стронция и т. п.

Неприменим же метод Каппена к почвам, содержащим углесоли, т. е. дает вытяжки уксуснокислым натрием из таких почв не нейтральные и не щелочные, как казалось бы, без достаточного анализа явления, он должен бы давать, а кислые на фенолфталеин по следующей простой причине. Рассматриваемое явление совершенно аналогично тому, какое часто имеет место для водных вытяжек из карбонатных почв и которое давно уже объяснено мною (см. «Химический анализ почвы», 1-е изд., 1923, стр. 172; 2-е изд., 1929, стр. 353); вытяжки эти содержат углекислый кальций и вместе с тем полусвободную и свободную углекислоту, поэтому они кислы на фенолфталеин, как индикатор, очень чувствительный к углекислоте, и для своей нейтрализации требуют того или другого количества щелочи, а вместе с тем эти же вытяжки щелочны на метил-оранж и требуют для перемены его окраски такого количества кислоты, которое соответствует содержанию в них углекислого кальция. Совершенно то же мы можем иметь и в случае вытяжек уксуснокислым натрием из карбонатных почв: углекислый кальций растворяется в этом реактиве, вытяжка поглощает углекислоту воздуха и углекислоту, всегда присутствующую во взятой навеске почвы, и относительные количества ее и растворившегося углекислого кальция могут быть такие, что с фенолфталеином мы получим кислую реакцию. Отличие от водной вытяжки здесь то, что установить титрованием с метил-оранжем присутствие в растворе углекислого кальция мы не можем, так как в присутствии этого индикатора кислотой титруется и уксуснокислый натрий. Если сделать вытяжку уксуснокислым натрием из осажденного углекислого кальция (растворимость последнего в 1,0 норм. растворе уксуснокислого натрия около 0,16 г CaCO_3 на литр), то она будет сильно щелочной на фенолфталеин, но по мере стояния на воздухе такой вытяжки, интенсивно окрашенной в красный цвет фенолфталеином, окраска ее постепенно ослабевает до полного исчезновения; если в такую свежеприготовленную вытяжку, требующую при титровании с фенолфталеином довольно значительного количества кислоты, пропустить в течение нескольких секунд углекислоту, то получаем жидкость, уже кислую на фенолфталеин и требующую для своей нейтрализации того или другого количества щелочи,—как раз то явление, с которым имел дело проф. Серебряков; не дав себе труда разобраться в этом явлении, он не только забраковал самый метод Каппена: по его мнению, найденная им гидролитическая кислотность (?) у материнского мела «заставляет уже вполне отрицательно относиться к тем методам, которые специалисты, агрохимики, научно-исследовательские институты и опытные учреждения положили в основу повышения плодородия почвы, то более что эти методы не представляют только теоретический интерес».

Вполне соглашаясь с проф. Серебряковым, что «весь сложный процесс преимущественно биологического порядка, определяющий способность почвы воспроизводить культурные растения, нельзя сводить только к одному фактору—химии почвы и, в частности, к тем или иным формам ее кислотности» (думаю, что на такой же точке зрения, стоит по крайней мере, большинство специалистов-агрохимиков и что в этой совершенно

правильной мысли для них уже давно ничего нового нет), я все-таки позволяю себе утверждать, что при изучении сложных явлений и особенно столь сложных, как действие известкования почвы на растение, да еще в целях отыскания оптимальных доз, нужно вопрос по возможности расчленить и изучать его по частям, иначе будут лишь разговоры, необоснованные теории и дело не сдвинется с мертвой точки; между прочим, вопрос известкования требует выделения и отдельного изучения действия извести на почву; изучение отдельных форм кислотности, помимо всяких других целей, имеет целью в применении к известкованию изучение потребности почвы в извести для нейтрализации (или насыщения) этих форм кислотности, так как, несомненно, вносимая в почву известь расходуется на эти процессы. Когда я говорил и говорю об обменной кислотности в связи с известкованием, я всегда подчеркивал и подчеркиваю, что величина этой кислотности является мерилем потребности почвы в извести как нейтрализаторе только этой именно кислотности, совершенно безотносительно от действия на растения этой нейтрализации, потому что последнее явление иного порядка и должно изучаться иными методами; будет ли вычисленная доза извести хороша или нехороша, достаточна, недостаточна или избыточна для того или другого растения, это должно быть установлено отдельно и, конечно, не химическими методами. Так же я понимаю практическое применение гидролитической кислотности как фактора, играющего роль в действии извести на почву: величина ее говорит только о том, что для уничтожения способности почвы гидролитически расщеплять соли сильных кислот и слабых оснований нужно такое-то количество извести. Какую роль играет насыщение в той или другой степени обменной или гидролитической кислотности почвы кальцием на взаимоотношение между почвой и различными растениями, на величину и качество даваемого ею урожая, на различные микробиологические процессы в ней, на ее физические свойства и т. д. — это все вопросы, на которые определение величины обменной или гидролитической кислотности ответить, конечно, не может, — эти вопросы должны изучаться и изучаются каждый соответствующим методом, но величины различных форм кислотности почвы являются для этих изучений опорными (исходными) пунктами и чем больше мы будем иметь таких опорных пунктов, тем скорее подвинется разрешение вопроса об известковании почвы и, в частности, о дозировке извести в тех или других целях.

Таким образом, самый вопрос о значении изучения различных форм кислотности почвы для целей известкования кажется совершенно ясным и определенным, и если, однако, находятся такие агрохимики и почвоведы, которые считают, что определением форм кислотности разрешен уже практически вопрос об известковании, или такие, которые предполагают, что агрохимики вообще не понимают истинного значения форм кислотности, то это нужно объяснить только недостаточным знанием тех и других современного состояния вопроса об известковании и истории его развития.

Изучение и дальнейшая разработка многих вопросов почвоведения и агрохимии задерживаются отсутствием или несовершенством методики исследования; вопросы, связанные с известкованием почвы, не представляя в этом отношении какого-либо исключения; всякая деловая и вдумчивая критика и всякое конкретное предложение в этом направлении будут только приветствуемы всеми работающими в этой области и использованы для дальнейшего развития вопроса.



ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ПО ГРУППЕ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА на 1933 г.

1. Отношение растений и микроорганизмов к различным обменным катионам (частично входят вопросы мелиорации солонцеватых почв).
2. Обменный аммоний как источник азота для растений и нитрофицирующих микроорганизмов (имеет отношение к вопросам аммонийных удобрений).
3. Соотношение обменных Са и Mg в почве и роль этого отношения в жизни растения (вопросы известкования почв).
4. Изучение доломита и доломитизированных известняков как материала для создания в почве правильного отношения между обменным кальцием и магнием (к вопросам известкования почв).
5. Степень благоприятности для растений кальция и магния в различных подзолистых почвах (к вопросам известкования почв).
6. Почвенный поглощающий комплекс и труднорастворимые фосфорнокислые удобрения.
7. Взаимодействие между динамикой азота и фосфора в почве.

ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ТЕМАМ ГРУППЫ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА на 1933 г.

Все намеченные на 1933 г. темы являются отдельными вопросами общей проблемы о взаимодействии между удобрениями, почвенным поглощающим комплексом и растением, разрабатываемой мною уже 4-й год. Тематика 1933 г. непосредственно вытекает из результатов, полученных мною в предшествующие годы, и является прямым дальнейшим развитием этих исследований.

В первую очередь я ставлю темы, намеченные пп. 3, 4, и 5, которые посвящены дальнейшей разработке выдвинутого мною в прошлом году вопроса о значении для растений отношения между обменным кальцием и обменным магнием в почвах; в этих темах делается попытка, кроме теоретической разработки вопроса, подойти к практическому использованию его в целях повышения урожайности.

По теме п. 1 будут продолжаться исследования о влиянии на растения и на жизнь почвы введения в почвенный поглощающий комплекс различных обменных катионов и в том числе натрия как обменного катиона, вызывающего отрицательные свойства солонцов; тема будет связана с вопро-

сами мелиорация солонцов под различными культурами; объем последних вопросов будет находиться в зависимости от тех условий, какие будут представлены моей группой, и, в частности, от времени предоставления мне новой лаборатории.

Тема п. 6 имеет целью выяснение вопроса о зависимости степени усвояемости фосфоритов и других труднорастворимых фосфатов от содержания в почвах обменного водорода. Вопрос этот был поставлен мною на очередь еще в 1911 г., и в настоящее время я предполагаю приступить к нему вплотную. Объем этой темы в лабораторном отношении также связан со временем окончания лаборатории в Долгопрудном опытном поле.

Тема п. 2 является продолжением начатых уже мною исследований об усвояемости и действии на растение и почву обменного аммония; предварительное мое исследование сдается в печать в НИУ на этих днях; вопрос этот я считаю очень актуальным; но он также требует подходящей лаборатории и ввиду отсутствия таковой будет проводиться мною главным образом вегетационным методом, т. е. односторонне.

Наконец, тема п. 7 является первой попыткой моей группы вынести вопросы об обменных катионах почвы в полевую обстановку и касается одного из самых существенных вопросов полеводства—о состоянии в почве фосфорного минимума и зависимости его от степени насыщенности почвы основаниями и влияния на нее процессов нитрификации.

У К А З А Т Е Л И

*

Б И Б Л И О Г Р А Ф И Я

СПИСОК РАБОТ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА, ПОМЕЩЕННЫХ В НАСТОЯЩЕМ ИЗДАНИИ ИЗБРАННЫХ ЕГО СОЧИНЕНИЙ

Том I

1. К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легкорастворимых соединений в зависимости от внешних условий. «Журнал опытной агрономии», т. VII, кн. 5, 1906, стр. 521—561.
2. На каких почвах действует фосфорит. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями. «Журн. оп. агр.», т. XII, кн. 4, 1911, стр. 529—539.
3. Еще о почвах, на которых действует фосфорит. «Журн. оп. агр.» кн. 6, стр. 811—818.
3. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. I. Образование соды в почве. Щелочные солонцы и солончаки. «Журн. оп. агр.», т. XIII, 1912, стр. 363—412.
- II. Скорость обменных реакций в почве. Коллоидальность почв, насыщенных различными основаниями, и красочный метод определения количества коллоидов в почве. «Журн. оп. агр.», т. XV, кн. 3, 1914, стр. 181—205.
4. Действие электролитов на илстые суспензии. В книге из Бюро по земледелию и почвоведению Ученого комитета Главного управления земледелия и землеустройства. Сообщение XXIV, 1915, стр. 1—68.
5. Поглощительная способность почвы и почвенные цеолитные основания. «Журн. оп. агр.», т. XVII, 1916, стр. 472—527.
6. Почвы, ненасыщенные основаниями. Методика определения в почвах водородного иона, находящегося в поглощенном состоянии. Потребность почвы в извести как нейтрализаторе ненасыщенности. «Журн. оп. агр.», т. XXII, кн. 1, 1921—1923, стр. 3—28.
7. Проблема почвы. Материалы по химизации народного хозяйства СССР, т. IV, 1929, стр. 168—173.
8. Учение о поглощительной способности почв. Изд. 3-е, Москва, Сельхозгиз, 1932, 203 стр.
9. Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в поглощенном состоянии; известкование как мера улучшения ультрамеханического состава почвы. «Журн. оп. агр.», т. XXII, кн. 1, 1921—1923, стр. 29—51.
10. Почвенные поглощенные катионы и физические свойства почвы. «Журнал прикладной химии», т. II, вып. 3—4, 1925, стр. 180—182.
11. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении. Известия Государственного института опытной агрономии, т. IV, № 3, 1926, стр. 117—127.
12. Положение вопроса о структуре почвы. Труды Советской секции Международной ассоциации почвоведов, т. 1, ком. 1 (физика почв), № 1, 1933, стр. 94—102.
13. Действие перекиши водорода на почву. Статья I. «Удобрение и урожай» № 9, 1931, стр. 814—827.
- Статья II. «Удобрение и урожай» № 10, 1931, стр. 909—922.
14. Осолоднение почв. Кн. НКЗ, Носовская сельскохозяйственная опытная станция, вып. 44, 1926, 48 стр.
15. К вопросу об историческом районе Носовской сельскохозяйственной оп. ст. Кн. НКЗ, Носовская сельскохозяйственная оп. ст., вып. 40, 1926, 14 стр.
16. Главнейшие особенности почвообразовательного процесса Днепровской низины. Статья в кн. Грунты району Днепровского льодовикового языка, 1930, 12 стр.

Том II

1. Химический анализ почвы. Сельхозгиз, 1932, 535 стр.

Том III

1. Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений. «Журн. оп. агр.», т. VI, кн. 5, 1905, стр. 686—704.
2. Влияние объема почвы и густоты посева на потребность растений в питательных веществах. Труды сельскохозяйственной химической лаборатории, вып. 4, 1909, стр. 20—54.

3. Потребность красного клевера в фосфорной кислоте в связи с ходом восприятия этого вещества и явлением клевероутомления почвы. «Журн. оп. агр.», т. VIII, кн. 1, 1907, стр. 39—60.
4. Опыты с известковым азотом. Труды с.-х. хим. лаборатории, вып. 4, 1909, стр. 1—19.
5. К методике вегетационного опыта. Труды с.-х. хим. лаборатории, вып. 4, 1909, стр. 257—272.
6. Сравнительное плодородие различных почвенных горизонтов. Труды с.-х. хим. лаборатории, вып. 4, 1909, стр. 282—303.
7. Доступность растениям фосфорной кислоты различных фосфорнокислых солей. Труды с.-х. хим. лаборатории, вып. 4, 1909, стр. 343—409.
8. Материалы к вопросу о влиянии на растения кислот, щелочей и некоторых неорганических солей. «Журн. оп. агр.», т. XI, кн. 4, 1910, стр. 544—578.
9. Действие на растения щелочей. Там же, кн. 5, стр. 641—678.
10. Влияние углекислого кальция на усвояемость растениями и на растворимость водно-растворимых фосфатов. Труды с.-х. хим. лаборатории, вып. VIII, 1914, стр. 200—243.
11. О растворяющей и осаждающей деятельности корней растений. Труды с.-х. хим. лаборатории, вып. VIII, 1914, стр. 282—303.
12. Засоленные почвы и их улучшение. «Журн. оп. агр.», т. XVIII, кн. 1, 1917, стр. 122—140.
13. Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация. Кн. НКЗ, Носовская с.-х. оп. ст., вып. 46, 1928, стр. 3—73.
14. К вопросу о причинах лучшего использования растениями фосфорнокислых удобрений на полях Носовской опытной станции после культуры клевера. Кн. НКЗ, Носовская с.-х. оп. ст., вып. 29, 1922, 6 стр.
15. Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция. Кн. НКЗ, Носовская с.-х. оп. ст., вып. 43, 1926, Киев.
16. Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений. Почвенные коллоиды и солонцеватость почв. Кн. НКЗ, Носовская с.-х. оп. ст., вып. 42, 1926, 66 стр., Киев.
17. Подвижность азотистых соединений почвы и почвенные поглощенные катионы. «Журнал прикладной химии», т. II, вып. 3—4, стр. 183—184.
18. Почвенные обменные катионы и растение. 1. Доступность растению кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии к обмену неспособном. Отношение растений к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы. «Удобрение и урожай» № 6, 1930, стр. 464—475.
19. Почвенные обменные катионы и растение. 2. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве. «Удобрение и урожай» № 11—12, 1931, стр. 1047—1058.
20. Почвенные обменные катионы и растение. 3. Влияние на урожай марганца, алюминия и некоторых других металлов, введенных в почвенный поглощающий комплекс в различных количествах. Труды научного института по удобрениям, вып. 109, Минеральные удобрения, сб. 1, 1932, стр. 70—81.
21. Почвенные обменные катионы и растение. 4. Поглощенный аммоний как источник азота для растений и действие его на почву. Труды НИУ, вып. 113, Минеральные удобрения, 1933, стр. 3—13.
22. Действие на растения углесолей кальция и магния. В кн. К. К. Гедройц «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». Сельхозгиз, стр. 87—97.
23. Работы Агрохимического отдела НИУ по взаимоотношению между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением. Там же, стр. 97—121.
24. Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация. «Химизация социалистического земледелия» № 1, стр. 42—49.
25. Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растением. «Химизация социалистического земледелия» № 9—10, 1932, стр. 15—18.
26. По поводу статьи проф. Серебрякова «Гидролитическая кислотность и известкование почвы». «Удобрение и урожай» № 9—10, 1930, стр. 781—783.
27. Тематический план по группе акад. К. К. Гедройца на 1933 г. В кн. К. К. Гедройц «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». Сельхозгиз, 1935, стр. 159—160.
28. Объяснительная записка к темам группы акад. К. К. Гедройца. Там же, стр. 160—161.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ¹

- Абсорбционные соединения 98
 Абсорбция и адсорбция, определение 210
 — отрицательная 209
 — растворенного вещества коллоидными веществами клеток растения 208, 210, 211
 Агрегаты (коллоидных частиц) 392—395, 402, 410, 411, 429, 434, 438
 Агрономические свойства почвы 392, 395, 400, 406, 409, 411, 412, 419, 420, 434, 435, 438, 439
 — — почв, их зависимость от климата и погоды 438
 Агрохимия, определение 514
 Агрохимическое изучение почвенного поглощающего комплекса 504, 515
 Адсорбция 210
 — величина ее для неорганических солей 210
 — органических кислот на поверхности корней растений 210
 — отрицательная 209
 — положительная 209
 — растворенного вещества на поверхности корней 208, 211
 — растворенных веществ твердыми телами 208
 — углем веществ, растворенных в воде 209
 Азот аммиачный 356, 357, 483
 — известковый 97
 — — влияние на урожай в зависимости от времени и способа внесения 84
 — — вредное влияние на растения 71
 — — вредное влияние на растения продуктов его распада в почве 73
 — — вредность его для растений в зависимости от поглотительной способности почвы 79
 — — действие его сравнительно с химически чистой азотнокальцевой солью 83, 87—90.
 — — действие на рост различных растений 91—96
 Азот известковый, загрязнение его фосфористым и сернистым кальцием 71
 — — общее заключение о нем как об азотистом удобрении 80
 — — опыты с ним 70
 — — превращение в почве 71, 76, 79
 — — состав 70, 71
 — — сравнение его действия с действием селитры и сернокислого аммония 80, 92—96
 — — условия нитрификации и аммонизации его азота 79
 — — устранение вредного его влияния окисью железа 77
 — малая подвижность его соединений в условиях нормального чернозема 371, 372
 — мочевины, переход в аммиак и азотную кислоту 79
 — нитратный 356, 357, 483
 — обменного аммония 513
 — общий, запасы 114
 — поглощенного аммония 492
 — подвижность его соединений в условиях вторичных подзолистых почв 373
 — подвижность его соединений в деградированном черноземе 372
 — подвижность его соединений в носовских черноземах 373, 377
 — подвижность его соединений в почвах Днепровского языка 373
 — подвижность его соединений в почвах подзолистого типа 372
 — подвижность его соединений в солонцах и солонцеватых почвах 372
 — различные формы его, влияние на урожай различных растений 81, 82
 — распределение его по горизонтам почвы 385
 — расчет нужного количества для растений в сосудах 103, 104.
 — содержание его в растениях 51, 53, 54
 — — в различных слоях почвы 116
 — усвояемый 114, 123

¹ Предметный и именной указатели составила А. Н. Кожевникова.

- Азот, утилизация атмосферного (различные способы) 70
 — — из торфяников 70
 Азотистая известь, превращение в почве 71
 — — состав 70, 71
 Азотистые органические вещества почвы 441
 — соединения почвы, их подвижность 441
 Азотистый баланс почвы 435
 Аккумулятивная деятельность растений 385
 Алюминий, влияние на урожай 469, 470, 475, 476
 — обменный 445
 — — стимулирующее действие 479
 — фосфорнокислый 18, 21
 — гидролитическая диссоциация его 151
 — — влияние углекислоты 20
 Алумосиликатная часть почвы 402, 433
 Алумосиликаты 432, 433
 Алумоферрисиликат, схематический состав 308
 Алумоферрисиликатные кислоты 308
 Аммиак, влияние на всхожесть семян 72
 Аммонизация 371, 428, 442
 Аммоний азотнокислый 185—188, 190, 191
 — обменный 483—485, 491, 492, 513—515
 — поглощенный 491, 513—515
 — — влияние его на растворяющее и разрушающее действие воды 185
 — — влияние его на рост растений 490
 — — как источник азотистого питания растений 481—492, 513
 — сернокислый 185—191
 — углекислый 483, 491
 Аммонийные соли 190, 481, 484, 492, 514
 Аммонификация 482
 Аммонифицирующая способность клеверных остатков 361
 Аммонифицирующие микроорганизмы 483
 Аморфная кремниевая кислота, ее содержание в почвах 415
 Анаэробные, восстановительные процессы 432
 Анион (анионы) 394, 397
 — почвенного раствора 327
 — стабилизирующее действие их 327
 Антагонизм между кальцием и магнием 513
 Антагонистическое действие солей 193
 Апатит 12
 Апетилек, влияние на всхожесть семян 72, 73
 Аэрация почвы 424—428, 434
 Аэробные микроорганизмы 429, 432, 434
 Бактерии клубеньковые 422
 Барий, влияние его на урожай овса 472
 Бесструктурность 431, 434
 Биологические свойства почвы 440
 — методы исследования 445, 446
 Броуновское движение 393
 Вальной анализ почвы 381
 — состав почвы 381, 439
 Вегетационные опыты по выявлению растворяющего действия выделяемой корнями растений углекислоты 269—271
 — сосуды, величина их, зависимость от нее относительной потребности почвы в удобрениях 49, 423
 Вещества, обладающие положительной адсорбцией 209
 Взаимодействие между растением, удобрением и почвенным поглощающим комплексом 504
 Вязка 196, 199, 220, 422, 437
 — внешние признаки страдания от кислотности 203
 — вредное влияние избыточного известкования 459
 — действие кислот 202, 203
 — — неорганических солей 226
 — — растворов едкого калия 217, 218
 Влагоемкость капиллярная и некапиллярная 422
 Влияние густоты посева на урожай растений 45, 46
 — количества воды в сосудах на урожай растений 26, 34, 40
 — на растения соотношения кальция и магния 511
 — объема почвы на величину урожая в сосудах 23—26, 28, 30, 31, 34, 36, 37, 40
 — объема почвы на корневую систему 25
 — освещения растений на величину урожая в сосудах 34, 40
 — плодородия почвы на относительную потребность почвы в удобрениях 37, 40
 — растворенного вещества на поверхностное натяжение растворителя 208
 — содержания в почве окиси железа на растворимость фосфорных соединений в лимонной и уксусной кислотах 123
 — числа растений на величину урожая в сосудах 24, 40, 45
 Внешний вид растений, страдающих от щелочности 218, 219
 — — растений, страдающих от избытка солей 231, 232
 Вода, действие ее на почвенные агрегаты 410, 411
 — ее выщелачивающее действие 414
 — ее разрушительное действие 416
 — ее расплывающее действие 414
 — насыщенная углекислотой 146, 147
 — недоступная растениям 411
 — полезная для растений 436
 — разлагающее действие ее на алумосиликатную и гуматную часть почвы 365, 367
 Водная вытяжка 193, 308, 386, 413, 426
 Водные культуры 409
 — — на водных вытяжках 427
 Водный и воздушный режимы носовских почв 424—426, 429, 430
 Водный режим почвы 437, 439, 442

- Водопроницаемость почв 428, 435, 436
 Водопропускающая способность их 434
 Водород как катион, насыщающий почву 486, 522
 — — обменный катион в почве 445—447, 485
 — поглощенный 410, 434
 — фосфористый, влияние на всхожесть семян 72, 73
 Водородный ион 196, 520
 — — как наиболее ядовитый для растений 196, 206, 212
 — — концентрация в почвенном растении 366
 Водоудерживающая и водоаккоплирующая способность почв 430
 Воздух почвенный, зависимость его состава от влажности 439
 Воздушный режим в нивосовских почвах 429—435, 437, 439
 — — почвы 428—430, 437, 439, 440, 442
 Восстановительные процессы в почве 425, 432
 Вытяжка лимоннокислая 127
 — уксуснокислая 127
 Гели (в почвах) 401, 402
 — истинные, или галерты 401
 — необратимые 402, 403
 — обратимые 402, 403
 Генезис несолонцеватых почв района Носовской опытной станции 416
 — — черноземов Маниевки 416
 — почв Днепровского ледникового языка 421
 Гидраты окиси железа и алюминия 393, 396
 — — марганца 396
 Гидроксильный ион как стабилизирующий фактор 394
 Гидролиз 146
 Гидролитическая диссоциация 13, 14
 — — трехкальциевого фосфата 14, 15
 — — фосфорнокислого алюминия 151
 — кислотность 531
 — — и известкование почвы 531—533
 Гипс 523
 — малая растворимость его 315, 317
 — отношение к нему сельскохозяйственных растений 293
 — понижение растворимости в присутствии сернокислого натрия 313
 — понижение ядовитости солей натрия в его присутствии 293
 — предохраняющая роль его в эволюции солончака 317
 — применение его для мелиорации солонцов 417
 — расчет количества, нужного для гипсования 342
 Гипсование 341
 — солонцов 526
 Глинистые почвы 395, 410
 Горизонт бескарбонатный 438
 — вскипания 413
 — — понижение его 312
 Горизонт карбонатный 438
 Горчица 36, 104—108, 132, 145—150, 157, 159—163, 179—181, 185, 186, 190, 191, 197—199, 213, 214, 216, 217, 219, 236, 240, 241, 250, 448, 460, 488, 494, 495, 499, 500, 510, 513, 520
 — белая 205
 — влияние на ее урожай азотнокислых солей и сернокислого аммония 186—188
 — вредное влияние извести 459
 — высокое использование фосфорной кислоты из фосфорита 68, 280, 281
 — действие на нее неорганических солей 220—222
 — — на нее различных доломитов 462—464, 513
 — — на нее раствора едкого калия 216—218
 — использование фосфорной кислоты фосфатов в присутствии углекислого кальция и без него 236, 251
 — низкое использование почвенной фосфорной кислоты 280, 281
 — нуждаемость в фосфорной кислоте в первые периоды роста 67
 — отношение к растворимой фосфорной кислоте 65
 — повышение усвояемости фосфорной кислоты фосфорнокислого железа 182
 — понижение усвояемости фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата под влиянием мела 182
 — причина усвояемости фосфора 187
 — характер страдания ее от кислотности 199, 200
 Гречица 11, 448
 — вредное влияние избыточного известкования 459
 — действие поглощенного марганца на урожай 473
 — использование ею фосфорной кислоты фосфорита в присутствии углекислого кальция и без него 236, 510, 520
 — использование калия из нефелина в селюды 276
 Гуматная часть почвы 412, 414
 Гуматы 433
 Гуминовокислый натрий (гумат натрия) 396, 402
 Гуминовые вещества 18
 — — характер их в различных слоях почвы 117
 Гумус 385, 396—398, 413, 414, 416, 426, 433
 — воднорастворимый 486, 487
 — растворение его водой в почве 414
 — растворимость 120
 — содержание в различных слоях почвы 116
 Гумусовые вещества 402
 Густота растений, влияние ее на потребность растений в питательных веществах 49—54
 Двухкальциевый фосфат 12, 16, 18
 Деградация черноземов, солонцов и солонцеватых почв 413—415

- Деградированные солонцеватые почвы 416
 Действие воды разрушающее 519
 — на растения аниона кислоты 207
 — — растения водородного иона 206, 207
 — — растения кислот в зависимости от силы последних 196
 — — растения неорганических солей 220
 — — растения углесолей кальция и магния 493
 Денитрификаторы 359
 Денитрификация 483
 Дикарбимид 76
 Дисперсная (дисперсионная) фаза 389, 401
 — среда 389, 395, 401
 Диссоциация электролитов 13
 — фосфорной кислоты 13, 14
 Диффузия растворенных соединений в почве 275
 Дициандиамид, вредное влияние на растения 71, 74, 82
 — разложение в почве 75
 — условия перехода в амидоциановую кислоту 77
 Дозы извести 515
 Доломиты 495, 497, 498, 500, 501, 512, 522
 — различное их действие на растения 512, 513
 Доступность органического азота микроорганизмам 441
 Емкость обмена почвы 446, 487, 514, 522
 — поглощения почвы 306, 511
 Железо закисное, его ядовитость для растений 425
 — фосфорнокислородное 16, 21, 22
 — — гидролиз его 16, 17
 — — уменьшение доступности его фосфорной кислоты 62
 Зависимость времени кущения от обеспеченности растений питательными веществами 27
 Закон действия масс 15
 — минимума 39
 Золи (золи) в почвах 395, 401—403
 — гумата натрия 402
 Известкование, влияние на действие фосфатов 257
 — влияние его на доступность растениям фосфорной кислоты почвы 9, 20
 — влияние его на доступность растениям фосфорной кислоты фосфорнокислых удобрений 9, 22
 — вопрос об оптимальных дозах извести 465
 — вредное влияние избыточных доз извести 458, 459, 511, 512, 523
 — зависимость оптимальной дозы извести от обменной и гидролитической кислотности 467
 — значение его 369
 — — гидролитической кислотности, обменной кислотности, емкости поглощения 465, 466
 Известкование избыточное 461, 462, 467
 — отрицательное действие на урожай 458
 — почвы 149, 363, 457, 458, 522, 531—533
 — — как способ борьбы с разрушительным действием воды на почву 364
 — причины вредного действия избыточных доз извести 524
 — причины отрицательного действия извести на кислых почвах 464
 — эффективность его в зависимости от количества внесенных фосфатных удобрений 259, 260
 Известковые удобрения, повышение эффективности в присутствии магния в них 468
 Известь азотистая, превращение в почве 71
 — — состав 70, 71
 — едкая 12
 — жженая 12
 — углекислая, неодинаковое действие ее на разные фосфаты кальция 236
 Известняк доломитизированный 512
 Иллитная фракция почвы 389, 392, 395, 397
 Индифферентные вещества почвы 364
 Инстабилизаторы 327
 Инстабилизирующее действие катиона кальция 328
 — — катиона натрия 328
 Инстабилизирующие факторы 393
 Ион аммония 484
 — водорода 484
 Испаряющая способность почвы 436
 Кадмий, влияние на урожай овса и горчицы 471, 472
 — обменный 488
 Калиевый полевой шпат 390, 391
 Калий азотнокислый 185—187
 — едкий, действие его растворов на растения 216
 — обменный и необменный 446—449, 486, 487
 Кальций 149, 521
 — азотнокислый 185—187, 189, 190
 — — понижающее влияние его на растворимость почвенной фосфорной кислоты 181
 — двууглекислый 215
 — — его свертывающее действие 438
 — замена его на натрий с целью увеличения подвижности азотистых соединений 374
 — и магний, соотношение между ними (благоприятное и неблагоприятное для растений) 461—468
 — и магний, теория О. Loew'a 461
 — насыщенность им поглощающего комплекса 374
 — необменный 446, 447
 — обменный 283, 446, 447, 483, 506, 521
 — — как закрепляющий азотистые и фосфорнокислые соединения почвы 506

- Кальций, особая роль его как обменного катиона в жизни почвы 453, 454
 — поглощенный 309—312, 410—412, 416, 433, 442
 — углекислый 215, 495—497
 — — влияние времени взаимодействия его с фосфатами на количество фосфорной кислоты, остающейся в растворе 258, 259
 — — влияние его на доступность растениям фосфорной кислоты 241
 — — влияние его на растворимость воднорастворимых фосфатов 256
 — — влияние его на растворимость почвенных и удобрительных фосфатов 12, 15, 17
 — — влияние его на растворяющее и разрушающее действие воды на почву, насыщенную различными катионами, 485, 487
 — — влияние его на растворяющее действие корневых выделений 19
 — — влияние его на растворяющее действие почвы 20
 — — влияние его на усвояемость горчицей и льном P_2O_5 фосфорнокислых солей кальция, алюминия и железа 181, 182, 184
 — — влияние его на усвояемость растениями фосфатов 257—268
 — — внесение для приостановления процесса деградации черноземов 369
 — — углекислый, вредное действие избытка его в зависимости от метеорологических условий 467
 — — защитное действие его на почву от разрушающего действия воды 365, 367, 370
 — — интервалы благоприятного и неблагоприятного действия 464, 465
 — — понижение доступности фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата 236
 — — понижение использования льном фосфорной кислоты почвы и внесенных фосфатов 245, 247
 — — понижение усвояемости свежесажженного фосфата в песчаных культурах 264
 — — растворимость его 309—313, 317
 — — сравнительное действие на различные фосфаты 257, 258
 — — устранение вредного влияния поглощенного алюминия на урожай 476—478
 Капиллярная вода 427
 Капиллярное поднятие воды 436
 Капиллярные поры (ходы) 427, 428, 434, 436, 437
 — пространства (капиллярная порозность почвы) 427, 428
 Карбонаты щелочноземельных металлов 430
 — — металлов, образование их в солонках 321
 Катионы 393, 394, 397—399
 Катионы, влияние их на структурообразовательные свойства почвенного поглощающего комплекса 518
 — возможность благоприятного влияния их на растения в малых количествах 455
 — вызывающие гибель растений при полном насыщении ими емкости поглощения почвы 454, 455
 — изучение стимулирующего или токсического действия их на растения 469, 470
 — их осаждающая сила 394
 — обменные 445—447
 — — влияние их на растения 489
 — поглощенные, зависимость состава от свойств почвенного раствора 307
 — — поглощенные, железо, алюминий 307, 308
 — — поглощенные, кальций, магний, водород и натрий 307
 — — поглощенные, состав и распространенность 307
 — почвенного раствора, свертывающая способность их 327
 — различная ядовитость их 230, 231
 — смесь рубидия, кадмия, марганца и кобальта, действие ее на урожай 471, 472
 Кислоты, ядовитость их для различных растений 207
 — действие их на растения 195—205
 — классификация их по вредности на растения 206
 Кислотность гидролитическая 522, 531
 — фосфорнокислого алюминия 151
 Клевер 196, 199, 204, 214, 360, 362, 422—424, 426, 428, 429, 435—438, 510, 522
 — биологические особенности 55
 — влияние его культуры на воздушный режим носовских почв 426
 — влияние его на водный режим носовских почв 435—437
 — влияние его на действие минеральных удобрений 440
 — влияние его на структурность носовских почв 435—437
 — влияние его на химические и физические свойства почвы 361
 — второй максимум, содержание в нем фосфорной кислоты 57—59
 — действие на него серной и павелевой кислот 204
 — — поглощенного марганца на урожай 474
 — его иссушающее действие на почву во время произрастания 440
 — использование им фосфорной кислоты 55
 — красный, потребность в фосфорной кислоте 55—69
 — малая способность усваивать фосфорную кислоту в первый период роста 67
 — первогодний, поглощение фосфорной кислоты 61

- Клевер первогодний, ход создания органического вещества 61
 — первый максимум содержания в нем фосфорной кислоты 57, 60
 — потребность в фосфорной кислоте 127
 — причины его влияния на структурность носовских почв 437
 — содержание в нем фосфорной кислоты в различные периоды его развития 56
 — чувствительность его к кислотности 205
 Клеверный пар 422, 435
 Клевероутомление 55, 56, 68
 — устранение его внесением фосфорнокислых удобрений 68
 — устранение его «отдыхом» почвы 69
 Клейкость почв 412
 Клеящая способность коллоидов 392, 410
 — — органических соединений 438
 — — почвенных частиц 430, 431, 433
 Коагуляция золя 401
 — обратимая 401
 Коллоидальная фракция 430, 431
 — часть почвы (коллоиды почвенные) 389, 391, 392, 395—397, 411, 431, 447
 — часть почвы, ее роль в образовании структуры 395
 — часть почвы ее роль в реакциях почвы с почвенной влагой 390
 Коллоидальное вещество почвы 397, 402, 403, 410, 434
 — состояние вещества 389, 392, 396, 397, 403
 Коллоидально раздробленное вещество 435
 Коллоидальные растворы 395, 396, 401—403
 — — гуминовых веществ 414
 — — их оптические свойства 395
 — — системы, изменение состояния 392, 393
 — — частицы 393, 395—397, 402, 410—412, 414, 431, 433, 434, 436, 437
 — — нормального чернозема 410
 — — клеящая их способность 411
 Коллоиды лиофильные или гидрофильные 401, 402
 — лиофобные или гидрофобные 401, 402
 — минеральные 397, 402
 — обратимые 401
 — органические 397
 — почвенные 402
 — — заряд их частиц 393, 394
 — — отрипательные 393
 — — положительные 393
 — свертывание или коагуляция 393, 394, 396, 438
 Корневые выделения клевера 438
 Корни растений, выделение углекислоты, сульфатов, хлоридов и органических соединений 281
 — — количество выделяемой углекислоты 284
 — — осаждающая и растворяющая их деятельность 269—285
 Корни растений, перевод ими в растворимое состояние нерастворимых почвенных соединений 269
 — — причина их растворяющего действия 275, 276, 281—284
 Костяная мука 12, 168, 169, 171, 180, 181
 Кремниевая кислота 396, 487
 Лен 40, 43, 45—47, 67, 108, 109, 132, 137, 150, 151, 157—162, 179—181, 188—191, 196, 199, 201, 225, 240, 241, 244, 494, 510, 511, 522
 — влияние азота на доступность почвенной фосфорной кислоты и на общие условия роста 188
 — внешний вид страдания растений от кислот 201, 202, 220
 — вредное влияние на него высокой концентрации почвенного раствора 65
 — действие на него различных доломитов 511
 — — на него различных фосфатов 179
 — — на него растворов едкого калия 217, 218
 — — насыщенного раствора гипса 224
 — — обменных кадмия и никеля 287
 — — поглощенного марганца 474
 — — растворов азотнокислого калия 223
 — — растворов азотнокислого кальция 223
 — — растворов сернокислого калия 223
 — — растворов сернокислого магния 224
 — — растворов хлористого калия 223
 — — растворов хлористого магния 223
 — использование им свежесаживаемого фосфата при избытке углекислого кальция 268
 — — нуждаемость в фосфорной кислоте в первый период роста 67
 — отрицательное отношение его к щелочности и кислотности 151
 — усвоение им фосфорной кислоты из фосфорнокислых туков 181
 Лесной суглинок 10, 416
 Лесс 388, 413, 429
 Литий 486, 487
 Льютоутомление 69
 Люцерна 199, 422
 — действие на нее серной и щавелевой кислот 205
 — — на нее растворов едкого калия 217, 218
 — — на нее растворов неорганических солей 224, 225
 — — насыщенного раствора гипса 226
 — — французская 205
 — — чувствительность ее к кислотности 206, 220
 Магнезит 495—498, 500, 501
 Магний и кальций, благоприятное и неблагоприятное соотношение между ними для растений 461—468
 Магний поглощенный, влияние его на растворяющее и разрушающее действие воды 487

- Магний, особое положение среди других поглощенных катионов 309—312
 — углекислый 494—498
 — его ядовитое действие на растения 495
 Макиевское опытное поле (его почвы) 387, 395, 403, 405, 409, 412, 414, 418
 — — поле, его солонды и солонцеватые почвы 403, 404, 414
 Макродисперсная система 392
 Макроструктура 41, 431, 437
 Максимальная производительность почв в сосудах 98, 99
 — — почвы 519, 524
 Марганец, влияние на урожай 469, 471, 473, 474
 — использование содержащих его рудных отбросов 479
 — обменный в почве 525
 Мел 150—153, 182
 Мелиорация кислых почв известью 525
 — коренная солонцов 341, 344—346
 — слабосолонцеватых почв 346
 — солонцов 416, 525, 526
 — солончаков 416
 Метод(ы) водной вытяжки 382
 — дисперсионные (получения коллоидов) 389
 — конденсационные (получения коллоидов) 389
 Механические элементы почвы 411
 Механический состав почвы 382, 383, 430, 436, 439, 442
 — — почв и обуславливаемая им структурность 431
 Микробиологические процессы 441
 Микродисперсные системы 392
 Микрорельеф, влияние его на свойства почвы 386, 387, 404, 405, 430
 Микроструктура 518
 Минерализация органического азота 423, 441
 — — азота в почвах майского и клеверного севооборотов 428
 Молекулярное притяжение 393
 Молекулярный (истинный) раствор 395, 396
 Навоз как фактор, способствующий рас-солонцеванию, 468
 Натриевые соли грунтовых вод, поднятие их вверх 321
 — — засоряющие солончак 323
 Натриевый солонец, злостный 526
 Натрий азотнокислый 490, 491
 — влияние на водопроницающую способность почвы 321
 — как обменный катион, насыщающий почву, 484, 486, 487, 525
 — катион, нестабилизирующее действие его 328
 — поглощенный (обменный) 316, 324—326, 330—333, 338, 339, 345, 347, 350, 403, 407, 409, 410, 412, 414—417, 431, 441, 484, 525
 Натрий, влияние его на растворяющее и разрушающее действие воды 487
 — влияние на физические свойства почвы 325, 326
 — сернокислый 321, 322
 — соды, циркуляция его в почве 320
 — уксуснокислый 207, 208
 — фосфорнокислый 11
 — хлоридов и сульфатов, циркуляция его в почве 320
 — хлористый 321, 322
 Некапиллярные пространства (ходы) 427, 428, 431, 435, 436, 437
 Неколлоидальная часть почвы 395
 Никель, действие на урожай 471, 473
 — обменный 488, 492
 Нитрификаторы 359
 Нитрификация 371, 419, 422, 428, 429, 483, 491
 — продукты 116
 — условия 116
 Нитрифицирующие бактерии 485
 Обменная емкость 484
 — способность почвы (почвенных частиц) 397, 447
 Обменные катионы почвы 484, 506
 — реакции в почве 302—304
 — — в растворах 302, 303
 — — между сложными и простыми солями почвы 304
 — — условия взаимного обмена катионами между растворенной солью и нерастворимой сложной солью 304
 Образование вредных веществ в почве при анаэробном разложении органического вещества 425, 426
 Овес 9—11, 33, 34, 36—40, 42, 44—46, 48, 103, 106—109, 111, 112, 116, 120, 129, 162, 176, 177, 179—181, 190, 191, 193, 196, 199, 204, 229, 240, 241, 247, 421, 422, 426, 435, 437, 451, 452, 454—456, 460, 476, 486, 490, 491, 494, 499, 510, 515, 522
 — действие алюминия 476
 — — поглощенного марганца на урожай 474, 475
 — — на него растворов едкого калия 217, 220
 — использование им трехкальцевого фосфата 264
 — использование им фосфорной кислоты солей кальция, алюминия, железа и натрия 177, 179
 — нуждаемость в фосфорной кислоте в первый период роста 67
 — отношение его к почве, целиком насыщенному каким-нибудь одним катионом 508
 — отношение его к солонцеватости почвы 405
 — потребность в фосфорной кислоте 127, 128
 — реакция на различные количества растворимой фосфорной кислоты 65

- Овес, характер страдания от кислотности 206, 220
 Однокальциевый фосфат 12, 16, 18
 Озимая рожь 11, 12, 421
 Окислительные и восстановительные процессы в почве 425, 429
 Опыт(ы) вегетационные, влияние количества гальки на дне сосуда на величину урожая 109, 110
 — — влияние степени уплотнения почвы в сосудах на урожай 108
 — — на почве, искусственно насыщенной водородом и алюминием 445, 446, 475, 476
 — — на почве с обменным марганцем 473
 — по действию на солонцеватых почвах серы, гипса и серной кислоты 351, 353, 354
 Опыт по изучению сравнительного плодородия различных почвенных горизонтов 111
 — с доломитом и магнезитом 462, 463, 464, 495, 500
 — с известкованием на почве, полностью насыщенной водородом 460, 511
 — с внесением питательных веществ в один и несколько приемов 100—102, 106
 — по изучению влияния различной влажности почвы на растения 100, 102
 — с насыщением почвы различными катионами, 449, 451, 452, 473
 Опыты с различными катионами, частично насыщающими почву 470—473
 — с частичной и полной заменой кальция магнием 455, 456
 Органическое вещество, влияние на урожай 150
 — — растворимость его 487
 — — содержание воднорастворимого в различных слоях почвы 117
 Органические кислоты 150
 — — роль их в растворяющей способности корней 277
 — — остатки, роль в вымывании кальция 310
 — — удобрения 483
 Орошение искусственное 439
 Ортофосфорная кислота 13
 — — ее диссоциация 13
 Осадители почвенных коллоидальных веществ 329
 Осаждающая сила катионов 394
 Основные свойства почвы 380
 — — удобрения 163
 Осолодевшие солонцеватые почвы 373
 Осолодцевание почвы скизу 321
 Осолодение 317—320
 Пар вико-овсяный 437
 — клеверный 422, 435
 — майский 422, 435, 436
 Первый минимум (в питательных веществах) 24, 27, 29, 38, 420, 421, 424, 425, 435, 439, 440
 Перемена минимумов 27, 29
 Песчаные культуры 409
 Питательные вещества, расчет нужного количества для урожая в сосудах 103—105
 Плодородие косовских черноземов 438
 — почвы 419, 423
 Поверхность почвенных частиц, обмен в них катионов 447
 Поверхностное натяжение 391, 393
 — — воды 209, 210
 — — раствора 209
 Поверхность коллоидов 393
 Повышение усвояемости фосфорной кислоты 150
 Поглощительная способность почвы 303, 304, 308, 320, 397, 398, 400, 432, 445, 446, 448
 Поглощение аниона карбонатов 320
 — — серной кислоты 320
 — — хлорида 320
 — катиона в зависимости от присутствия других катионов 205
 — катионов, зависимость от концентрации раствора 305—307
 — полное 306
 Поглощенные катионы (основания) 382, 397—399, 441
 Подзол(ы) 11, 12, 129
 — вторичные 415
 — первичные 415
 Полуторные окислы 486, 487
 Понижение усвояемости фосфорной кислоты трехкальциевого фосфата под влиянием мела 182
 Порозность капиллярная 427, 428
 — — и некапиллярная, соотношение между ними 439
 — некапиллярная 428, 431, 435, 438
 — общая 428, 439
 Потребность в удобрениях различных горизонтов почвы под овсом и клевером 112, 113
 Почва(ы), валовой состав минеральной части 381
 — влияние легкорастворимых солей на свойства 332
 — влияние легкорастворимых солей на образование соды 334
 — влияние на растения степени ее уплотнения в сосудах 109
 — воздействие на нее хлористого, сернокислого и углекислого натрия 322
 — вторичные подзолистые 373
 — гумус в ней 302
 — гумусная 396
 — Днепровского ледникового языка 373, 421, 432
 — девственные 385
 — засоленные, их улучшение 286—296
 — известкование 363, 369
 — коллоидальность 331
 — культурные 385
 — максимальная производительность ее в сосудах 98, 99, 106
 — мелкая (зернистая) структура ее 325, 326

- Почва(ы), механический состав 382, 383
- минеральная часть ее 381
 - минеральный и органический состав 380
 - насыщенные водородом 441
 - — натрием 321
 - — основаниями 521
 - несолонцеватые 387, 416
 - Носовской опытной станции, их особенности 358, 383, 395, 420, 421, 424, 425, 426, 428—437, 439
 - Носовской опытной станции, улучшение их агрономических свойств 434
 - носовские черноземы, их свойства 419, 423, 429
 - Носовской опытной станции, валовой состав 384
 - Носовской опытной станции, механический состав 384
 - Носовской опытной станции, содержание в них аммиака и нитратов 358
 - Носовской опытной станции, аммонифицирующая и нитрофицирующая способности их 358
 - Носовской опытной станции, действие фосфатов на озимы и яровые 360
 - Носовской опытной станции, повышение эффекта фосфатов после клевера 360
 - объемный вес ее 427
 - особенности простых солей ее 301, 302
 - — сложных солей ее 301, 302
 - оптимальные условия увлажнения 99
 - осолонцевание ее 321
 - переходные от чистых солончаков к чистым солонцам 334, 335
 - плодородие ее азотом 120
 - — ее в отношении фосфорной кислоты 127, 128, 130, 131
 - — ее каллем по различным горизонтам 130
 - поглощающий комплекс ее 310, 326, 330, 337
 - подзолистого типа 413
 - подзолистые 441
 - подзоловидная 416
 - подзолообразные, их образование из солонцов 414
 - причины неблагоприятности солонцеватых физических свойств ее для растений 325, 326
 - простые и сложные соли ее 301
 - разрушительное действие на нее воды 364
 - резко отрицательно относящиеся к известкованию 459
 - сильнооподзоленная 11
 - слабодегрированные 441
 - слабооподзоленная 10, 441
 - слабосолонцеватые 441, 442
 - содержание простых солей в различных климатических зонах 302
 - силикатная и гуматная часть ее 365
 - содержащая поглощенный натрий, эволюция ее 340
 - солонцеватого типа 413, 414
- Почва(ы) солонцеватые 374, 387, 526
- — деградация их 338
 - осолодевшие 373
 - солонцеватые, подвижность азотистых веществ в них 372
 - солонцеватые, содержание соды и растворимость гумуса в них 336
 - — физические свойства 332, 334
 - солончаковые 399—405, 413
 - структурность ее 517, 518
 - удельный вес ее 427
 - физико-химическая поглощательная способность 365
 - физическое состояние в зависимости от насыщающих ее катионов 326
 - черноземного типа почвообразования 383
- Почвенная влага 516
- Почвенные коллоидальные частицы 326—329
- — частицы, осаждаемые и распыление их 328
 - — частицы, положительные и отрицательные заряды 327
 - — коллоиды отрицательные 328
 - — поглощенные катионы 305, 307, 408, 409, 441
 - — растворы, влияние их реакции на растворимость фосфатов 20
 - — влияние состава катионов в них на растворимость фосфатов 20
 - — сложные соли, разрушение их водой и защитная роль простых солей 308, 309
 - — соединения труднорастворимые, зависимость растворимости от состава почвенного раствора 281
 - — соединения фосфорнокислые 146
 - — соли минеральных кислот 364
 - — соли легко-, средне- и труднорастворимые в воде, 364, 365, 381, 382
 - — неолитные основания 448
- Почвенный поглощающий комплекс 382, 397—401, 403, 406—412, 414, 415, 418, 431, 433, 434, 438, 441, 483, 484, 505, 507, 508, 517, 519, 523
- — комплекс, алюмосиликатная часть его 414, 415, 418
 - — комплекс, величина его 397, 398
 - — комплекс, гуматная часть его 413—415
 - — комплекс, его роль в процессах почвообразования 517
 - — комплекс, значение его для урожайности и поднятия производительности почвы удобрением и мелиорацией 577
 - — комплекс как источник соединений почвенного раствора 503, 504
 - — комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растением 527, 530
 - — комплекс, насыщенный водородом, 312
 - — комплекс, насыщенный кальцием и магнием, 310, 312

- Почвенный поглощающий комплекс, насыщенный кальцием, магнием и водородом, неустойчивость его 311
- — — комплекс, насыщенность его основаниями 347
 - — — комплекс, органическая часть его 412, 414, 440
 - — — комплекс разрушения его 311
 - — — комплекс, характеристика его 304
 - — — комплекс, энергия поглощения катионов 305
 - — — раствор 146, 192, 394, 397, 399, 400, 402, 403, 406—408, 433, 484, 519, 529
 - — — взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом, обратимость реакций 305, 306
 - — — влияние концентрации его на производительность почвы в сосудах 99
 - — — в области корневой системы, насыщенность его углекислотой 272
 - — — вред от повышенных концентраций 105
 - — — изменение его вследствие деятельности растений 281, 284, 285
 - — — изменимость его концентрации 146
 - — — концентрация его 108
 - — — различная скорость извлечения растением труднорастворимых соединений 285
 - — — состав его 305
- Проветривание почвы 439
- Произведение растворимостей 14, 17, 18
- Производительность (весовой единицы) почвы 24, 25, 32—36, 40, 438
- Простые (почвенные) соли 381, 382
- — — их роль в сохранении от разрушения водой почвенного поглощающего комплекса 366—369
 - — — определение количества методом водной вытяжки 382
- Процессы аммонификации в почвах Носовской опытной станции 358—360
- — — и нитрификации под влиянием известкования 363
 - — — засоления 401
- Процессы микробиологические 483
- — минерализации почвенного органического азота 441, 442
 - — — нитрификации 406, 483
 - — — в почвах Носовской опытной станции 358—360
 - — — оподзоливания 338, 339
 - — — осолодения 338, 339
 - — — влияние углекислого кальция 339
 - — — рассоления 401
- Пшеница 193, 422
- Рассоление солончака 401
- Рассолонаживание естественное 415
- Раствор истинный 403
- Растворимость почвенных соединений под влиянием углекислоты, выделенной растениями, 146
- — — фосфатов 147, 149
- Растворяющее действие корней 180
- — — корней на различные фосфаты 162
- Растворяющее действие почв на фосфат кальция 179
- — — углекислоты на трехкальциевый фосфат 147
 - — — углекислоты на фосфорнокислый алюминий 147
- Реакционная способность (почвы) 391, 397, 430
- Реакция взаимного обмена 397
- — — между катионом силиката (или гумата) и водородным ионом воды 365
 - — — зависимость ее от величины общей поверхности почвенных частиц 365
 - — — зависимость ее от концентрации водородного иона 366
 - — — зависимость ее от присутствия в воде других катионов и их концентрации 366
 - — — почвенного раствора 151
- Режим почвы водный 395
- — — воздушный 395
- Рожь 422, 436, 437
- Роль растений в растворении почвенных соединений 146
- Рубидий, влияние на урожай 471, 472
- Селитра 421, 422
- — — истощение ее залежей 70
 - — — натриевая 483, 491, 492, 515
- Сера, ее валовое содержание в черноземе 386
- — — содержание в растениях 386
 - — — методы ее определения 386
- Сероводород, влияние на всхожесть семян 72, 73
- Силикатная часть почвы, ее растворение 413, 432
- Силикаты 396
- — — взаимодействие с ионом воды 308
 - — — разрушение водой 308
 - — — разрушение водой, условия ускорения и замедления этого процесса 308, 309
- Сода 523
- — — влияние углекислоты на ее образование в солонце 335
 - — — влияние поглощенного натрия на ее образование в солонце 335
 - — — вредное влияние на растения 332
 - — — в солонцах 332
 - — — выщелачивание водой из солонца 332, 333
 - — — двууглекислая 335, 409, 417, 418, 432, 438
 - — — источник поглощенного натрия в почве 322
 - — — концентрация ее в почвенном растворе 318
 - — — нормальная 335, 409, 418
 - — — образование в бескарбонатных солонцах 334
 - — — — в карбонатных солонцах 333
 - — — в почве 332
 - — — препятствие к ее образованию в почве 334
 - — — происхождение в почве 287, 288

- Сода, роль в образовании солонцов 317—320
- содержание в почвенных грунтовых водах 321
 - ядовитость для растений 289
- Соли, влияние их на ядовитость кислот для растений 213—215
- кремневых, алюмокремневых и феррикремневых кислот (сложные соли) 381
 - простые 381, 382
 - распределение по степени их ядовитости для растений 229, 230
- Солоди 414
- Солодь из бескарбонатного и карбонатного солонцов 340
- Солонец 345, 387, 400, 401, 403—412, 415, 416, 431, 441
- бескарбонатный 332, 414, 415—417
 - — образование соды в нем 334
 - — самомелиорация 349, 350
 - борьба с их вредными особенностями 295
 - влияние количества углекислоты на образование в нем воды 335
 - — углекислого кальция на процесс осолодения 339
 - водонепроницаемость 329
 - водопропускающая способность 321
 - возникновение из солончака 288
 - воздушный режим 326
 - возможность полного рассолонцевания 353
 - временное улучшение 346
 - гипсование его (их) 295, 341, 343—345
 - гипсование, расчет нужного количества гипса 342
 - Днепровского языка 406
 - его бесструктурность во влажном состоянии 324, 325
 - заболоченный, причина заболачивания 290
 - изучение действия на них серы, гипса и серной кислоты 350, 351, 353, 354
 - и солонцеватые почвы, разрушение их органической и алюмосиликатной части под действием воды (их деградация) 413
 - и солонцовые почвы, образование в них соды 406—409, 412
 - карбонатность его 321
 - карбонатный 332, 415, 418
 - — вытеснение в нем поглощенного натрия при помощи серной кислоты 343
 - — образование соды в нем 333, 334
 - — рассолонцевание 348, 415, 416
 - — обеднение поглощающим комплексом в результате этого процесса 349
 - — самомелиорация 348, 350
 - — самомелиорация, приемы, ускоряющие ее, 348, 349
 - макиевские, их свойства 406, 412
 - Макиевского опытного поля 414, 416
 - макиевского типа, их мелиорация 417, 418
 - мелиорация 324, 341, 417
- Солонец(ы), мелиорация коренная 341, 344—346
- — коренная гипсованием 343, 345
 - — коренная, непригодность углекислого кальция для этой цели 341
 - — коренная серной кислотой и серой 344
 - меры понижения ядовитости соды 296
 - набухаемость 329
 - насыщенный натрием 329, 330
 - образование соды в них 332
 - особенности химизма 286
 - осолоделый 341
 - осолодение 339
 - периодические 403
 - подвижность соединений азота 372
 - подзолистый 316
 - постоянные 403
 - прием улучшения 295
 - приемы, уменьшающие его связность 295
 - происхождение, свойства, мелиорация 299
 - разрушаемость его поглощающего комплекса 337, 339
 - рассолонцевание 339
 - свойства физические 324, 329, 330, 332
- Солонец-солончак 331, 332, 335, 351, 352, 408
- Солонец, специфические, неблагоприятные для растений свойства 299
- типичный 331
 - удаление из деолитной части натрия 295
 - улучшение физических свойств 347
 - улучшение химических свойств 347
 - условия образования их 294
 - физические свойства 290, 294, 295, 409, 410
 - характеристика их 287—289
 - химические свойства 290, 294, 295, 406
 - черноземный 316
 - чистый (стадия чистого солонца) 332
- Солонцеватые почвы 387, 395, 400, 401, 403—414, 416, 418, 420, 421, 428, 431
- — Днепровского ледникового языка 413
 - — макиевские, их свойства 406
 - — их признаки 412
 - — их улучшение 416, 421
 - — периодические 403
- Солонцовые почвы 399
- Солончак(и) 400, 401, 403, 404, 408, 409
- влияние их физических и химических особенностей на растения 332
 - — кальциевых солей на содержание поглощенного натрия 315
 - — легкорастворимых солей на их свойства 331
 - засоленные только кальциевыми солями 323
 - — только натриевыми солями 323
 - кальцево-натриевый, приемы мелiorации 292, 293

- Солончак(ы) кальциево-натриевый, химические свойства 293, 294
 — кальциевые 314
 — эволюция их 317
 — классификация 289
 — мелиорация 289, 292, 322, 323
 — натриево-кальциевые 323, 331
 — натриево-кальциевые, приемы мелиорации 292, 293
 — натриево-кальциевые, результаты промывания водой 292
 — натриево-кальциевое, улучшение их 346
 — натриево-кальциевые, условия образования 312
 — натриево-кальциевый, установление нормы вносимого гипса 292, 293
 — натриево-кальциевая, эволюция 317
 — натриевый(е) 314, 331, 353, 401, 433
 — — изучение действия на них серы, гипса и серной кислоты 350
 — — мелиорация, особенности ее 289, 290
 — — превращение в щелочной солонец 290, 291
 — — улучшение их 290, 346
 — — характер неолитной части 290, 312
 — — эволюция 316
 — образование соды 334
 — основные свойства 313
 — особенность химизма 286
 — осолоделый 341
 — переход в солонец 316, 317
 — пестрота химического состава 350
 — пухлый, изменение физических свойств в результате промывания водой 291
 — — химический состав 291
 — распространение различных видов 289
 — рассоление их 322
 — результаты орошения 290, 294
 — смешанные 314
 Солончак-солонец-солодь 340
 Солончак, возникновение в результате орошения 300
 — распространение на территории СССР 299, 300
 — условия для выработки правильных приемов мелиорации 299, 300
 — соотношением между натриевыми солями и гипсом в них 323
 — состав катионов почвенного раствора 313, 314
 — — поглощенных катионов 314
 — — сернокислых вытяжек 353, 354
 — специфические, неблагоприятные для растений свойства 299
 — условия образования 313
 — физические свойства 331
 — характеристика 287—289
 — черноземный 316
 — чистый (стадия чистого солонца) 331
 — эволюция 340
 — — и мелиорация 313—320
 Состав обменных катионов, зависимость от него химических, физических и физико-химических свойств почвы 445
 — — катионов, зависимость от него роста растений и деятельности микроорганизмов 445
 Состав поглощенных катионов (оснований) 441, 442
 — почвы 380, 381
 Стабилизатор(ы) 327, 329, 331
 Стабилизирующее действие 394
 — — гидроксильного иона 328, 329
 — — едких щелочей 328, 329
 — — соды 328
 — — углесолей щелочных металлов 328, 329
 Стабилизирующий фактор 393, 394
 Степень дисперсности 389
 — — азотистых органических соединений почвы 441
 — — вещества 447
 Стимулянты 476, 479
 Стронций 517, 518
 — возможность замены им кальция 453—455
 Структура мелкокомковатая 411
 Структурность (структура) 392, 395, 412, 430, 431, 434—437, 442
 Структурные элементы (отдельности) 395, 409, 410, 430, 431, 432, 436, 437
 — — солонца 409
 Структурообразование 517, 518
 Структурообразовательные свойства почвенного поглощающего комплекса 518
 Суглинки лессовидные 388
 — флювиогляциальные 388, 395
 Суглинистый(е) подзол(ы) 114, 117, 120, 122, 130
 — чернозем(ы) 106—108, 111, 112, 114, 117, 120, 122, 130
 Суглинок оподзоленный 111, 112
 Суперфосфат 421
 — виды содержащейся в нем фосфорной кислоты 12
 Супеси флювиогляциальные 388
 Супесчаная морена 388
 Суспензии почвенные 437
 Теория Loew'a 461, 465
 — электролитической диссоциации 146
 Тимофеевка 10
 Томашлак 11, 12, 168, 169, 171, 180, 181, 421
 Торф 150, 151
 — абсорбтивная поглотительная способность его 150
 — влияние его на рост горчицы 150
 — влияние его на рост льна 154
 — изменение доступности растениям фосфорной кислоты фосфатов алюминия, железа и кальция 155
 — изменение под его влиянием ряда факторов вегетации: а) поглотительной способности; б) реакции среды; в) растворяющего действия почвы на фосфаты 154, 155
 Треста льна 46—48
 Трехкальциевый фосфат 13
 Туки фосфорнокислые 168, 180, 181
 — — степень усвоения их фосфорной кислотой горчицей, овсом и льном 180, 181

- Углекислота, влияние ее на количество переходящей в раствор фосфорной кислоты 146, 148
- — ее на растворимость трехкальциевого фосфата 19
 - — ее на урожай 275
 - — ее на усвояемость почвенных фосфатов и фосфорных удобрений 277
 - выделяемая корнями растений, влияние ее на растворимость трехкальциевого фосфата в присутствии углекислого кальция 265
 - — корнями, участие ее в растворении почвенных соединений 271
 - — корнями горчицы 146, 147
 - количество выделяемое корнями растений 271
 - отсутствие положительного действия на урожай растений 273—275
 - повышение растворимости ею кальциевых фосфатов в присутствии углекислого кальция 261—263, 265
 - повышение содержания ее в почвенном воздухе вследствие дыхания растений 271
 - присутствие в почвенной воде 269, 271—274
 - содержание ее в почве 146
 - фактор, ускоряющий естественное расщепление 418
- Углекислый кальций 147—153
- — влияние его на усиление растворимости фосфорнокислого алюминия 153
 - — влияние его на усиление щелочности почвенного раствора 153
 - — действие на доступность фосфорной кислоты почвы 9, 10
 - — понижение им доступности растениям фосфорной кислоты фосфорнокислых кальция, натрия и железа 162
- Углесоли, действие их на растения 493, 501
- кальция и магния 434, 493, 496
 - — и магния, их свертывающее действие на мелкие почвенные частички 432
 - — и магния, их способность понижать ядовитость вредных растениям соединений 426, 432
- Удельная поверхность 390
- Удобрения азотистые 483, 491
- — в нитратной форме 483
 - азотнокислые 191
 - органические 483
 - фосфорнокислые 191
- Уксусная кислота 210, 211
- — особенность ее абсорбироваться коллоидальными веществами клеток растений 210, 211
- Ультрамеханический анализ 389
- Ультрамикродисперсные системы 392
- Ультрамикроскоп 395
- Урожай различных растений на почве, полностью насыщенной водородным ионом 510
- горчицы по фосфорнокислому алюминию 149, 151
 - Урожай горчицы по фосфорнокислому железу 149, 151
 - — по фосфорнокислому кальцию 148, 151
 - льна по трехкальциевому фосфату 152, 154
 - — по трехкальциевому алюминию 153, 155
 - — по трехкальциевому железу 153, 155
- Усвояемость горчицей фосфатов 147
- — фосфорной кислоты 145, 146, 164—167, 182
 - — льном фосфорной кислоты 170, 171
 - — овсом фосфорной кислоты фосфорнокислых солей и фосфорнокислых туков 169
 - — фосфорной кислоты фосфорнокислых солей в присутствии различных источников азота в основном удобрении 185
- Факторы вегетации 378
- микробиологические 379
 - побочные, влияющие на рост растений 160, 161
 - почвенные 379
 - стабилизирующие и инстабилизирующие 327
- Фибрин 212
- зависимость набухаемости от состава анионов и катионов 213
 - набухаемость его в воде, в растворах солей, кислотах и щелочах 212
- Физико-химическая поглотительная способность почвы 397
- Физические методы исследования почвы 445
- свойства почвы 392, 394, 400, 411, 419, 431, 440
 - — почвы, зависимость их от состава поглощенных катионов 410, 412
 - — солонцов 409, 420
- Физическое состояние почвенного поглощающего комплекса 411
- Фосфат(ы) 421, 422
- алюминия 146, 149, 151, 152, 176, 190
 - — свежесажженный 150, 153
 - — влияние их на реакцию почвенного раствора 147
 - — двухкальциевый 12, 16, 18
 - — действие на него воды 141, 144
 - — на растение при равномерном смешении со всем песком сосуда 137, 141
 - — на растения при распределении их в слое песка 157
 - — железа 146, 149, 151, 152, 161, 176
 - — прокаленный 157, 158
 - — свежесажженный 149, 157
 - — кальция 19
 - — приготовленный по Даммеру 167
 - — приготовленный по Шлезингу 166
 - — однокальциевый 12, 16, 18, 240, 247
 - — прокаленный 148, 149, 150—152, 155
 - — просушенный 148—153, 155
 - — просушенные и прокаленные, действие на растения 141

- Фосфат(ы) растворимые, влияние углекислоты при взаимодействии их с углекислым кальцием 261, 263
- свежоесаженные 145, 150, 155, 157, 158
 - трехкальциевый 12—15, 132, 144, 146, 148, 151, 152, 176, 190, 191
 - трехкальциевый, влияние углекислого кальция на его усвояемость растениями 236
 - — отношение различных растений 264, 265
 - — приготовление 132
 - — прокаленный 236
 - — просушенный 236
 - — свежоесаженный 236
 - формы их в почве 12
 - — щелочных металлов 280, 281
- Фосфорит 12
- извлечение из него фосфорной кислоты под влиянием углекислоты, выделяемой при разложении навоза, внесенного в почву 272
 - куломзинский 168, 172, 180, 181
 - подольский 168, 172, 180, 181, 187, 191
- Фосфорная кислота 145—150, 176, 185, 186, 190, 255, 256
- — восприимчивость ее различными растениями 61
 - — доступность ее растениям в зависимости от температуры обработки фосфата 152
 - — ее валовое содержание в почвах по горизонтам 385
 - — количество ее, извлеченное льном из различных фосфатов 179
 - — количество ее, извлеченное овсом из различных фосфатов 177
 - — костяной муки 180, 181
 - — кривая поглощения ее различными растениями 67
 - — легкорастворимая, сравнительная потребность в ней различных растений 62
 - — лимоннорастворимая 10, 11, 21, 123, 127
 - — неосажденная, отношение к ней различных растений 265
 - — отношение между лимонно- и уксуснорастворимой 21, 22, 122, 123, 127
 - — параллелизм между потребностью и растворимостью ее в 2% лимоннокислой и 2% уксуснокислой вытяжках 127—129
 - — почвенная 181, 190, 385
 - — почвы, использование ее различными растениями 278—290
 - — процентное содержание ее в урожае льна по различным фосфатам 179
 - — процентное содержание ее в урожае горчицы и овса по различным фосфатам 179
 - — различных фосфатов, выпадение трехкальциевого фосфата при взаимодействии их с углекислым кальцием 263
- Фосфорная кислота различных фосфорнокислых солей, доступность ее растениям 145—191
- — растворимая, потребность в ней льна, овса и горчицы в различные периоды их развития 64
 - — расчет нужного для урожаев в сосудах количества 104, 105
 - — свежоесаженных фосфатов, доступность ее растениям 161
 - — содержание ее в общем урожае льна в присутствии и отсутствии углекислого кальция 245
 - — содержание в почвах извлекаемой 2% лимонной и уксусной кислотами 129
 - — содержание в усвояемой овсом и клевером форме в различных слоях почвы 123
 - — томасшлака 180, 181
 - — трехкальциевого фосфата 148
 - — в почве, уксуснорастворимая 10, 11, 21, 123, 127
 - — усвояемость ее из фосфорнокислых кальция, алюминия и железа 133—138
 - — усвояемость и растворимость ее в подзолах и черноземах 127—129
 - — форма, в которой она выпадает при взаимодействии растворимых фосфатов с известью 260, 261
 - — фосфорита, отношение к ней различных растений 278—280
 - — фосфоритов куломзинского и подольского 180, 181, 190
- Фосфорнокислое железо 132, 144, 145, 147, 149, 151, 157, 160, 161, 181, 182, 187, 190, 191
- Фосфорнокислые соединения железа и алюминия 12
- — параллелизм между растворимостью и доступностью для растений в черноземах и подзолах 129
 - — соли 131, 132
 - — доступность растениям фосфорной кислоты в них 131
 - — свежоесаженные, просушенные, прокаленные, опыты с ними 132
 - — удобрения, причины лучшего использования их после клевера на полях Носовской опытной станции 356
- Фосфорнокислый алюминий 18, 132, 144, 145, 147, 149, 151—161
- — кальций 145, 147, 148, 152, 157, 160, 161
 - — свежоесаженный 148
 - — натрий 147, 148, 150, 151, 176
- Фосфорнодихлоридная соль 168
- Фосфорноорганические соединения 12, 18, 21, 22
- — подзола 127
- Фосфоротрехкальциевая соль 145
- — понижение ее растворимости в присутствии углекислого кальция 235
- Фосфор почвы в первом минимуме 356, 357
- Фракции коллоидальная и неколлоидальная 430, 431, 447

Фракции носовских почв 431, 436

— песка 430, 431, 436

— почвы, их роль в водном и воздушном режимах 430, 431

— пыли 430, 431, 436

Химические свойства почвы 400, 412, 419, 440

— методы исследования почв 445

Хлориды 194

— их вредное действие 194

Цвет почв 412

Цианамид кальция, условия аммонизации его азота 79

— условия нитрификации его азота 79

— ядовитость его для растений 72, 90, 91

Чернозем(ы) 10, 11, 114—116, 127, 129, 412—414, 421, 433

— вторичные 373, 416

— деградация его 413—415, 433

— деградированные 415

— действие натриевых солей 375

— его поглощающий комплекс 410, 411

— замена небольшой части поглощенного кальция натрием 374

— несолонцеватый 398, 411, 412—414

— нейтральные 193

— нормальные 373, 374, 398—401, 404—406, 410, 411, 413, 414, 415, 441

— состав поглощенных оснований 441

— носовские 373, 398, 421, 424, 429, 433, 434

— данные его валового состава 385, 386

— их агрономические свойства 438

— несолонцеватые 384, 431

— песчаный 12, 45, 46, 48, 106, 108, 237, 256

— плодородие в отношении фосфорной кислоты различных горизонтов 130

— слабосолонцеватый 404

— содержание в нем валовой фосфорной кислоты 385

— солонцеватый 411, 413, 414

— состав поглощенных катионов в нем 399

— среднесуглинистый 442

— суглинистый 9, 45, 46, 48

— тульский тучный 446

— тучные 397, 448

— каменистой 485, 488, 490, 499

Черноземные почвы области Днепровского ледникового языка 416

Чилийская селитра 421

Шавелевая кислота 210, 211

Щелочи, действие их на растения 215, 216

Щелочоземельные металлы 441

Щелочность почвенного раствора 215, 406

Щелочные соединения почвы

(гуминовые щелочи, кремневокислые щелочи, нормальные карбонаты щелочных металлов, двууглекислые щелочные соли) 215

Щелочность, влияние ее на растения 215

Эволюция почвы, содержащей поглощенный натрий 340

— солонцов и солонцеватых почв 413

Электрический заряд коллоидальных частиц почвы 326, 393, 394

Электролит(ы) 181, 192, 393, 394, 395, 401

Электролитическая диссоциация кислот (азотной, ортофосфорной, серной, соляной, уксусной, щавелевой) 13, 15, 195

— теория 146

Электролитический порог (почвы, иона) 321, 327, 328, 329, 331, 393

Энергия кущения 39

— поверхности 391, 392

— поглощения катионов 399

— тепловая 392

— электрическая 392

Эспаршет 422

Явления ненасыщенности основаниями поглощающего комплекса в носовских почвах 432

Ядовитость дистиллированной воды для организма 194, 195

— солей тяжелых металлов 194

— кислот для растений 211

— ионов 231

Ядовитые для растений вещества, содержание их в почве 425, 426, 431

Ячмень 40, 41, 45, 46, 48, 199, 437

— внешние признаки страдания от кислот 204, 206

— в опыте с крупнозернистой почвой 100—104

— в опытах по применению серы, серы с углекислым кальцием, серы с гипсом и серной кислоты на натриевых солончаках 354

— действие на него сильных кислот 203

— ортофосфорной и уксусной кислот 203

— растворов едкого калия 217, 218, 220

— растворов неорганических солей 224, 228

— щавелевой и лимонной кислот 204

— переносимая концентрация сильных кислот 203

— чувствительность его к кислотам 203

— Шавалье 205

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аболин Р. И. 291
 Альтгаузен Л. 458
 Базилевич Н. И. 299
 Богданов С. 38, 61, 285
 Бобко Е. В. 380
 Вольская А. Н. 493
 Гильгард 287, 295
 Глинка К. Д. 286
 Германов Ф. Н. 493
 Густавсон Г. Г. 18
 Дояренко А. Г. 276, 282—284, 461
 Дружинин Д. В. 367
 Дьяконов Н. 55
 Заев П. П. 521
 Захаров С. А. 21
 Иванова Е. Н. 299
 Каппен 529
 Катыльмов М. В. 380, 381
 Кедров-Зихман О. К. 380, 468, 530
 Ковда В. А. 299
 Коновалов И. 461
 Коссович П. С. 55, 146, 271, 278, 279
 Костычев П. А. 18
 Лев О. 461, 507
 Лосев П. Г. 94
 Митчерлих 284, 277
 Мюнц 275
 Набоких А. 193, 195
 Нерст 283
 Орловский Н. В. 299
 Петербургский А. В. 530
 Пейве Я. В. 380
 Полюнов Б. Б. 387
 Прасолов Л. И. 293
 Прянишников Д. Н. 236, 237, 263, 276, 282, 530
 Ратнер Е. И. 530
 Серебряков Б. 531
 Скалов Б. 193
 Соколов Н. И. 521
 Тер-Степанов 421, 424
 Томс 385
 Тулайков Н. М. 193, 291
 Школьник М. Я. 380, 381
 Шмидт 385
 Шулов И. С. 281, 282, 284
 Яковлева В. В. 380
 Ярусов С. С. 530
 Aberson 282—284
 Bell 147
 Bemmelen van 210
 Birkeland 275—277
 Bredig 71
 Bretschneider 61, 67
 Breuner W. 367
 Cameron F. 13, 15, 17, 19 145, 147, 195
 Carlson 71
 Caro 70
 Cornu F. 210
 Czapck Fr. 282
 Dernoscheck A. 195, 211
 ietrich 56, 61
 Dorsch K. 79
 Duclaux G. 210
 Eyde 70
 Feilitzen 80
 Foerster 71
 Frank 70
 Freundlich H. 208, 210
 Gaudechon 275
 Gerbach M. 20
 Gibbs W. 208
 Greaves J. E. 422
 Haberlandt Fr. 24, 36
 Hals S. 79
 Haselbaff 71—73
 Headden W. P. 375
 Hellriegel 25—33
 Hilgard 523
 Holborn 231
 Hurst L. 17, 145
 Jmmendorf 71, 73, 80, 83
 Jacoby 71
 Kappen H. 70, 71, 73, 74, 77, 79, 83
 Kahlenberg 195
 Kempiski 73, 80
 Kohlrausch 231
 König H. 82
 Kraus C. 25, 26, 32
 Kühn 62
 Küllenbergl 61, 67
 Kunze. 282
 Lain 70
 Lachowicz 147
 Lan Erich 146, 271

Lefort 275
Lemmermann O. 26, 33, 36
Lewites S. 194
Liebscher 56 61, 62
Loeb J. 193, 195
Loew O. 9, 76, 461, 462, 465, 524
Löhnis 71, 74—77, 79
Long D. 213
Longbridge 193

Masius 210
Malpeaux 275
Mattson 504
Maxwell W. 195
Maze 281
Mayer D. 461
Milner 208
Mitscherlich E. 255, 273, 274, 276
Moore G. 212
Morawitz H. 195, 211, 234
Münz 70
Müther 71, 74, 77

Osterhout W. 193
Ostwald Wo. 194, 195, 211, 234

Pauli W. 194, 195
Peters E. 24, 36

Perotti 71, 76
Pfeifer 275—277
Polzenins 71
Popp M. 79

Röntgen W. 79
Rousselle 275

Sabaschikoff 74, 75
Samuels D. 350, 354
Seelhorst 71, 74, 77, 83, 91
Seidell A. 13, 15, 19
Simmernacher W. 236, 237
Schloesing J. 146, 148, 162
Schneider J. 209
Schulze B. 22, 71, 74
Stutzer 80

Tacke 80
Thielebein 73
Thomas H. 213
Thomsen I. 208
True 195
Truog 272

Ulpiani 71, 76

Wagner 61, 71, 79, 80, 82, 90
Wollny 24, 36

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к III тому	5
ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (1905—1917 гг.)	
<i>Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений</i>	9
I. Влияние углекислого кальция на растворимость почвенных и удобрительных фосфатов	12
II. Влияние углекислого кальция на растворяющее действие корневых выделений	19
III. Влияние углекислого кальция на растворяющее действие почвы	20
<i>Влияние объема почвы и густоты посева на потребность растений в питательных веществах</i>	23
1. Влияние объема почвы	24
2. Влияние густоты растений	40
<i>Потребность красного клевера в фосфорной кислоте в связи с ходом восприятия этого вещества и явлением клевероутомления почвы</i>	55
I. Содержание фосфорной кислоты в клевере в различные периоды его развития	56
II. Сравнительная потребность клевера, льна, овса и горчицы в легкорастворимой фосфорной кислоте	62
<i>Опыты с известковым азотом</i>	70
I. Действие известкового азота на овес в зависимости от времени и способа внесения его и от характера почвы	82
1. Влияние способа внесения известкового азота	84
2. Влияние времени внесения известкового азота	84
3. Сравнительное действие азота азотнокислого кальция и цианмида кальция в зависимости от характера почвы	87
II. Действие известкового азота на подзолистой почве под различными растениями	91
<i>К методике вегетационного опыта</i>	98
I. К вопросу о максимальной производительности почв в сосудах	98
1. Опыт с крупнозернистой песчаной почвой из парка Лесного института со всем песком сосуда	100
2. Опыт с постепенным внесением питательных веществ	106
II. Влияние степени уплотнения почвы в сосудах на урожай растений	108
III. Влияние количества гальки, помещаемой на дно сосуда, на величину урожая	109
<i>Сравнительное плодородие различных почвенных горизонтов</i>	111
<i>Доступность растениям фосфорной кислоты различных фосфорнокислых солей</i>	131
I. Опыты на бесплодном кварцевом песке	131
а) Действие на растения фосфатов при равномерном смешении их со всем песком сосуда	139
б) Действие на растения фосфатов при распределении их в слое песка	157
Выводы	160
II. Опыты на песчаном черноземе	162
Общее заключение	190
<i>Материалы к вопросу о влиянии на растения кислот, щелочей и некоторых неорганических солей</i>	192
I. Действие кислот на растения	195
Горчица	196
Лен	200

Вика обыкновенная	201
Ячмень	203
Овес, люцерна и клевер	204
Общее заключение о действии кислот на растения	205
II. Действие на растения щелочей	215
Действие на растения растворов едкого калия	216
III. Действие на растения неорганических солей	220
Горчица	220
Лен	223
Люцерна	224
Вика	226
Ячмень	227
Овес	229
Заключение о действии испытанных солей на растения	229
Общее заключение	232
<i>Влияние углекислого кальция на усвояемость растениями и на растворимость воднорастворимых фосфатов</i>	<i>235</i>
A. Вегетационные опыты 1911 г.	237
I. Опыты на песчаном черноземе	237
1. Лен	244
2. Овес	249
3. Горчица	250
II. Опыты на подпочве суглинистого чернозема Тульской губернии	251
B. Влияние углекислого кальция на растворимость воднорастворимых фосфатов	256
C. Вегетационный опыт 1913 г.	267
<i>О растворяющей и осаждающей деятельности корней растений</i>	<i>269</i>
<i>Засоленные почвы и их улучшение</i>	<i>286</i>
I. Солончаки	289
II. Солонцы	294
ИССЛЕДОВАНИЯ НА НОСОВСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ (1922—1930 гг.)	
<i>Солончи, их происхождение, свойства и мелиорация</i>	<i>299</i>
Предисловие	299
Введение	301
Простые и сложные соли почвы	301
Обменные реакции в растворах и в почве	302
Почвенные поглощенные катионы	307
Разрушение водой сложных солей почвы и защитная роль простых солей	308
Особое положение кальция и магния среди других поглощенных катионов	309
Солончаки, их эволюция и мелиорация	313
Основные свойства солончаков	313
Эволюция солончаков	316
Роль соды в образовании солонцов	317
Мелиорация солончаков	322
Солонцы, их эволюция и мелиорация	324
Свойства солонцов	324
Физические свойства солонцов	324
Химические свойства солонцов	332
Подвижность поглощающего комплекса солонцов	336
Осолонение солонцов	338
Эволюция почвы, содержащей поглощенный натрий	340
Мелиорация солонцов	341
Коренная мелиорация солонцов	341
Временное улучшение солонцов	346
Самомелиорация солонцов	348
Дополнение	350
<i>К вопросу о причинах лучшего использования растениями фосфорнокислых удобрений на полях Носовской опытной станции после культуры клевера</i>	<i>356</i>

Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция	363
Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений	378
Почвенные коллоиды и солонцеватость почв	378
Введение	378
Глава I. Основные свойства почвы	380
Глава II. Основные свойства почв Носовской сельскохозяйственной опытной станции	383
Глава III. Солонцеватые почвы района Носовской станции и генезис несолонцеватых почв этого района	387
Коллоидальное состояние вещества	389
Коллоидальная часть почвы	396
Солончи и солонцеватые почвы Макеевского опытного поля	403
Свойства солонцов и солонцеватых почв Макеевского опытного поля	406
Глава IV. Агрономические свойства носовских черноземов	419
Влияние культуры клевера на воздушный режим носовских почв	426
Причины неудовлетворительного воздушного режима в носовских почвах	429
Глава V. Зависимость агрономических свойств почв от климата и погоды	438
Подвижность азотистых соединений почвы и почвенные поглощенные катионы	441

ИССЛЕДОВАНИЯ НА ДОЛГОПРУДНОМ ОПЫТНОМ ПОЛЕ (1930—1932 гг.)

ПОЧВЕННЫЕ ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ И РАСТЕНИЕ

Доступность растению кальция, магния и калия, находящегося в почве в состоянии, к обмену неспособном. Отношение растения к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы	445
Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве	457
Влияние на урожай марганца, алюминия и некоторых металлов, введенных в почвенный поглощающий комплекс в различных количествах	469
Поглощенный аммоний как источник азота для растений и действие его на почву	482
Действие на растения углесоей кальция и магния	493
Работы агрохимического отдела НИУ по взаимоотношению между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением	503
Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация	516
Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растением	527
По поводу статьи проф. Б. Серебрякова «Гидролитическая кислотность и известкование почв»	531
Тематический план по группе акад. К. К. Гедройца на 1933 г.	534

УКАЗАТЕЛИ, БИБЛИОГРАФИЯ

Список работ акад. К. К. Гедройца, помещенных в настоящем издании избранных его сочинений	539
Предметный указатель	541
Именной указатель	556

К. К. Гедройц. Избранные сочинения. Том III.

Редактор-составитель С. Г. Шедерое. Художник Е. Н. Кован.

Художественный редактор Л. П. Муштакова.

Технические редакторы В. И. Певзнер и А. И. Баллод.

Корректор М. Н. Перхурс

* * *

Сдано в набор 26/IV 1955 г. Подписано и печатно 8/IX 1955 г. Т 07538. Бумага 70×108 1/16. Печ. л. 35 (47,95)+1 вклейка. Уч.-изд. л. 48,4. Тираж 12 000 экз. Заказ № 920. Цена 15 руб.

* * *

Сельхозгиз. Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., д. 3.

16-я типография Главполиграфпрома Министерства культуры СССР.
Москва, Трехпрудный пер., 9.