0-133 П.64а

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА ИМ. В. В. ДОКУЧАЕВА

П64

ТОМ XXXIII

РАБОТЫ ПО АГРОХИМИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

63
48220
Р-133
Работы по агрохимии.
22р.-
7/IV 88 Эсенбаев

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА ИМ. В. В. ДОКУЧАЕВА

ТОМ XXXIII

РАБОТЫ ПО АГРОХИМИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

ОТВЕТСТВЕННЫЕ РЕДАКТОРЫ:

директор Почвенного института член-корр. АН СССР И. В. Тюрин, профессор доктор А. В. Соколов, доктор Д. Л. Аскинази

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик Л. И. Прасолов (председатель), *академик Б. Б. Полынов, профессор доктор И. Н. Антипов-Каратаев* (зам. председателя), *член-корр. АН СССР И. П. Герасимов, профессор доктор М. М. Кононова, профессор доктор Ю. А. Ливеровский и канд. геол.-мин. наук Т. Ф. Якубов*

48220

Библиотека Кишиневского Филиала А.Н. СССР

ПРЕДИСЛОВИЕ

Разработка вопросов применения удобрений на основе всестороннего изучения почвы и ее основного свойства — плодородия является одной из важнейших задач научно-исследовательской работы Почвенного института Академии Наук СССР.

Определение общих запасов необходимых растениям основных питательных элементов в почве и прежде всего фосфора в его различных формах, выяснение степени доступности для растений почвенных фосфатов, с одной стороны, и эффективности различных приемов внесения фосфорных удобрений, с другой,— имеют большое научное и народнохозяйственное значение для подъема сельскохозяйственного производства нашей страны. Не меньшее значение имеют установление вредной для растений степени кислотности почв и путей устранения ее на фоне травопольных севооборотов, комплексное изучение применения удобрений под различные культуры, в том числе микроудобрений, при всестороннем изучении почвы и влияния удобрений на ее свойства и на развитие растений.

Работы, публикуемые в настоящем томе Трудов Института, и посвящены разработке этих вопросов.

В работе Д. М. Хейфец приведены первые попытки подсчета общих запасов органических и минеральных фосфатов в различных почвах. В исследовании Д. Л. Аскинази и К. Е. Гинзбург изучалось поглощение фосфатов в почве различными компонентами, причем установлены характер фиксации фосфора глинистыми минералами, присутствие которых можно ожидать в почве, а также и доступность для растений этих поглощенных фосфатов. Д. В. Федоровский и Д. М. Хейфец, на примере культуры льна, показали, что эффективность различных доз и способов внесения удобрений в почву зависит от соотношения в ней усвояемых форм азота и фосфора.

В работе Л. И. Кораблевой установлено значение магния как элемента, устраняющего вредное действие кислотности почвы на ряд сельскохозяйственных растений. Применение магниевых удобрений одних или совместно с малыми дозами извести, в особенности под картофель, на супесчаных почвах, а также под чай и цитрусовые, необходимо испытать в широком масштабе в производственных условиях.

Исследования В. Н. Прокошева и П. И. Никишкиной показали, что уменьшение кислотности почвы при внесении органических удобрений — навоза и зеленого удобрения — имеет большое практическое значение не только при внесении больших доз удобрений в овощеводстве, но и в обычных условиях травопольных севооборотов с использованием в них сидератов.

Некоторой попыткой полного и всестороннего освещения вопросов применения удобрения, включая микроэлементы, является работа И. Г. Важенина и И. П. Сердобольского.

Вопросы познания генезиса почв с точки зрения изменения их основного свойства — плодородия применительно к серым лесным почвам и типичным черноземам—рассматриваются в работах А. А. Лазарева и Н. И. Болотиной. Наконец, в работах В. В. Церлинг и И. С. Турковой исследуется влияние азотных подкормок и соотношения питательных элементов на урожай растений и его структуру.

В комплексе с другими исследованиями агрохимические работы помогут построению правильной системы питания растений в полевых условиях. Опубликование работ настоящего тома имеет целью помочь разработке этой большой и сложной проблемы.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Д. М. ХЕЙФЕЦ

ЗАПАСЫ ФОСФОРА В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВАХ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

Для определения плодородия почвы и ее генезиса необходимо иметь данные о запасах в ней валового фосфора и о распределении этих запасов между органическими и минеральными соединениями почв.

Целью данной работы было: 1) вычислить абсолютные запасы валового фосфора в почвах на основании имеющихся в литературе материалов о процентном содержании его в различных почвах Советского Союза и 2) установить, хотя бы ориентировочно, запасы в почвах фосфора, связанного с органическим веществом. Выполнение второй задачи заставило нас использовать литературные данные не только о содержании фосфора, но и о содержании гумуса в тех же разрезах.

Следует отметить, что методы определения в почве валового фосфора весьма разнообразны, применение того или иного метода в ряде случаев предопределяет результаты анализа; отсутствие в использованной литературе указаний на применяемый метод исследования лишило нас возможности критически подходить к цифрам с этой точки зрения. Цифры, резко выходящие из ряда обычных, нами не использовались.

Методика пересчета заключалась в следующем: из цифр процентного содержания фосфора для определенного генетического горизонта каждой почвы с помощью данных объемного веса этого горизонта и его толщины в сантиметрах получались величины запасов валового фосфора в данном горизонте в тоннах на гектар. Затем полученные цифры для всех горизонтов данного разреза до нужной глубины суммировались, в результате чего получался общий запас валового фосфора в почве. Та же работа производилась и для вычисления запаса гумуса в этой же почве. Из полученных таким образом данных для ряда разрезов вычислялись средние величины, представленные в табл. 1. При отсутствии данных объемного веса соответствующие цифры были взяты из работы Лебедева и Бауковой (1930).

В табл. 1 приводятся средние величины запасов валового фосфора и гумуса в 100, 50 и 20 см слоях почвы. Как правило, цифры фосфора и гумуса даны для одних и тех же разрезов.

Из данных этой таблицы видны близкие количества фосфора в подзолистых почвах, независимо от степени их оподзоленности; далее наблюдается нарастание запасов фосфора от серых лесостепных к выщелоченным и мощным черноземам, некоторое снижение на обыкновенных, южных и западно-предкавказских черноземах и снова нарастание — на каштановых почвах и сероземах. Запасы валового фосфора на красноземе так же невелики, как и на подзолистых почвах.

Таблица 1

Запасы валовой P_2O_5 и гумуса в 100, 50 и 20 см слоях различных почв (в т/га)

Почвы	Запасы в слое						Число разрезов, использованных для получения средних данных
	100 см		50 см		20 см		
	Валов. P_2O_5	Гумус	Валов. P_2O_5	Гумус	Валов. P_2O_5	Гумус	
Сильноподзолистые *	11	92	6.1	61	2.58	44	15
Среднеподзолистые	11	112	5.0	87	2.34	58	23
Слабоподзолистые	10	107	4.6	81	2.10	56	14
Серые лесостепные	13	161	6.0	110	2.48	59	17
Темносерые	15	341	7.8	232	3.12	114	11
Черноземы оподзоленные	16	448	7.5	257	3.45	121	15
» выщелоченные	20	536	11.4	395	4.65	174	10
» мощные	20	664	10.8	436	4.43	193	16
» обыкновенные	16	430	—	—	3.70	166	34
» южные	15	348	8.1	280	3.53	145	18
» зап.-предкавказские	15	419	8.5	262	3.48	114	9
Темнокаштановые и каштановые	18	252	9.7	171	3.63	73	20
Светлокаштановые	24	179	11.1	125	4.07	59	12
Сероземы темные	18	147	9.1	112	3.78	69	8
» типичные	17	79	8.9	60	4.20	34	7
» светлые	18	68	10.8	52	5.41	30	13
Красноземы	10	242	5.6	183	2.51	106	13

* Почти все подзолистые почвы, разрезы которых использованы в данной работе, являются дерново-подзолистыми. К сожалению, ранее при описании подзолистых почв они не разделялись на собственно подзолистые и дерново-подзолистые, поэтому мы сохранили названия, принятые авторами соответствующих работ.

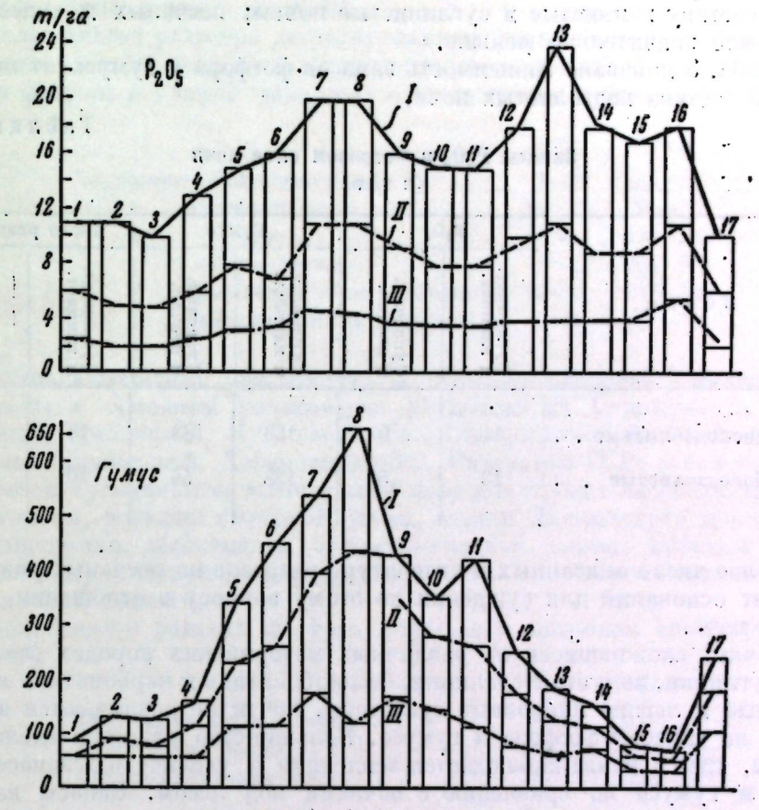
Таблица 2

Запасы гумуса в метровом слое почвы (в т/га)

Почвы	По данным		Число * использованных «общих» разрезов
	автора	Н. И. Болотиной	
Сильноподзолистые	92	101	6
Среднеподзолистые	112	94	11
Слабоподзолистые	107	104	7
Серые лесостепные	161	175	1
Темносерые	341	296	3
Черноземы оподзоленные	448	452	5
» выщелоченные	536	549	7
» мощные	664	709	5
» обыкновенные	430	426	7
» южные	348	312	13
» зап.-предкавказские	419	391	6
Темнокаштановые и каштановые	252	229	5
Светлокаштановые	179	156	2
Сероземы темные	147	128	} 17
» типичные	79	83	
» светлые	68	67	
Красноземы	242	282	6

* Число разрезов, использованных нами в одной, так и в другой работе, из числа разрезов, указанных в табл. 1.

Кривые запасов валового фосфора и гумуса для трех последних типов почв резко расходятся, в то время как в отношении остальных почв эти кривые имеют общее направление (см. рисунок).



Запасы P_2O_5 и гумуса в различных почвах в т/га

I — в метровом слое; *II* — в 50 см; *III* — в 20 см; *1* — почвы сильноподзолистые; *2* — среднеподзолистые; *3* — слабоподзолистые; *4* — серые лесные; *5* — темносерые; *6* — чернозем оподзоленный; *7* — выщелоченный; *8* — мощный; *9* — обыкновенный; *10* — южный; *11* — западнопредкавказский; *12* — почвы темнокаштановые; *13* — каштановые и светлокаштановые; *14* — сероземы темные; *15* — типичные; *16* — светлые; *17* — красноземы.

Насколько же точно характеризуют отдельные типы почв полученные нами данные запасов валового фосфора и гумуса?

Для суждения об этом мы обратились к сравнению этих данных с данными И. В. Тюрина (1937) и Н. И. Болотиной (1947). Величины средних запасов гумуса в подзолистых и лесостепных почвах, а также черноземах выщелоченных и обыкновенных, полученные в нашей работе, очень близки к данным И. В. Тюрина. В табл. 2 сопоставлены данные запасов по гумусу наших пересчетов с таковыми же в работе Н. И. Болотиной.

Хотя средние величины этих запасов гумуса были вычислены в основном из различных материалов, можно отметить хорошее совпадение этих данных, что до известной степени характеризует и их типичность.

Остановимся на краткой характеристике почвенных разрезов, использованных для расчетов запасов фосфора и гумуса.

Подзолистые почвы в основном представлены почвенными разрезами из Ленинградской, Вологодской, Московской, Ивановской, Калининской, Смоленской, Витебской, Горьковской, Могилевской обл., Чувашской АССР и Карело-Финской ССР. Наибольшее число разрезов по механическому составу глинистые и суглинистые почвы; песчаных и супесчаных почв было значительно меньше.

В табл. 3 показана зависимость запасов фосфора и гумуса от механического состава подзолистых почв.

Таблица 3

Запасы P_2O_5 в метровом слое почв (в т/га)

Почвы	P_2O_5		Гумус		Число разрезов	
	Суглинист. и глинист.	Супесчан. и песчан.	Суглинист. и глинист.	Супесчан. и песчан.	Суглинист. и глинист.	Супесчан. и песчан.
Среднеподзолистые . .	11	9	123	83	18	5
Слабоподзолистые . . .	13	5	138	56	10	4

Малое число описанных в литературе разрезов на песчаных разностях не дает оснований для суждения по этому вопросу в отношении других типов почв.

Почвы, сложившиеся на различных материнских породах (лёссовидные суглинки, валунные суглинки, бескарбонатная и карбонатная морена, тяжелые и легкие покровные суглинки), почти не различаются друг от друга по запасам фосфора и гумуса. Большинство разрезов сделаны на пашне, где в почве наблюдается тенденция к увеличению запасов фосфора и гумуса по сравнению с почвами под лесом. Запасы валового фосфора и гумуса колеблются (в т/га):

	P_2O_5	Гумус
Сильноподзолистые почвы	7—18	55—165
Среднеподзолистые »	5—14	59—178
Слабоподзолистые »	5—17	51—228

Серые и темносерые почвы представлены почвенными разрезами из Московской, Рязанской, Горьковской, Тульской, Киевской, Подольской, Винницкой и Саратовской обл. и Чувашской АССР, по механическому составу почти все суглинистые, изредка глинистые; количество использованных разрезов на пашне и под лесом почти одинаково. Запасы валового фосфора и гумуса независимо от материнской породы (лёссовидные суглинки и глины, покровные суглинки, элювиальные пермские мергели) колеблются (в т/га):

	P_2O_5	Гумус
Серые почвы	7—17	111—200
Темносерые почвы	13—23	172—494

Черноземы представлены почвенными разрезами из Тамбовской, Горьковской, Ивановской, Курской, Саратовской, Куйбышевской, Киевской, Волынской, Подольской, Винницкой, Херсонской, Кубанской, Ростовской и Воронежской обл., Чувашской АССР и Татарской АССР.

По механическому составу они, в основном, глинистые и тяжелосуглинистые; материнскими породами служат лёссы, покровные палево-желтые глины, речной делювий.

Большинство разрезов деградированных черноземов заложено в лесу, а выщелоченных, мощных и обыкновенных — на пашне. Колебания в запасах фосфора и гумуса выражаются следующими цифрами (в т/га):

	P_2O_5	Гумус
Черноземы оподзоленные	7—22	152—471
» выщелоченные	14—25	251—695
» мощные	14—25	459—853
» обыкновенные	8—22	268—602
» южные (тяжелые разности)	11—24	298—488
» южные (легкие разности)	7—8	250—331

Темнокаштановые, каштановые и светлокаштановые почвы представлены в основном почвенными разрезами из Саратовской, Куйбышевской, Ростовской, Кубанской обл., Ставропольского края, частично почвами Чкаловской, Херсонской обл., Казахской ССР; в основном глинистые и суглинистые; материнской породой служат лёссовидные глины и суглинки, делювий сыртовой глины, осадки Хвалынского моря, карбонатнопористая лёссовидная буровато-палевая глина; никакой зависимости между запасами фосфора и гумуса в этих почвах и материнской породой не наблюдается.

Колебания в запасах фосфора и гумуса в метровом слое следующие (в т/га):

	P_2O_5	Гумус
Темнокаштановые почвы	6—30	206—369
Каштановые почвы	11—25	125—290
Светлокаштановые почвы	11—32	132—237

Сероземы Средней Азии по механическому составу легкие и тяжелые пылеватые суглинки и глинистые. Материнской породой служат лёссы гипсированные, пылевато-лёссовидные суглинки, доломит, элювий гранита.

Количество фосфора и гумуса колеблется в следующих пределах (в т/га):

	P_2O_5	Гумус
Сероземы темные	12—26	90—167
» типичные	10—23	70—170
» светлые	10—25	55—117

Красноземы представлены почвами Грузии с опытных участков совхозов Чаква, Анасеули, Очхамури, Гонио, Нотанеби, Халвашн. По механическому составу — это глинистые и суглинистые почвы; материнскими породами служат андезитовый туф, зебровидная глина, валунный суглинок, красноватая кора выветривания изверженных и слоистых пород.

Количество фосфора и гумуса колеблется: от 5 до 17 т/га P_2O_5 и от 115 до 390 т/га гумуса.

В табл. 4 приведены цифры среднего процентного содержания валового фосфора и гумуса в пахотном и подпахотном слоях различных почв. Цифры

Таблица 4

Среднее содержание валовой P_2O_5 и гумуса в различных почвах в пахотном (0—20 см) и в подпахотном (20—50 см) слоях почвы

(в % на сухое вещество)

Почвы	0—20 см		20—50 см	
	P_2O_5	Гумус	P_2O_5	Гумус
Сильноподзолистые	0.103	1.76	0.077	0.38
Среднеподзолистые	0.090	2.23	0.060	0.64
Слабоподзолистые	0.078	2.07	0.055	0.55
Серые лесостепные	0.112	2.68	0.083	1.23
Темносерые	0.135	4.95	0.108	2.71
Черноземы оподзоленные	0.172	6.05	0.111	3.78
» выщелоченные	0.211	7.91	0.174	5.67
» мощные	0.211	9.19	0.194	7.36
» обыкновенные	0.163	7.34	—	—
» южные	0.119	4.89	0.102	3.00
» зап.-предкавказские	0.150	4.91	0.145	4.26
Темнокаштановые и каштановые	0.148	2.99	0.150	2.19
Светлокаштановые	0.163	2.36	0.162	1.52
Сероземы темные	0.171	3.14	0.149	1.21
» типичные	0.191	1.54	0.130	0.72
» светлые	0.225	1.25	0.150	0.61
Красноземы	0.132	5.58	0.100	2.33

вычислены путем деления средних запасов фосфора и гумуса в определенных слоях почвы на соответствующие объемные веса. Из цифр этой таблицы видно, что процентное содержание валового фосфора и особенно гумуса резко падает на подзолистых, лесостепных почвах, сероземах и красноземах от пахотного к подпахотному горизонту; значительно меньшее падение наблюдается на черноземах; на каштановых почвах не наблюдается различий в запасах фосфора и отмечается некоторое снижение запасов гумуса.

С точки зрения эффективного плодородия почвы нас интересует, что же представляют собою запасы фосфора как источник питания растений, какая часть валовых запасов фосфора связана с органическим веществом почвы? Последняя, в результате более или менее быстрой минерализации, может служить источником питания растений фосфором.

В опубликованной ранее работе (1948) о содержании органических и минеральных соединений фосфора[1] в некоторых почвах Советского Союза нами было обращено внимание на довольно устойчивое, в пределах близких типов почв, соотношение фосфора органических соединений и гумуса; на это же обстоятельство в отношении черноземных и серых оподзоленных почв указывается и в работе П. А. Дмитриенко (1948).

В табл. 5 приводятся результаты наших экспериментальных работ, а в табл. 6 — сопоставление некоторых наших данных с результатами исследований других авторов. Близкое совпадение в цифрах различных авторов на однотипных почвах является лишним подтверждением высказанного нами (1948) положения о том, что процентное содержание

[1] В дальнейшем фосфор, связанный с органическим веществом почвы, будем условно называть органический; фосфор, связанный с минеральной частью почвы,— минеральный. В таблицах все формы фосфора пересчитаны на P_2O_5.

Таблица 5

Содержание органических и минеральных соединений фосфора, азота и гумуса в некоторых почвах

(по экспериментальным данным) *

Почвы	Горизонт	Глубина взятия образца, в см	P_2O_5, в % к абс.-сухой почве			P_2O_5 органич., в % от валовой	Гумус, в %	% органич. P_2O_5 в гумусе	% общего N в почве	% N в гумусе
			валовая	органич.	минер.					
Сильноподзолистая, ст. Нелидово Великолуцкой обл., разр. 2	A_1	4—12	0.160	0.055	0.105	34	3.9	1.41	0.263	6.9
	A_2	12—40	0.130	0.016	0.114	12	0.4	4.0	0.050	12.8
	B	40—62	0.110	0.004	0.106	4	0	—	0.045	—
Среднеподзолистая, Уваровский р-н Московской обл.	—	4—9	0.060 **	0.035	0.025	42	3.3	1.05	—	—
	—	9—15	0.075	0.025	0.050	40	1.8	1.36	—	—
	—	15—25	0.054	0.009	0.045	17	0.6	1.39	—	—
	—	40—50	0.046	0.012	0.034	23	0.3	3.90	—	—
Серая лесостепная, Серебр.-Прудский р-н, разр. 592	Ап	0—10	0.149	0.066	0.083	44	3.7	1.78	0.183	5.0
	A_2	29—34	0.110	0.026	0.084	26	1.6	1.62	0.090	5.6
	B_1	39—44	0.090	0.019	0.071	21	0.8	2.40	0.045	5.9
Чернозем мощный, Курский гос. заповедник, разр. 2	A_1	0—10	0.208	0.094	0.114	45	11.6	0.81	0.600	5.2
	A_1	20—30	0.138	0.052	0.086	38	5.5	0.94	—	—
	A_1	40—50	0.130	0.043	0.087	34	4.6	0.93	0.238	5.1
	A_1	60—70	0.130	0.042	0.088	32	3.4	1.23	—	—
	Перех.	90—100	0.100	0.025	0.075	24	2.4	1.04	0.189	8.0
	»	100—110	0.090	0.013	0.077	15	1.0	1.30	—	—
Темнокаштановая, Чкаловская обл., разр. 14	A_0	0—3	0.138	0.036	0.102	26	3.7	0.97	0.252	6.0
	A_1	3—14	0.130	0.034	0.096	26	3.5	0.97	0.216	6.7
	A_1	15—20	0.160	0.040	0.120	25	3.2	1.25	—	—
	B_1	20—30	0.150	0.040	0.110	27	2.9	1.40	—	—
	B_2	30—40	0.130	0.035	0.095	27	2.3	1.52	—	—
	BB	50—60	0.100	0.018	0.082	18	0.9	2.00	0.181	8.4
Серозем типичный, Самаркандская обл., Милютинский гос. селекц. заповедник	—	0—5	0.156	0.017	0.139	11	1.1	1.54	0.092	8.7
	—	13—18	0.149	0.021	0.128	14	0.9	2.22	0.076	8.3
	—	20—25	0.135	0.024	0.111	18	0.6	4.00	0.069	11.0
	—	43—50	0.117	0.018	0.099	15	0.5	3.60	—	—
	—	70—75	0.138	0.010	0.128	8	0.4	2.50	—	—
Краснозем слабооподзоленный, совхоз «Квирике» Грузинской ССР	—	0—23	0.260	0.072	0.188	28	3.9	1.85	0.217	5.6
	—	23—48	0.185	0.016	0.169	8	1.1	1.45	0.070	6.3
	—	48—65	0.149	0	0.149	0	0.2	0	0.022	12.2
	—	65—85	0.131	0	0.131	0	0.1	0	—	—

* Большая часть этих данных опубликована в журн. «Почвоведение», № 2, 1948, стр. 107.
** Валовая P_2O_5 и гумус в среднеподзолистой почве анализировались И. М. Рашевской.

Таблица 6

Процентное содержание органического фосфора в гумусе, по данным различных авторов

(в % P_2O_5)

Почвы	По данным автора	По работе П. А. Дмитриенко	
		экспериментальные данные	литературные данные
Серая лесостепная	1.78	1.88 и 2.46	—
Чернозем мощный	0.81	1.00—1.25	1.17
» обыкновенный	0.90	0.95—1.27	1.13
» выщелоченный	1.10	1.41 и 1.43	1.17
Темнокаштановая	0.97	—	1.30

фосфора в гумусе почвы выражается вполне устойчивыми величинами, характерными для каждой почвенной разности. Такое заключение с учетом того, что с глубиной эта величина возрастает, дало нам возможность на основании средних послойных данных о запасах гумуса вычислить запасы органического фосфора для ряда типов почв. Расчет произведен для тех типов почв, для которых мы имели экспериментальные данные по определению органического фосфора и, следовательно, данные о процентном содержании этого фосфора в гумусе.

В табл. 7 приведены: запасы гумуса и валовой P_2O_5, средние для указанных в таблице горизонтов, вычисленные на основании литературных данных; запасы органического фосфора, вычисленные, как выше указывалось, из запасов гумуса и процентного содержания P_2O_5 в гумусе в соответствующем слое почвы. Точно так же вычислены для большинства этих же почв и запасы общего N из запасов гумуса и процентного содержания N в гумусе для соответствующего типа почвы и ее слоя. Цифры, вычисленные таким образом, в большинстве случаев близко совпадали с цифрами запасов азота, вычисленными Н. И. Болотиной (1947) для этих же типов почв.

Для того чтобы уяснить степень точности такого подсчета, в табл. 8 приведены, для сравнения с его результатами, данные о запасах органического фосфора по непосредственным определениям в однотипных почвах (табл. 5).

Сопоставление этих цифр указывает на то, что выбранные для анализа на содержание фосфора органических соединений почвы были в достаточной мере близки к «среднему» из ряда разрезов по определенному типу почв.

Обратимся к рассмотрению данных табл. 7. Из этой таблицы видно, что: 1) запасы фосфора, связанного органическим веществом, невелики, составляя на черноземах и серых лесостепных почвах около 30%, на подзолистых и каштановых почвах около 25%, а на сероземах даже меньше 20% от валового запаса фосфора в почве, и 2) запасы фосфора, связанного органическим веществом почвы, так же, как и азота, с глубиной, как правило, падают, но в разной степени на разных почвах. Наиболее четко это снижение замечается на почвах подзолистого типа и лесостепных, в меньшей мере на сероземах, на мощных черноземах и каштановых почвах — в пределах 50 см слоя не отмечается каких бы то ни было изменений в запасах гумуса, N и P; на черноземах оно намечается только на глубине 80—100 см.

Таблица 7

Запасы фосфора, гумуса и азота в почвах различных типов

(в т/га)

Почвы	Горизонт	Глубина, на которую произв. расчет, в см	Гумус	P_2O_5			N
				валовая	органич. по гумусу	минер.	общий
Сильноподзолистые	A_0A_1	0—15	40	2.00	0.56	1.44	2.77
	A_2B	15—50	21	4.09	0.85	3.24	2.62
Среднеподзолистые	A	0—15	53	1.90	0.63	1.27	2.83*
	A_2B_1	15—35	22	1.77	0.31	1.46	1.47
	B	35—50	13	1.34	0.51	0.83	1.01
Серые лесостепные	A_1	0—25	74	3.10	1.32	1.72	3.72
	A_2	25—35	17	1.10	0.27	0.83	0.93
	B	35—50	19	1.80	0.46	1.34	1.09
Черноземы мощные	A	0—20	193	4.43	1.56	2.87	9.99
	A_1A_2	20—50	243	6.34	2.26	4.08	12.40
	A_2B_1	50—80	165	5.95	1.75	4.25	10.24
	Перех.	80—100	63	3.08	0.65	2.43	4.07
Темнокаштановые и каштановые	A_0	0—15	64	2.72	0.63	2.09	3.84
	A	15—20	19	0.91	0.24	0.67	1.28
	B_1	20—30	33	1.79	0.46	1.33	2.26
	B_1	30—45	43	2.64	0.66	1.98	3.44
	B_1B_2	45—60	35	2.40	0.69	1.71	2.76
Сероземы типичные	A	0—10	19	2.20	0.29	1.91	1.60
	B_1	10—20	15	2.00	0.32	1.68	1.23
	B_2	20—30	9	1.60	0.36	1.24	1.05
	B_2	30—50	15	3.20	0.52	3.92	1.67
	B_2B_3	50—80	21	4.60	0.60	2.76	—

* Для этого типа почв цифры запасов азота даны по Н. И. Болотиной (1947).

Таблица 8

Запасы органического фосфора в различных почвах

(в т/га P_2O_5)

Почвы	Глубина, на которую произведен расчет, в см	Органич. фосфор вычисл. по содержанию в почве гумуса	Непосредственные определения для разрезов табл. 5
Сильноподзолистые	50	1.41	1.51
Среднеподзолистые	50	1.45	1.12
Серые лесостепные	50	2.05	2.50
Черноземы мощные	100	6.22	5.28
Темнокаштановые и каштановые	60	2.68	2.50
Сероземы типичные	80	2.09	1.78

Таблица 9

Запасы фосфора, гумуса и азота в пахотном (0—20 см) и подпахотном (20—50 см) горизонтах различных типов почв

(в т/га)

Почвы	Горизонт	P_2O_5 валовая	P_2O_5 органич.	P_2O_5 минер.	Гумус	N общий
Сильноподзолистые	Пахотный	2.6	0.7	1.9	44	3.2
»	Подпахотный	3.5	0.7	2.5	17	2.2
Среднеподзолистые	Пахотный	2.3	0.7	1.6	58	3.2
»	Подпахотный	2.7	0.7	2.0	30	2.5
Серые лесостепные	Пахотный	2.5	1.1	1.4	59	3.0
» »	Подпахотный	3.5	1.0	2.6	51	2.7
Черноземы мощные	Пахотный	4.4	1.6	2.8	193	10.0
» »	Подпахотный	6.4	2.2	4.2	243	12.4
Темнокаштановые и каштановые	Пахотный	3.6	0.9	2.7	73	5.1
То же	Подпахотный	6.1	1.3	4.7	121	6.6
Сероземы типичные	Пахотный	4.2	0.6	3.6	34	2.8
» »	Подпахотный	4.7	0.9	3.8	24	2.8

В табл. 9 представлены запасы фосфора, гумуса и азота в верхних, наиболее важных в сельском хозяйстве, горизонтах некоторых типов почв (0—20 и 20—50 см), так называемых пахотном и подпахотном,

Таблица 10.

Запасы фосфора, гумуса и азота в односантиметровом слое различных почв

(в т/га)

Почвы	Горизонт	P_2O_5 валовая	P_2O_5 органич.	P_2O_5 минер.	Гумус	N общий
Сильноподзолистые	Пахотный	0.13	0.035	0.095	2.2	0.16
»	Подпахотный	0.11	0.023	0.083	0.6	0.07
Среднеподзолистые	Пахотный	0.11	0.035	0.080	2.9	0.16
»	Подпахотный	0.09	0.023	0.067	1.0	0.08
Серые лесостепные	Пахотный	0.12	0.055	0.065	2.9	0.15
» »	Подпахотный	0.12	0.033	0.087	1.7	0.09
Черноземы мощные	Пахотный	0.22	0.080	0.140	9.6	0.50
» »	Подпахотный	0.21	0.073	0.137	12.0	0.41
Темнокаштановые и каштановые	Пахотный	0.18	0.045	0.135	3.6	0.25
То же	Подпахотный	0.23	0.043	0.187	4.0	0.22
Сероземы типичные	Пахотный	0.21	0.030	0.180	1.7	0.14
» »	Подпахотный	0.15	0.030	0.120	0.8	0.09

а в табл. 10 то же рассчитано на сантиметровый слой каждого такого горизонта для удобства рассмотрения этих данных. Из цифр этой последней таблицы видно еще более четко, чем из табл. 7, что изменение запасов с глубиной различно на разных почвах, причем запасы фосфора, связанного с органическим веществом почвы, падают более резко от пахотного к подпахотному горизонту на подзолистых почвах и серых лесостепных и почти не меняются на мощных черноземах, каштановых почвах и сероземах. Запасы валового и «минерального» фосфора в тех же горизонтах незначительно падают, а на каштановых почвах даже возрастают.

Запасы гумуса на черноземах и каштановых почвах даже увеличиваются от пахотного к подпахотному горизонту, на сероземах же падают почти так же резко, как и на подзолистых почвах. Запасы азота уменьшаются с глубиной на разных почвах почти так же, как запасы органического фосфора, за исключением сероземов, где запасы азота падают так же, как на серых лесостепных почвах.

В табл. 11 приведены цифры соотношения запасов C, N и P в почвах некоторых типов по профилю до 50 см, а на черноземах до 100 см.

Таблица 11

Соотношение запасов углерода, азота и фосфора в различных почвах

Почвы	Горизонт	Глубина, на которую произведен расчет, в см	Соотношение запасов: углерода к азоту C : N общ.	азота к фосфору: N общ. : P вал.	азота к фосфору: N общ. : P орг.	углерода к фосфору: C : P вал.	углерода к фосфору: C : P орг.
Сильноподзолистые	A_0A_1	0—15	8.2	3.2	11.2	26.3	91.6
»	A_2B	15—50	4.6	1.5	7.0	6.7	32.4
Среднеподзолистые	A	0—15	10.8	3.4	10.0	36.5	108.2
»	A_2B_1	15—35	8.4	1.9	10.7	16.3	90.0
»	B	35—50	7.4	1.7	4.5	12.8	33.6
Серые лесостепные	A_1	0—25	11.4	2.7	6.4	31.3	72.9
» »	A_2	25—35	10.8	1.9	7.5	20.2	80.8
» »	B	35—50	10.0	1.4	5.5	13.9	54.5
Черноземы мощные	$A_п$	0—20	11.0	5.1	14.7	57.1	162.2
» »	A_1A_2	20—50	11.2	4.5	12.5	50.2	140.4
» »	A_2B_1	50—80	9.2	3.9	13.2	36.4	122.5
» »	Перех.	80—100	9.0	3.1	14.6	26.9	128.9
Темнокаштановые и каштановые	A_0	0—15	9.3	3.2	13.7	30.6	130.3
То же	A	15—20	8.4	3.2	13.0	27.2	109.0
»	B_1	20—30	8.2	2.9	11.5	24.2	94.5
»	B_1	30—45	7.2	2.9	11.7	21.4	84.9
»	B_1B_2	45—60	7.1	2.7	9.3	19.0	66.6
Сероземы типичные	A	0—10	6.8	1.7	12.3	11.3	83.8
» »	B_1	10—20	7.1	1.4	8.7	9.9	61.4
» »	B_2	20—30	4.6	1.6	6.9	7.3	31.8
» »	B_2	30—50	5.0	1.2	7.4	6.1	38.2

Соотношение содержания общего азота к валовому содержанию фосфора (N общ.: P вал.) на разных почвах различно, характеризуя различную обеспеченность почвы элементами питания растений.[1] Там, где соотношение это широко, например на мощных черноземах, можно ожидать, что для создания хорошего урожая сельскохозяйственных растений эти почвы более обеспечены азотом; и требуется дополнительное внесение в них фосфатов. Узкое же соотношение в них этих элементов указывает на то, что для обеспечения хороших урожаев сельскохозяйственных культур необходимо в первую очередь вносить азот. Из практики сельского хозяйства известно, что черноземы сильнее реагируют на фосфорные удобрения, чем сероземы и серые лесостепные почвы, которые в первую очередь реагируют на азот.

Соотношение общего азота к фосфору органических соединений (N общ.: P орг.) характеризует состав органоминеральных соединений почвы. Уменьшение соотношения с глубиной указывает на то, что с глубиной меняется и состав этих соединений; так, например, уменьшение N общ.: P орг. от 11.2 до 7 и от 10 до 4.5 на подзолистых почвах и с 12.3 до 7.4 на типичных сероземах следует рассматривать как относительное увеличение в этих почвах с глубиной соединений типа нуклеиновых кислот по отношению к бесфосфорным белковым соединениям. На остальных почвах более устойчивое соотношение N общ.: P орг. характеризует более устойчивый состав органоминеральных соединений в них.

Соотношение углерода к фосфору органических соединений C : P орг. показывает богатство гумуса почвы фосфорными соединениями. Чем шире это соотношение, тем менее доступен органический фосфор растениям. При минерализации гумуса, богатого C и бедного P, последний будет поглощаться микробами почвы. Уже давно было отмечено, что в черноземах содержатся большие количества органического фосфора и что в то же время они хорошо реагируют на внесение фосфорных удобрений. Это находит свое объяснение в широком отношении в них C : P орг., достигающем 162, в то время как на сероземах, сравнительно весьма слабо отзывающихся на фосфаты, оно выражается цифрой 84, т. е. в два раза меньшей.

По мере углубления в почву отношение содержания углерода к фосфору органических соединений (C : P орг.) все время уменьшается и иногда падает до 31—33.

Насколько может быть различен гумус почвы, достаточно привести данные (табл. 11) для верхнего горизонта мощного чернозема, в котором углерода в 11 раз больше, чем азота, и в 162 раза больше, чем фосфора, тогда как в гумусе нижних горизонтов серозема углерода только в 5 раз больше чем азота, и в 33 раза больше, чем фосфора, т. е. гумус этого горизонта серозема в 2 раза богаче азотом и в 5 раз богаче фосфором, чем гумус чернозема.

ВЫВОДЫ

1. На основе литературных материалов о процентном содержании валового фосфора по профилю до глубины 1 м, установлены средние абсолютные запасы в различных почвах в тоннах на гектар.

2. Запасы валового фосфора в различных типах почв, в отличие от запасов азота, не всегда соответствуют запасам гумуса.

[1] В отношении фосфора это следует понимать с оговоркой, что только часть валового фосфора является доступным для растений питательным элементом.

Наиболее обеспеченными фосфором почвами являются черноземы выщелоченные и мощные, каштановые, особенно светлокаштановые почвы и сероземы, наименее обеспеченными фосфором — подзолистые почвы и красноземы. Запасы же гумуса, наоборот, на каштановых почвах и сероземах невелики и довольно значительны на красноземах, что до известной степени характеризует состав фосфорных соединений этих почв; это указывает на преимущество минеральных соединений фосфора на каштановых почвах и сероземах и органических соединений фосфора на красноземах.

Остальные типы и подтипы почв по запасам фосфора и гумуса занимают промежуточное положение между указанными почвами.

3. Среднее процентное содержание валового фосфора и особенно гумуса очень заметно падает от пахотного к подпахотному горизонту на подзолистых почвах, лесостепных, сероземах и красноземах; в значительно меньшей степени такое падение наблюдается на черноземах, и никаких различий не наблюдается в процентном содержании фосфора между пахотным и подпахотным горизонтами каштановых почв.

4. На основании установленного процентного содержания фосфора органических соединений в гумусе исчислены были средние послойные запасы — органического фосфора для ряда типов почв. Запасы фосфора, связанного с органическим веществом, составляли на черноземах и серых лесостепных почвах около 30%, на подзолистых и каштановых почвах около 25%, а на сероземах даже меньше 20% от валового запаса фосфора в почве. Запасы фосфора органического так же, как и общего азота, с глубиной, как правило, падают, но в разной степени на разных почвах. Наиболее резко снижение это проявляется на почвах подзолистого типа, в меньшей мере на лесостепных и сероземах, тогда как на мощных черноземах и каштановых почвах в пределах 50 см слоя не отмечается каких бы то ни было изменений в запасах фосфора, азота и гумуса; на черноземах оно намечается только на глубине 80—100 см.

5. Соотношения содержания общего азота к валовому фосфору и содержания общего азота к фосфору органических соединений различны на разных почвах, характеризуя различную обеспеченность почв элементами питания растений и различный состав органоминеральных соединений разных почв. Последнее обстоятельство подчеркивает необходимость изучения состава этих соединений.

ЛИТЕРАТУРА

Абутьков Л. В. и Костюкевич А. В. Почвы Смоленского и Красненского уу. Смоленской губ. Смол. губ. статист. бюро. Смоленск, 1921.

Авдонин И. С. Богатство черноземных почв и их плодородие. Сельхозгиз, М., 1935.

Антипов-Каратаев И. Н. и Филиппова В. Н. Характеристика темнокаштановых почв Заволжья. Тр. Комисс. по ирриг. Сб. 10. Изд. АН СССР, 1937.

Афанасьева Е. А. Происхождение, состав и свойства черноземов. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXV, 1947.

Бажанов Г. Т. и Раздорский А. И. Почвы Ростовской обл. и их агрономическая характеристика. Кн. 3. Ростов/Д, 1940.

Балябо Н. К. Характеристика почв зоны орошаемого земледелия Средней Азии в связи с химизацией (на примере преимущественно Ферганской долины). Вести. с.-х. науки «Агротехника», № 5, 1940.

Беседин П. Н. и Сучков С. П. Почвенный покров Аккавакской центральной агротехнической станции СоюзНИХИ. Комсом. сб. СоюзНИХИ, 1939.

Библиотека Киргизского

Болотина Н. И. Запасы гумуса и азота в основных типах почв СССР. Почвоведение, № 5, 1947.
Будько Е. Н. и Рокачева В. Т. Почвы Ростовской области и их агрономическая характеристика. Кн. 3. Ростов/Д, 1940.
Вильямс В. Р. Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1947.
Виноградов В. Материалы к изучению русских почв. Изв. Петровск. с.-х. академии, XVI, 1893.
Витынь Я. Я. Почвы района табачных плантаций в Кубанской области и на Черноморском побережье Кавказа. СПб., 1914.
Воскресенский М. П. Почвы Ростовской области и их агрономическая характеристика. Ростов/Д, 1940.
Геммерлинг В. В. О генезисе почв степного почвообразования. Почвоведение, № 4, 1936.
Горбунов Б. В. Главные химические и физические свойства сероземов богарной зоны Узбекистана. Тр. Узбек. фил. АН СССР, вып. 5, 1942.
Грабовская О. А. и Роде А. А. Почвы центральной части Валдайской возвышенности. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. X, вып. 1—8, 1934.
Давтян Г. С. Фосфорный режим почв Армении. Изд. АН Арм. ССР. Ереван, 1946.
Дараселия М. К. Материалы к водному режиму субтропических подзолистых почв. Пищепромиздат, М., 1947.
Дараселия М. К. Водный режим красноземных почв в условиях чайных плантаций. Тбилиси, ВНИИГ и СК, 1939.
Дараселия М. К. Водный режим красноземной почвы. Сов. субтропики, № 2, М., 1937.
Дмитриенко П. А. Соединения фосфора в органической части почв. Почвоведение, № 8, 1948.
Димо Н. А. Почвы земельного участка Саратовской опытной станции. Тр. Сарат. ст. Саратов, 1913.
Докучаев В. В. Русский чернозем. Соч., т. III. Изд. АН СССР, 1949.
Захаров С. А. Почвы Ростовской обл. и их агрономическая характеристика. Ростов/Д, 1946.
Захаров С. А. В кн. «Почвы СССР», т. III. Изд. АН СССР, 1939.
Захаров С. А. Почвы опытных станций и совхозов «Чай Грузия». Акц. общ. Чай Грузия. Тифлис, 1929.
Захаров С. А. и Корда В. А. Почвенный очерк территории хозяйства «Маныч». Ростов/Д, 1928.
Захаров С. А. Главнейшие почвы Черноморского округа и их сельскохозяйственная характеристика. Краснодар, 1929.
Захаров С. А. и Суховенко С. Д. Почвенный очерк Северо-Кавказской с.-х. опытной станции. Тр. Научно-иссл. инст. удобр., вып. 80, 1931.
Зайцев Б. Д., Ливеровский Ю. А., Кононова М. М., Марченко А. И. Почвы Карельской АССР, т. I. Южная Карелия. АН СССР, 1937.
Имшенецкий И. З. Кубанские степи. Ростов/Д, 1924.
Имшенецкий И. З. Почвы Прикумск. р-на (Свято-Крестовск. у.), Ставропольской губ. Сев.-Кав. краев. зем. упр., 1926.
Коносов П. П. Почвы Ростовской обл. и их агрономическая характеристика. Кн. 3. Ростов/Д, 1940.
Коссович П. и Красюк А. Исследование почв земельных угодий Вологодского молочного инст. Сообщ. XIV. Бюро по землед. и почвовед. Уч. Комит. Гл. упр. землеустр. и землед., 1914.
Красюк А. Почвы и грунты по линии Подольск. жел. дор. Ред. изд. комит. НКЗ, 1922.
Кудрин С. А. Химизм сероземов. Почвоведение, № 6, 1940.
Кудрин С. А. и Розанов А. Н. Влияние некоторых коренных пород на процессы выветривания и почвообразования в условиях Ср. Азии. Пробл. сов. почвовед., сб. 7, 1939.
Лазарев А. А. Агрохимическая характеристика почв Голодной степи. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXIX, 1948.
Лазарев А. А. Химическая характеристика серых лесных почв (см. в настоящем томе).
Лебедев И. А. Район предполагаемого орошения из реки Чу, часть I. Мин. земл. Петроград, 1916.
Лебедев А. Ф. и Баукова Е. Е. Физическая характеристика почвенного профиля. 1930.
Моткин М. В. Агрономическая характеристика почв Ленинградской области. ВИУАА. Всес. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, вып. 52, 1937.

Набоких А. И. К методике полевого и лабораторного исследования почвогрунтов, вып. 2. Одесса, 1915.
Набоких А. И. Краткие заметки о грунтах Подольской губ. и соседних местностей. Каменец-Подольск, 1915.
Неуструев С. С. и Никитин В. В. Почвы хлопковых районов Туркестана. Библ. хлопкового дела, кн. II. М. Центр. упр. пром. проп. и печати ВСНХ СССР. 1926.
Носин В. А., Агафодоров, И. П. Крылов В. П., Ситникова Б. Л. Почвы Куйбышевской области. Куйбышев, 1949.
Панков М. А. и Антошина З. Н. Почвы южных склонов Каржан-Тау и их эрозия. Тр. Узбек. фил. АН СССР, вып. 4, 1942.
Пономарев Г. С. и Антипов-Каратаев И. Н. Почвы степных типов почвообразования. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXV, 1947.
Прасолов Л. И. и Антипов-Каратаев И. Н. Каштановые почвы. В кн. «Почвы СССР», т. I. Изд. АН СССР, 1939.
Прасолов Л. И. Чернозем как тип почвообразования. В кн. «Почвы СССР», т. I, Изд. АН СССР, 1939.
Прасолов Л. И. Почвы СССР, т. III. Изд. АН СССР, 1939.
Ремезов Н. П. Почвенный покров Долгопрудного опытного поля. Тр. Научн. инст. удобр., вып. 30, 1925.
Ремезов Н. П. и Кошельков П. Н. Почвенный покров ю.-в. части Долгопрудного опытного поля. Тр. Научн. инст. удобр., вып. 77, 1930.
Роде А. А. Материалы по изучению почвенного покрова Лисинского уч. леспромхоза. В кн. «Природа и хозяйство учебн. леспромхозов Лесотехнической академии», вып. 3, 1931.
Розанов А. Н. Бурые лесостепные почвы Таджикистана. В кн. «Почвы Советских субтропиков, в связи с размещением культур, агротехникой, химизацией и мелиорацией». М., 1936.
Рыбаков М. М. Почвы правобережной Осетии, с.-з. Ингушетии, средней части Сунженского автономного округа и Западной Чечни. Владикавказ, 1927.
Сабашвили М. Н. Почвы субтропиков Западной Грузии и их производственная характеристика. В кн.: «Почвы Советских субтропиков в связи с размещением культур, агротехникой, химизацией и мелиорацией». М., 1936.
Сабашвили М. Н. Почвы Грузии. Тбилиси. Изд. АН Груз. ССР. 1948.
Спиягин И. И. Характеристика почв сероземной зоны. Вести. с.-х. науки. Удобр. агротехн. и агропочвов., в. I, 1941.
Соболев С. С. В кн.: «Почвы СССР», т. III. Изд. АН СССР, 1939.
Теплов М. М. Материалы по изучению почв Моск. губ., вып. 2, Клинский уезд. Моск. губ. земство. М., 1912.
Товарницкий В. И. и Максимович А. Е. К изучению чернозема различного культурного состояния. Ивановская оп. с.-х. ст., в. XVIII, 1930.
Тумин Г. М. Почвы Тамбовской губ., ч. 2. Тамбов, 1916.
Тюрин И. В. Условия почвообразования и краткое описание почв Чувашской республики, 1935.
Тюрин И. В., Андреев С. М., Земляницкий Л. Т. и Шендриков М. Г. Почвы Чувашской республики. Изд. АН СССР, 1935.
Тюрин И. В. Органическое вещество почв. Сельхозгиз. 1937.
Урушадзе Г. Н. Рост и развитие чайного куста в зависимости от влажности почвы. Тр. Всес. научн.-иссл. инст. чайн. хоз. им. Л. П. Берия, ч. 6, 1936.
Усов Н. И. Почвы Саратовской области, кн. 1 и 2. Саратов, 1948.
Усов Н. И. Влияние полосных насаждений на черноземы и каштановые почвы. Почвоведение, 1938, № 3.
Усов Н. И. Генезис и мелиорация почв Каспийской низменности. Саратов, 1940.
Флоров Н. П. Материалы для характеристики лёссов и почвенных грунтов Киевской лесостепи. Мат. по исслед. почв и грунтов Киевской губ. Вып. I. Киевск. губ. земство. Одесса, 1916.
Хейфец Д. М. Методика определения и содержание минеральных и органических соединений фосфора в некоторых почвах Советского Союза. Почвоведение, № 2, 1948.
Яковлев С. А. О деградации черноземов в западной части Северного Кавказа. Почвоведение, № 1, 1915.
Яковлев П. В. Запасы питательных веществ в различных разновидностях чернозема. Гос. инст. опытн. агрон. Бюлл. Отд. землед. № 32, 1929.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Д. Л. АСКИНАЗИ и К. Е. ГИНЗБУРГ

РОЛЬ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ПОЧВЫ В ПОГЛОЩЕНИИ ИОНОВ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

Различные формы минеральных соединений фосфора, представленные по преимуществу малорастворимыми соединениями, претерпевают в почве длительные химические, физико-химические и биологические превращения. Эти изменения, известные под названием поглощения, фиксации, ретроградации фосфатов и имеющие также место при внесении в почву минеральных фосфатов, снижают обычно доступность последних для растений.

Органические соединения фосфора, накопленные в почве в остатках растений и микроорганизмов, в дальнейшем вновь превращаются в более простые минеральные формы благодаря микробиологической активности почвы; в результате минерализации растения используют в течение вегетационного периода и эти источники фосфора (наряду с другими элементами пищи).

Некоторый запас фосфора связан в невыветрелых минералах почвы и подпочвы в форме труднорастворимых апатитов и других соединений. В почвообразовательном процессе часть этого фосфора образует вторичные соединения различной растворимости и доступности для растений (фосфаты кальция, железа и алюминия разной основности).

В настоящее время наиболее изучено явление поглощения почвенными коллоидами ионов фосфорной кислоты из минеральных фосфатов, связанное с дальнейшим их превращением при этом в менее доступные растениям соединения. К главным факторам поглощения ионов фосфорной кислоты в почве обычно причисляют гидроокиси железа и алюминия (марганца, титана и др.), а также некоторые глинистые минералы (каолиниты, слюды и др.).

Накопление в почве органических соединений фосфора также связано с их нерастворимостью в этих условиях; так, например, в нейтральных почвах фитин может накапливаться в форме фитата кальция, а в кислых почвах — в форме фитатов железа или алюминия, что, повидимому, замедляет дефосфорилирование этих фосфорноорганических соединений в почвенных условиях.

По имеющимся данным, нуклеиновые кислоты быстро адсорбируются глинами (в частности, монтмориллонитом), причем адсорбция значительно снижает скорость их минерализации или быстроту энзимного гидролиза с повышением кислотности среды.

Скорость минерализации фосфорно-органических соединений в почвенных условиях определяет степень доступности содержащегося в них фосфора для растений.

В фосфатном режиме почвы значительную роль играют микроорганизмы: освобождающиеся в результате жизнедеятельности микроорганизмов кислоты (угольная, азотная, серная) могут повысить растворимость фосфатов кальция; микроорганизмы могут влиять на фосфатный режим почвы также путем выделения энзим, необходимых для минерализации и дефосфорилирования органических соединений фосфора (аналогичное действие на фосфорные соединения почвы оказывает и растение с его корневой системой). С другой стороны, в присутствии избытка углерода и азота микроорганизмы способны в почвенных условиях к некоторой иммобилизации доступных растениям неорганических и органических фосфатов.

Изменение почвенных условий (подсушивание, нагревание, замораживание) влияет в ту или иную сторону на доступность для растений фосфора; известкование может увеличить в почве минерализацию фосфатов типа нуклеиновой кислоты в результате уменьшения ее адсорбции глинами или благодаря увеличению активности нуклеазных энзим при уменьшении кислотности почвы.

Внесение фосфорных удобрений повышает в почве количество доступных для растений фосфатов. К сожалению, быстрая ретроградация фосфатов в почве (в особенности воднорастворимых фосфатов в условиях кислой реакции) снижает для растений доступность фосфора фосфорнокислых туков. Необходимы дальнейшие исследования факторов, влияющих на процесс ретроградации фосфора в почве, его связывания в недоступной для растений форме (роль pH, окислительно-восстановительного потенциала, значение состава и свойств коллоидов в почве, состава микрофлоры, роль дренажа, структуры почвы и способов ее обработки и т. д.).

Пополнение фосфора в поверхностных горизонтах почвы происходит также путем переноса его из более глубоких подпочвенных горизонтов глубокоидущими корнями растений; с этой точки зрения представляет интерес изучение роли травосмесей в травопольных севооборотах.

Перед экспериментальной частью нашей работы была поставлена задача дальнейшего уточнения роли некоторых глинистых минералов почвы в процессе поглощения минеральных фосфатов в малодоступной для растений форме.

При изучении поглощения ионов фосфорной кислоты минеральными соединениями почвы наибольшее внимание обычно уделяется полуторокислам железа и алюминия. Уже в работах П. А. Костычева (1881) экспериментально показана роль ионов кальция, железа и алюминия в осаждении ионов фосфорной кислоты из раствора. Результаты опытов Костычева получили дальнейшее теоретическое развитие в работах К. К. Гедройца (1914) и других исследователей. Многочисленные работы по изучению кривых осаждения или кривых перехода P_2O_5 в раствор в присутствии ионов Ca, Mg, Fe, Al, Mn и др. при различных равновесных pH еще более уточнили условия осаждения ионов фосфорной кислоты из раствора (см. Аскинази и Хейфец, 1938 и др.). В этих работах установлено максимальное осаждение для фосфатов алюминия при pH около 3.5—4.5, для фосфатов железа при 2.5—3.5. Основные препараты фосфатов железа и алюминия (с соотношением $\frac{R_2O_3}{P_2O_5} > 1$) оказались менее растворимыми, чем средние фосфаты (с соотношением $\frac{R_2O_3}{P_2O_5} = 1$).

В некоторых исследованиях строение фосфатов полуторных окислов объясняется приводимой схемой, исходя из представления об образовании в кислой среде (pH 3—6) из ионов фосфорной кислоты (H_2PO_4) и шестиводных ферри- или алюминиевых ионов комплексов по Вернеру по следующей схеме:

$$Fe(H_2O)_6^{+++} + 2OH^- + H_2PO_4^- \rightleftarrows Fe(H_2O)_3(OH)_2H_2PO_4 + 3H_2O$$
$$Al(H_2O)_6^{+++} + 2OH^- + H_2PO_4^- \rightleftarrows Al(H_2O)_3(OH)_2H_2PO_4 + 3H_2O$$

При объяснении механизма осаждения фосфатов гидроокисями Fe или Al предполагается, что образующиеся в условиях pH около 3—6 основные фосфаты железа и алюминия $(R(H_2O)_3(OH)_2H_2PO_4$* более стабильны, чем их исходные гидроокиси. При pH > 6.5, т. е. с увеличением концентрации ионов OH в растворе, основные фосфаты железа и алюминия частично вновь переходят в их гидроокиси путем обмена ионов H_2PO_4 на ионы OH; в результате образуются еще более основные фосфаты полуторных окислов (см. Аскинази, 1949). Кроме ионов OH, вытеснение коллоидно-связанных ионов H_2PO_4 возможно с помощью других анионов: фтористоводородной кислоты, щавелевой, лимонной и кремневой кислот, бикарбоната (а также, частично, бората, ацетата, роданата, сульфата и хлорида).

Возможность замещения H_2PO_4 в коллоидной мицелле другими анионами зависит от их способности к координации с ионами железа и алюминия (и от природы образующихся при этом комплексов) и меняется при различном pH; например, с увеличением pH с 3.4 до 6.3 способность цитратов к замещению ионов фосфорной кислоты из коллоидной мицеллы увеличивается, а способность тартратов — уменьшается; для анионов фтористоводородной кислоты колебание pH в этом отношении не имеет значения.

Кроме опытов по поглощению ионов фосфорной кислоты гидроокисями железа и алюминия, исследования последних лет уточнили роль ряда возможных в почве минералов в этом отношении. Следует отметить противоречивость данных, полученных разными исследователями как в отношении объяснения механизма поглощения ионов фосфорной кислоты минералами, так и в отношении количественных показателей способности минералов к поглощению фосфатов. Это обстоятельство заставило нас критически рассмотреть результаты опытов по поглощению фосфатов минералами в разных условиях и поставить собственные исследования лабораторного характера, а также — вегетационные опыты в целях определения способности глинистых минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты в малодоступной для растений форме.

Указания о способности разных минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты имеются в ряде работ (см. Аскинази, 1949). Мэрфи (1939) нашел, что каолинит после размола резко повышает способность к поглощению фосфатов. К таким же результатам пришел и Стаут (1941), который установил, что после поглощения ионов фосфорной кислоты размолотый каолинит принимает аморфное строение, что, однако, требует проверки; в опытах этого автора образцы каолинита и галлоизита после размола поглощали от 300 до 400 миллимолей фосфатов на 100 г воздушно-сухого минерала, между тем аналогично размолотый бентонит поглощал лишь незначительное количество фосфатов.

* Такие осадки фосфатов полуторных окислов с отношением $\frac{R_2O_3}{P_2O_5} = 1$ в литературе известны как средние фосфаты.

Стаут полагает, что механизм поглощения ионов фосфорной кислоты каолинитом возможно свести к обмену содержащихся на его поверхности ионов OH на ионы H_2PO_4, причем этот процесс является обратимым.

Исследования других авторов не подтвердили данных Мэрфи и Стаута о столь большом и различном влиянии отдельных глинистых минералов на количества поглощаемых фосфатов (см. работы Перкинса и Кинга, 1944, 1945, 1948, 1949; Дикмана и Брея, 1941; Колемана, 1943, 1945; Блека, 1941 и др.). В этих исследованиях было уточнено значение и других факторов в поглощении ионов фосфорной кислоты: содержание в минерале полуторных окислов, поглощенных оснований, концентрация применяющегося фосфорнокислого раствора, равновесное pH, время и температура взаимодействия, тонина размола минерала, влияние предварительного прокаливания минерала, а также предварительной его обработки кислотой или щелочью, и др.

Кратко остановимся на значении отдельных факторов в поглощении ионов фосфорной кислоты различными минералами. В работах Перкинса и Кинга (1944) показано, что слюды после размола и пропущенные через сито в 100 меш (что соответствует размеру ячеек сита в 0.17 мм) поглощали до 6% H_3PO_4, между тем каолинит и другие глинистые минералы в этих же условиях поглощали в 10—15 раз меньше ионов фосфорной кислоты. Результаты этих опытов не подтвердили данные Стаута и Мэрфи о столь значительной способности каолинита к поглощению ионов фосфорной кислоты; с другой стороны, опыты выявили значительную способность в этом отношении слюд, поглотивших в условиях опыта до 6% H_3PO_4.

По данным Колемана (194), монтмориллонит способен к большему, чем каолинит, поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора с pH ~ 7 и 9.5 (бентонитовый тип поглощения фосфатов); между тем при pH ~ 3, наоборот, каолинит поглощает больше, чем монтмориллонит (каолинитовый тип поглощения фосфатов). Этим же автором показано, что, в отличие от монтмориллонита, величина поглощения фосфатов у каолинита в большей степени зависит от равновесного pH среды; после же удаления полуторных окислов величина поглощения ионов фосфорной кислоты у «чистых» минералов уже мало зависит от pH. Работы Колемана подчеркивают большое значение содержания полуторных окислов в способности отдельных минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора.

В опытах Блека также изучалось поглощение ионов фосфорной кислоты тонкоразмолотыми минералами (каолинит, бентонит, иллит, галлоизит и др.) в зависимости от pH, концентрации фосфорнокислого раствора и времени взаимодействия. В этих исследованиях установлено большое влияние тонины размола и длительности настаивания минералов с раствором (2—30 дней) на величину поглощения ими ионов фосфорной кислоты из раствора. Это видно из следующих данных для каолинита (в мг P на 100 г минерала):

Концентрация P в растворе (в мг на 100 мл раствора)	Поглощено P каолинитом	
	нераэмолотым	размолотым
10	80	6 000
1	30	1 500
0.1	25	500

Следует отметить, что после 2 дней настаивания величины поглощения фосфора оказались по сравнению с 30-дневными значительно меньшими (в 2—3 раза у неразмолотого каолинита и в $1^1/_2$ раза — у размолотого), причем по сравнению с 30-дневным настаиванием максимум поглощения фосфатов сдвинулся в менее кислую сторону (у немолотого каолинита с pH ~ 3—4 до pH ~ 5—7, а у молотого до pH ~ 6—7).

Колебание в величинах поглощения ионов фосфорной кислоты в зависимости от pH, концентрации раствора и времени его взаимодействия с минералом (каолинит и др.), а также от тонины размола минерала и содержания в нем полуторных окислов, позволяет признать участие в процессе поглощения нескольких механизмов (факторов): обменные реакции ионов PO_4 раствора с ионами OH (главным образом при низком pH), поглощение ионов PO_4 активными полуторооксидами железа или алюминия, находящимися на поверхности глинистых минералов, и др.

Интересно, что с изменением концентрации раствора меняется характер поглощения фосфора минералом; в приложении к почвенным условиям это значит, что, например, из суперфосфата фосфор поглощается в различных формах в зависимости от его расстояния от почвенной частички, благодаря разнице, создающейся в концентрации ионов фосфорной кислоты вблизи и в отдалении от почвенной частицы, поглощающей фосфаты.

К сожалению, до сих пор остается еще неясным вопрос, в какой степени доступна для растений фосфорная кислота, поглощенная минералами (или почвенными коллоидами). Ввиду того что максимальное поглощение ионов фосфорной кислоты каолинитом из высоких концентраций имеет место при pH ~ 3—4 (см. подробнее ниже), следует полагать, что в почвенных условиях с обычной величиной pH ~ 5—7 имеют не меньшее значение другие факторы поглощения (например, активные формы железа и алюминия). В настоящее время мы не располагаем достоверными данными для оценки доступности растениям разных форм поглощенной почвенными коллоидами фосфорной кислоты.

Значение разных факторов поглощения ионов фосфорной кислоты не является постоянным и зависит от природы сорбентов (Fe, Al и др.), от pH равновесного раствора и его концентрации в отношении ионов фосфорной кислоты, от времени взаимодействия минерала (или другого почвенного коллоида) с раствором фосфатов и др.

Выше уже было отмечено, что величина поглощения ионов PO_4 у разных минералов весьма различна по данным разных исследователей. Среди факторов, влияющих на это поглощение, большое значение имеет степень размола минерала (в частности, каолинита); возможно, разной степенью размола и объясняется пестрота результатов, получаемых при изучении взаимодействия минералов с растворами фосфорнокислых солей.

В начале своих исследований по поглощению ионов фосфорной кислоты разными минералами Перкинс и Кинг пропускали эти минералы через сито в 100 мешь (0.17 мм) после размола в агатовой ступке. В последующих опытах ими было расчленено значение тонины помола минерала. С этой целью минералы растирались в ступке или шаровой мельнице, а затем в коллоидной мельнице. Из растертых таким способом минералов в дальнейшем выделялись в водных суспензиях частицы следующих заданных размеров: 150, 60, 15 и 2 микрона.

Это дало авторам возможность получить представление о степени повышения поглощения фосфатов разными минералами (или окислами) по мере уменьшения размера частиц и увеличения их поверхности. Оказалось, что фракции кварца в 150 и 60 микронов не поглощали ионов фосфорной кислоты в интервале pH 3.0—6.0 и лишь немного поглощали их при более щелочной реакции; фракция в 15 микронов также поглощала небольшие количества фосфора, тогда как фракция меньше 2 микронов поглотила весь добавленный фосфор. Аналогичный ход поглощения ионов фосфорной кислоты наблюдался и для гематита.

Из группы слюд и пр. в этих опытах изучались флогопит, биотит, пирофиллит и тальк; эти минералы сильно различаются между собою по их способности к поглощению фосфатов, но тенденция здесь наблюдалась та же, что и для окисных минералов: фракции в 150 микронов поглощали 70% того, что поглощают частицы в 2 микрона.

Из глинистых минералов изучались монтмориллонит и каолинит. Оказалось, что монтмориллонит мало меняет способность к поглощению ионов фосфорной кислоты с уменьшением размера частиц от 150 до 1 микрона (этот минерал вообще высокодисперсный); соответствующие цифры для каолина показали все же более слабое увеличение поглощения фосфатов с уменьшением размера частиц, в сравнении с другими минералами (за исключением монтмориллонита).

Полученные в работе Перкинса результаты не подтверждают данных Мэрфи (1939), показавшего, что размол в шаровой мельнице сильно увеличивает поглотительную способность каолина в отношении фосфатов. Повидимому, Мэрфи размалывал свой каолинит до еще меньшего размера частиц и в результате добился повышения поглощения с 822 до 4752 мг PO_4 на 100 г минерала.

Интересно подчеркнуть из работы Перкинса и Кинга (1948) увеличение буферности минералов, особенно в щелочной области pH, по мере повышения тонины их размола; эта закономерность резче проявилась у слюд, чем у других минералов; отсюда можно заключить, что в процессах физического выветривания минералов должна иметь место некоторая нейтрализация почвы.

Приведем составленную нами краткую сводную таблицу из работы Перкинса и Кинга (1945) об относительной способности разных минералов с размером частиц в 2 микрона к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора с разным равновесным pH (с 2.5 до 6.0).

Таблица 1

Поглощение фосфора из раствора H_3PO_4 разной концентрации различными минералами, по данным Перкинса и Кинга (1945)

Род минерала	Добавлено H_3PO_4 в г на 5 г минерала	% поглощения
Кварц	0.0177	100
Гематит	0.0177	100
Мусковит	0.4420	50—100
Флогопит	0.1066	100
Биотит	0.4420	80—100
Пирофиллит	0.0044	40—100
Тальк	0.0044	5—8 (и более 50% при pH > 5)
Каолинит	0.0701	25—40
Монтмориллонит	0.1777	25—50

Не приводя отдельно подробных данных о величинах поглощения ионов фосфорной кислоты при других размерах частиц и при разном pH, следует отметить, что наибольшее поглощение фосфатов имело место при pH около 2.5—6.0 (обычно поглощается от 20 до 70—80% фосфорной кислоты от внесенной). Следует подчеркнуть, что для мусковита, биотита и флогопита получено незначительное поглощение фосфатов из фракции в 150 микронов (до 17%), причем при pH от 3—6 поглощение равнялось нулю. Становится понятной причина расхождений в количественной характеристике способности минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты у различных авторов в разных условиях опыта (влияние тонины помола и других факторов).

В опытах Перкинса и Кинга (1945) была принята следующая методика: 5 г минерала смачивались водой; смесь доводилась в мерной колбе до 25 мл; после этого в колбу добавлялась H_3PO_4 (50% от максимального количества, поглощаемого минералом, размолотым до 100 меш) и разные количества 0.2 *n* HCl или NaOH. Нам представляется, что полученные цифры в этих опытах трудно сопоставимы, так как об относительной способности разных минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора возможно судить лишь при одинаковых количествах сорбента и одинаковых количествах (и концентрации) P_2O_5 в растворе (адсорбтива), о чем будет сказано ниже.

В своей работе Перкинс и Кинг (1945) также изучали поглощение ионов фосфорной кислоты при различном равновесном pH и при различной концентрации фосфата для каждого из размолотых минералов[1] (от 4.45 до 267 мг H_3PO_4 на 5 г минерала). В исследовании были использованы: каолин, тальк, пирофиллит, флогопит, мусковит, биотит и маргарит, имеющие сходную структуру.

Результаты этих исследований частично приводим в табл. 2.

Таблица 2

Максимальное поглощение ионов фосфорной кислоты различными минералами (в г H_3PO_4 на 100 г минерала), по данным Перкинса и Кинга (1945)

	Каолинит	Пирофиллит	Тальк	Мусковит	Флогопит	Биотит	Маргарит
Добавлено . . .	0.711	0.178	0.036	8.886	2.132	14.218	8.886
Поглощено . . .	0.28	0.05	0.01	6.84	0.96	5.25	5.78
Равновесное pH	3.5	3.5	4.0	3.5	6.5	3.0	5.0

Разница в поглощении ионов PO_4 увязывается с родом катионов (Mg, Al), их количеством и положением в структуре изучаемых минералов; по мнению тех же авторов, поглощение фосфатов в этой группе минералов в большей мере зависит от структурного или анионного алюминия, чем от количества катионов Al, Mg и группы OH, и коррелирует с соотношением SiO_2 не к общему количеству R_2O_3, а к количеству структурного алюминия. Следует подчеркнуть, что и в этой работе сопоставлены величины поглощения ионов фосфорной кислоты минералами при разных исходных концентрациях фосфатов, тогда как по данным этой же работы поглощение сильно меняется с ростом концентрации P_2O_5 в растворе. Соответствующие данные приводим в табл. 3.

[1] Минералы после их размола в ступке и проверки магнитом пропускались через сито в 100 меш (сито с ячейками размером примерно в 0.17 мм).

Таблица 3

Количества ионов фосфорной кислоты, поглощенные разными минералами при разной исходной ее концентрации в растворе (в мг H_3PO_4 на 100 г минерала), по данным Перкинса и Кинга (1945)

Каолин		Пирофиллит		Флогопит	
Добавлено	Поглощено	Добавлено	Поглощено	Добавлено	Поглощено
89	60	36	32	89	89
356	135	89	25	1068	758
712	285	178	50	2136	961
1068	171	—	—	5390	641
2136	149	—	—	10680	0
Мусковит		**Биотит**		**Маргарит**	
89	89	89	89	1424	1424
1424	1424	1068	1068	3204	2275
2136	2136	3204	3012	8900	5785
3204	3204	4450	3427	14240	4129
5340	3578	8900	4094	**Тальк**	
8900	6853	14240	5269	36	10
17800	4272	—	—	89	0
				178	9

Из данных табл. 3 видно значение концентрации фосфатов, добавленных к минералу, для установления поглотительной его способности в отношении ионов PO_4, на что в работе Перкинса и Кинга не обращено внимания (равно как и значение дисперсности полностью не учтено). Ввиду резкой разницы в условиях опыта по поглощению фосфатов, трудно остановиться при изучении этого явления на одной какой-либо определенной концентрации, тем более что в ряде случаев получено снижение величин поглощения минералом фосфатов из раствора H_3PO_4 высокой концентрации. Необходимо разработать новые методы изучения относительной способности разных минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора.

Рассмотрим далее вопрос о значении величины навески при определении количественной способности сорбента к поглощению ионов, в частности фосфорной кислоты. Выше уже отмечалось влияние исходной концентрации раствора; так как величина поглощения обычно рассчитывается на 100 г сорбента, то встает законный вопрос, как будет влиять величина навески на общий результат исследования, т. е. на величину поглощения ионов фосфорной кислоты. Обычно поглощение ионов фосфорной кислоты учитывается по разности исходной и равновесной концентрации раствора после его взаимодействия с сорбентом. Известно, что с увеличением навески сорбента количество поглощенных этой последней ионов не увеличивается пропорционально (при одинаковых концентрации и количестве раствора). При пересчете на 100 г почвы

количество ионов, поглощенных меньшей и большей навеской, должно быть разным. К сожалению, в некоторых работах эта особенность при обработке результатов опытов с поглощением ионов коллоидами иногда не учитывается, что приводит к неверным выводам. В качестве примера можно привести работу Адерихина (1946), где данные поглощения фосфатов коллоидами пересчитываются на 1 г коллоида, независимо от взятой навески и количества прибавленного $Ca(H_2PO_4)_2$; между тем из данных этой же работы можно заключить, что с увеличением навески адсорбента (золя или геля) в 2, 3, 4 раза количество поглощенных ионов фосфорной кислоты при этом примерно уменьшается в столько же раз.

Изложенные результаты опытов, требующие дополнительных исследований, позволяют сделать вывод, что сопоставление данных по поглощению ионов фосфорной кислоты коллоидами (золи или гели) следует проводить по возможности при одинаковых количествах сорбентов и при одинаковом времени взаимодействия, температуре и концентрации (и количества) раствора фосфатов, а также при одинаковом его равновесном pH.

В целях дальнейшего изучения адсорбционных свойств каолинита и других глинистых минералов в ряде исследований (Силинг, 1947) минералы подвергались различной обработке перед их взаимодействием с растворами фосфатов или арсенитов (обработка сильными щелочами, кислотами, нагревание, прокаливание и др.). Поглощение фосфатов минералами, обработанными щелочами или подвергавшимися сухому нагреванию, было в несколько раз выше, чем при нагревании минералов в растворе. Нагревание каолина при 135 и 700° в течение 18 часов без предварительной обработки щелочами не повышало в ряде опытов активность каолина в отношении поглощения анионов. Повидимому, при обработке каолина щелочью образуются алюминаты и силикаты натра с дальнейшим выпадением гидратов кремнекислоты и гидратов окиси алюминия, способных к поглощению анионов. В специальных опытах по обработке тонкоразмолотого каолина кислотами разной концентрации удалось показать, что при этом на его поверхности образуются легкоподвижные соединения алюминия типа свежеосажденного гидрата окиси алюминия. Таким образом, основным фактором повышения активности каолинита после его обработки щелочью или после размола в шаровой мельнице, повидимому, являются образующиеся на поверхности минерала гидраты окиси алюминия, а не алюминий кристаллической решетки.

В специальных опытах сравнивалась способность к поглощению ионов фосфорной или мышьяковой кислоты тонкоразмолотым каолинитом, свежеосажденным гидратом окиси алюминия — $Al(OH)_3$ и окисью алюминия — глиноземом (Al_2O_3); в результате оказалось, что наибольшее количество фосфатов поглощает свежеосажденный гидрат окиси алюминия, затем тонкоразмолотый каолинит и, наконец, безводная окись алюминия (полученная из $AlCl_3$ после прокаливания при 700°). Силинг предполагает, что активным компонентом в тонкоразмолотом каолините, энергично поглощающим фосфаты, являются гидратированные соединения алюминия, способные к замещению ионов OH на эквивалентные количества ионов H_2PO_4 и к образованию алюминиевых фосфатов с соотношением $\frac{P_2O_5}{Al_2O_3}$ около 1.

Органические анионы также могут занимать координационные валентности ионов алюминия, причем лимонная кислота, тартраты после присоединения к сорбенту в дальнейшем не могут быть замещены на ионы OH и PO_4 даже при высокой их концентрации в растворе. Так,

Дин и Рубенс (1947) установили, что поглощенные минералами ионы фосфорной кислоты могут быть замещены цитратом и что органические анионы в дальнейшем с трудом уже замещаются фосфатами.

Опытами Силинга (1947) показано, что сродство P к алюминию значительно превышает таковое у As; поэтому методы определения емкости анионного обмена путем вытеснения поглощенных ионов фосфорной кислоты (после насыщения ими сорбента) ионами мышьяковой кислоты следует признать необоснованными.

В недавно появившихся работах Перкинса (1948, 1949) имеются дальнейшие исследования по вопросу об изменении реакционной активности размолотого каолина и других минералов после их нагревания или прокаливания. Приводим схему возможных изменений в каолините после его прокаливания.

$$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4 \rightleftarrows Al_2O_3\ (SiO_2)_2 + 2H_2O$$
$$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4 \rightleftarrows Al_2O_3 + 2SiO_2 + 2H_2O$$
$$Al_2(Si_2O_4)(OH)_4 \rightleftarrows Al_2O_3 + 2H_2SiO_3$$
$$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4 \rightleftarrows Al_2O(OH)_4 + 2SiO_2$$

При разложении алюмосиликатов, возможно, следует допустить освобождение и других соединений кремнекислоты и алюминия из окисных соединений алюминия: Al_2O_3 — окись алюминия, AlOOH — диаспор, $Al_2O(OH)_4$ — боксит и $Al(OH)_3$ — джиббсит.

Прокаливание каолина, как и размол, увеличивает его способность к поглощению ионов фосфорной кислоты; так, например, в одном из опытов Перкинса каолин непрокаленный или прокаленный поглощал в зависимости от pH среды следующее количество фосфатов (в мг H_3PO_4 из взятых 355 мг) (табл. 4 и рис. 1, см. стр. 30).

Таблица 4

Поглощение ионов PO_4 размолотым (непрокаленным) и прокаленным каолином при разной величине равновесной реакции (pH) в мг H_3PO_4 на 100 г минерала, по данным Перкинса (1948)

Каолин	pH												
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
Размолотый	21	30	38	38	39	36	32	30	24	26	24	13	2
Прокаленный	24	60	85	97	96	88	74	63	39	24	22	15	6

Таким образом, прокаливание каолина, которое связано с удалением OH-групп из этого минерала, приводит к образованию соединений с повышенной способностью к поглощению ионов фосфорной кислоты.

При сравнении поведения разных минералов в отношении поглощения ионов фосфорной кислоты (например, пирофиллита — $Si_4O_{10}Al_3(OH)_2$ с тальком — $Si_4O_{10}Mg_3(OH)_2$; мусковита — $KAlSi_3O_{10}Al_2(OH)_2$ с флогопитом — $KAlSi_3O_{10}Mg_3(OH)_2$) Перкинс заключает, что поглощение фосфатов является функцией металлического иона, к которому привязана OH-группа; поэтому минерал с большим содержанием алюминия поглощает больше фосфатов.

Изучение изменений свойств минералов при разной их обработке важно для понимания условий перехода одних минералов в другие.

Изучение влияния длительного размола мусковита и бентонита, по сравнению с каолинитом, на размер частиц минералов и другие их свойства в связи с химической активностью показало, что с уменьшением размера частиц мусковита растет величина емкости поглощения катионов; между тем в тех же условиях для бентонита при уменьшении размера частиц ниже 2 микронов емкость поглощения катионов снижается, при этом также увеличивается их буферная способность, как у каолина, особенно в кислую сторону; повидимому, бентонит при сильном размоле распадается на свои составные части. Схему разложения бентонита можно принять аналогичную каолиниту:

$$[Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \rightleftarrows Al_2O_3 + 4SiO_2 + H_2O],$$

причем, по данным анализа, грубые фракции его после размола содержат больший процент SiO_2 и показывают большую растворимость Al_2O_3. Мусковит не меняет своего химического состава с уменьшением размера частиц.

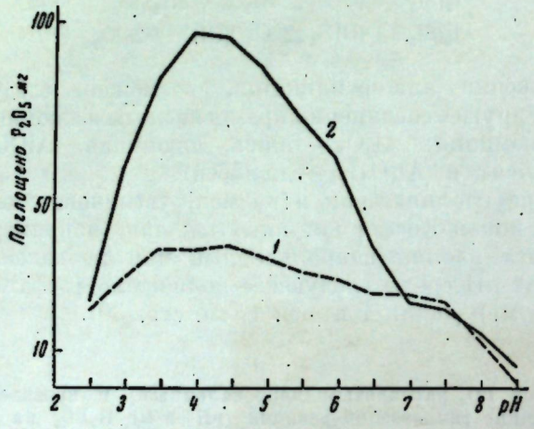


Рис. 1. Поглощение ионов фосфорной кислоты непрокаленным и прокаленным каолином при разном равновесном pH раствора, в г P_2O_5 на 100 г минерала

1 — каолин непрокаленный; *2* — каолин прокаленный.

Исследование хода поглощения ионов фосфорной кислоты глинистыми минералами во времени при различной длительности их взаимодействия с раствором фосфорной кислоты и при разном равновесном pH дают дополнительные материалы к пониманию механизма поглощения фосфатов в разных условиях.

В опытах Колемана (1945) показано, что монтмориллонит поглощает за 24 часа одинаковое количество ионов фосфорной кислоты, независимо от равновесной реакции среды, за 30 же дней — больше фосфатов при pH<5; между тем каолинит уже за 24 часа взаимодействия с раствором фосфата поглощает больше фосфатов при кислой реакции (еще более резкие разницы отмечаются при 30-дневном настаивании). Из этих данных устанавливаются двоякого рода механизмы поглощения фосфатов: один из них проявляется через короткий срок (24 часа) взаимодействия минералов с раствором фосфатов (в особенности при pH<5); другой механизм фиксации фосфатов действует более медленно и проявляется через более длительный срок взаимодействия этих минералов с фосфатами (30 дней), но также при pH<5.

С удалением полуторных окислов резко уменьшается способность глинистых минералов к поглощению фосфатов (цифры поглощения в этом случае не зависят от pH). Есть основание полагать, что поглощение фосфатов минералами в большей части зависит от содержащихся в них подвижных полуторных окислов (а не R_2O_3 самой кристаллической решетки минерала); сами же минералы лишь в слабой степени способны к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора. При взаимодействии минералов с раствором фосфатов имеет место заметное подщелачение реакции раствора в интервале pH<5, в особенности у каолинита; при pH же >5 в начальный момент имеет место или подщелачение (в случае бентонита) или pH вовсе не меняется. Можно полагать, что обменные реакции в системе глинистые минералы — раствор фосфатов идут между ионами фосфорной кислоты и ионами OH гидратов полуторных окислов, а не группы OH кристаллической решетки минерала.

Некоторые исследователи полагают, что в интервале pH 2—5 поглощение фосфатов обязано переходу в раствор полуторных окислов и их переосаждению в форме фосфатов полуторных окислов; в интервале pH 6—10 большая часть фосфатов поглощается коллоидами благодаря присутствию в них двухвалентных катионов; в интервале pH 4.5—7.5 поглощение фосфатов глинами связано с поверхностными реакциями, при которых ионы OH замещаются на ионы H_2PO_4. Таким образом, поглощение почвой фосфатов может итти в весьма широком интервале pH.

Раушаудури и Мюкерджи (1941) показали, что в ряде случаев почвы поглощают значительно больше фосфатов, чем титансодержащие минералы (ильменит), способные к поглощению фосфатов; авторы приходят к заключению, что некоторые почвы содержат другие соединения, более энергично поглощающие фосфаты. В этих же работах показано, что прокаливание почв (при котором в числе других изменений происходит потеря органического вещества почвы — гумуса) в большинстве случаев ведет к уменьшению их способности к поглощению фосфатов в труднорастворимой форме (судя по уменьшению фракции фосфатов, переходящих в четырехкратную последовательную вытяжку по Труогу).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Опыты по изучению поглощения разными минералами ионов фосфорной кислоты из раствора касались следующих двух основных вопросов:

1. Количественные показатели поглощения разными минералами фосфатов в различных условиях pH, концентрации растворов фосфатов (или соотношений навеска — количество мг P_2O_5).

2. Влияние предварительного прокаливания разных минералов на их способность к поглощению фосфатов в малодоступной для растений форме.

Влияние равновесной реакции при взаимодействии мусковита и биотита с раствором монокальцийфосфата при разном pH. Методика постановки опыта состояла в следующем: к навескам минерала в 0.5 г, пропущенного через сито в 0.1 мм, добавлялся раствор монокальцийфосфата из расчета 1.31 г P_2O_5 на 100 г минерала и путем предварительной добавки к минералу от 1 до 10 мл 0.2 *n* HCl, а затем фосфатного раствора достигалась различная величина равновесного pH суспензии. Смесь минерала с фосфатом доводилась водой в мерных колбочках до 50 мл, и после 16 часов взбалтывания количество P_2O_5 в фильтрате определялось (окрашиванием по методу Труога) в фотоколориметре. Полученные данные приведены в табл. 5 и на рис. 2.

Таблица 5

Поглощение мусковитом и биотитом фосфатов из раствора $Ca(H_2PO_4)_2$ при различной величине равновесной реакции (pH)

(к навеске минерала в 0.5 г добавлялось 6.55 мг P_2O_5 или 1.31 г P_2O_5 на 100 г минерала)

	Мусковит				
Равновесное pH *	6.9 **	4.1	3.4	2.9	—
Поглощено г P_2O_5 на 100 г минерала	0.49	1.05	0.93	0.39	—
	Биотит				
Равновесное pH *	7.0 **	4.6	3.3	3.1	1.9
Поглощено г P_2O_5 на 100 г минерала	0.41	1.02	0.85	0.92	0.36

* Исходный раствор $Ca(H_2PO_4)_2$ в отсутствие минерала имел pH = 3.9.
** В этой вытяжке (контрольной) HCl не добавлялась; в результате взаимодействия с минералом равновесное pH сдвинулось в щелочную сторону.

Таблица 6

Поглощение разными минералами фосфатов из раствора $Ca(H_2PO_4)_2$ при подкислении равновесной реакции суспензии (pH)

(в г P_2O_5 на 100 г минерала)

Минералы	pH *		Из 1.31 г P_2O_5 поглощено минералом	
	контроль	подкисление	контроль	подкисление
Флогопит	6.8	3.8	0.26	0.43
Нонтронит	6.4	3.2	0.19	0.28
Натролит	6.4	3.7	0.15	1.02
Пирофиллит	5.3	2.6	0.10	0.07
Микроклин	5.8	2.6	0.10	0.07
Тальк	6.4	2.6	0.10	0.05
Альбит	5.8	2.5	0.10	0.02
Олигоклаз	6.0	2.6	0.09	0.05
Гидрослюда	5.3	2.7	0.06	0.12
Каолин	5.5	2.6	0.07	0.07
Кремнегель	5.1	2.5	0.05	0.08
Монтмориллонит	6.7	5.2	0.08	0.04
Титанит	5.2	2.9	0.01	0.02
Лимонит	5.5	2.6	0.25	0.37
Гематит	6.0	3.3	0.18	0.55
Fe_2O_3	4.9	2.5	0.17	0.27
Лепидолит	5.8	2.8	0.17	0.03
Боксит	5.4	3.0	0.14	0.38
Ильменит	5.0	2.6	0.08	0.14
Магнетит	6.2	2.8	0.08	0.08
Глауконитовый песок	5.6	2.8	0.14	0.11
Болотная руда	7.2	7.0	0.84	0.84
Желтобурая глина	5.0	2.7	0.26	0.23
Серая глина	6.3	5.5	0.14	0.06
Углистая глина	6.1	3.2	0.14	0.11

* Исходный раствор $Ca(H_2PO_4)_2$ до взаимодействия с минералами имел pH = 3.9.

Из данных табл. 5 видно, что количество поглощенных разными слюдами фосфатов зависело от pH.

Из приведенных в табл. 6 данных видно, что в большинстве случаев подкисление повысило способность глинистых минералов и других сорбентов к поглощению ионов PO_4, за немногими исключениями: гидрослюда, кремнегель, глауконитовый песок, углистая глина и др.; в этих случаях равновесное pH было около 3, что обычно связано с разложением минерала и с разрушением его поглощающего комплекса. Можно полагать, что при дальнейшем подкислении равновесной реакции в опыте с разными минералами количество поглощенной фосфорной кислоты окажется заметно сниженным.

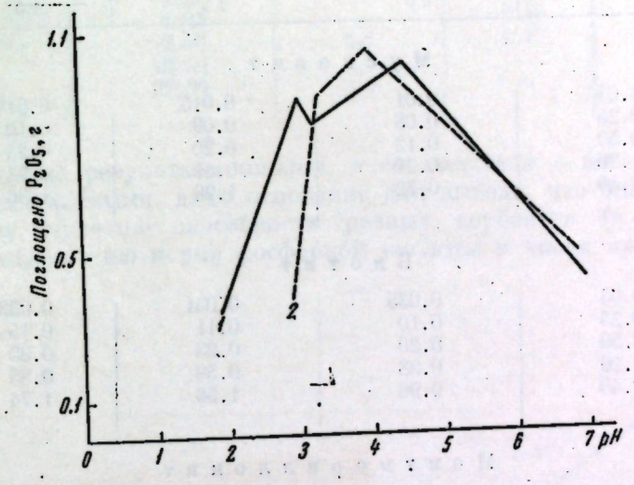


Рис. 2. Поглощение ионов фосфорной кислоты мусковитом и биотитом при разном равновесном pH раствора, в г P_2O_5 на 100 г минерала

1 — биотит; *2* — мусковит.

Результаты опытов, приведенных в табл. 5 и 6, таким образом подчеркивают значение pH при учете способности разных минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты. Этот вывод совпадает с мнением некоторых исследователей о наличии двух типов поглощения фосфатов глинами:

1) каолинитовый тип — при котором поглощение ионов фосфорной кислоты увеличивается со снижением реакции до pH~3 и, наоборот, уменьшается при pH<3;

2) бентонитовый тип — при котором поглощение растет в обратную сторону: от pH~3 до pH~7—8.

Приведем данные о влиянии величины навески и концентрации раствора на количество поглощенных из него фосфатов. Опыт был проведен с тонкоразмолотыми мусковитом, биотитом и монтмориллонитом (пропущенными через сито в 0.1 мм); навески в 0.5, 2.5 и 5.0 г настаивались взбалтыванием в течение 16 часов при комнатной температуре с разным количеством раствора $Ca(H_2PO_4)_2$. Суспензии предварительно (до взбалтывания) доводились до 50 мл. По окончании срока взаимодействия в фильтрате определялась концентрация P_2O_5 в растворе, а по разности с исходной концентрацией — количество ионов фосфорной кислоты,

поглощенной минералами. Результаты анализа, пересчитанные в г P_2O_5 на 100 г минерала, приведены в табл. 7 и на рис. 3.

Таблица 7

Поглощение ионов фосфорной кислоты мусковитом, биотитом и монтмориллонитом в зависимости от величины навески и количества добавленного монокальцийфосфата

(в г P_2O_5 на 100 г минерала)

Добавлено P_2O_5 к минералам	Поглощено P_2O_5 минералами при следующих величинах навесок, в г		
	0.5	2.5	5.0
Мусковит			
0.05	0.01	0.015	0.014
0.25	0.08	0.09	0.10
0.50	0.12	0.20	0.23
1.20	0.37	0.60	0.73
2.40	0.72	1.28	1.56
Биотит			
0.05	0.035	0.031	0.033
0.25	0.10	0.11	0.15
0.50	0.20	0.23	0.30
1.20	0.38	0.56	0.85
2.40	0.96	1.56	1.74
Монтмориллонит			
0.05	0.01	0.02	—
0.25	0.05	0.04	0.03
0.50	0.06	0.06	0.09
1.20	0.20	0.24	0.37
2.40	0.40	0.74	0.98

Полученные данные показывают, что при одной и той же навеске минерала растет количество поглощенной P_2O_5 с увеличением ее концентрации (см. вертикальные ряды цифр); с другой стороны, при разных навесках (0.5, 2.5 и 5.0 г), но при одинаковом количестве P_2O_5 на 100 г минерала (или, что то же, при одинаковом отношении величин добавленной P_2O_5 к навеске минерала), количество поглощенной им P_2O_5 растет с увеличением навески, повидимому в результате такого подщелачивания равновесного pH, которое уже обусловливает выпадение основных фосфатов.

Приведем несколько цифр из опыта по поглощению ионов фосфорной кислоты основным фосфатом алюминия— препарат этот был в свое время приготовлен Д. М. Хейфец (см. работу Аскинази и Хейфец, 1938) при отношении в исходном растворе $\frac{Al_2O_3}{P_2O_5}$ около 3 и при равновесной реакции осаждения около pH = 4 (табл. 8).

Приведенные в табл. 8 данные по поглощению ионов фосфорной кислоты основным фосфатом алюминия приводят к тем же закономерностям: количество поглощенной препаратом P_2O_5 (в пересчете на 100 г сорбента) сильно растет по мере увеличения концентрации добавленного раствора фосфорнокислой соли.

Таблица 8

Поглощение основным фосфатом алюминия ионов фосфорной кислоты из разных концентраций раствора $Ca(H_2PO_4)_2$. Количество P_2O_5 в г на 100 г препарата

Добавлено к препарату P_2O_5	Поглощено P_2O_5 при величине навесок, в г	
	0.05	0.5
0.25	—	0.24
1.25	—	1.18
2.50	2.1	2.15
12.50	4.3	—
25.00	5.0	—

Изложенные результаты опытов, в соответствии с имеющимися литературными данными, дают основание для вывода, что опыты по сравнительному изучению способности разных сорбентов (в том числе и почв) к поглощению ионов фосфорной кислоты в числе прочих равных

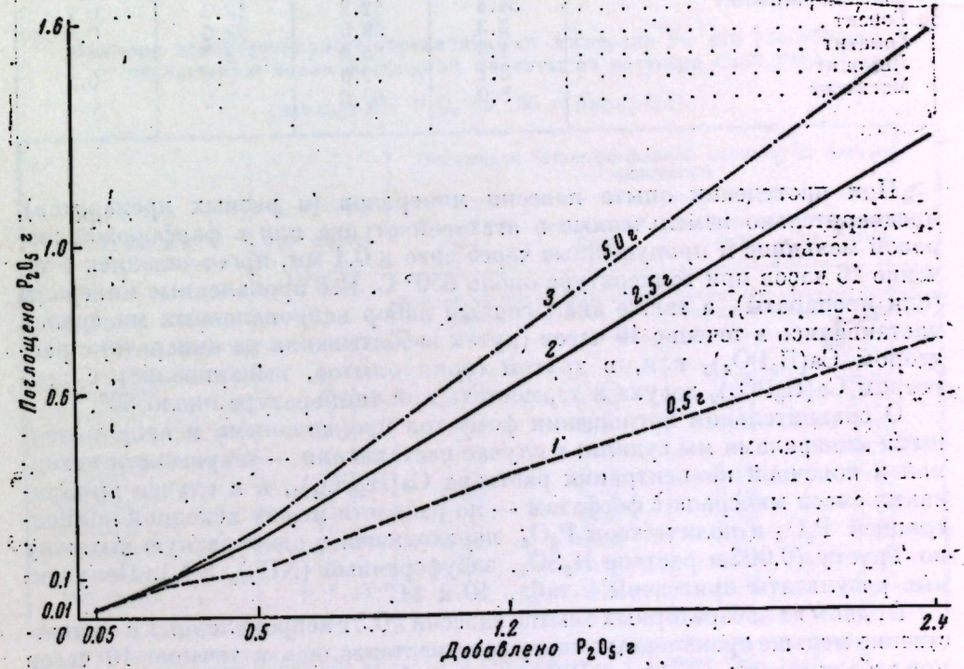


Рис. 3. Поглощение ионов фосфорной кислоты мусковитом в зависимости от величины навески и количества добавленной соли $Ca(H_2PO_4)_2$

1 — навеска минерала 0.5 г; *2* — навеска минерала 2.5 г; *3* — навеска минерала 5.0 г.

условий (температура, время взаимодействия и т. д.) следует проводить, исходя из одинаковых количеств сорбента и одинаковой величины pH и концентрации добавленного раствора фосфорнокислой соли (например, $Ca(H_2PO_4)_2$ или др.).

В литературном обзоре были приведены некоторые результаты опытов по изменению поглотительной способности каолинита после предварительной его обработки щелочью, измельчения, нагревания и прокаливания. Все эти данные представляют определенный интерес для понимания механизма поглощения ионов фосфорной кислоты глинистыми минералами. Наши исследования по влиянию прокаливания на поглощение фосфатов преследовали ту же цель и были проведены со следующими минералами: мусковит, биотит, каолин, монтмориллонит, гидрат окиси алюминия (химически чистый реактив), гидрат окиси железа (химически чистый реактив), гематит, лимонит, боксит и магнетит. Результаты химического анализа этих минералов представлены в табл. 9.

Таблица 9

Химический состав некоторых минералов

(данные валового анализа в %)

Минералы	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5
Мусковит	44.2	12.2	27.3	Нет
Биотит	36.4	30,5	14.1	„
Каолин	46.8	Нет	41.8	0.1
Монтмориллонит	54.4	12.2	13.3	0.1
Боксит	3.3	59.0	27.0	0.4
Гематит	1.3	85.4	2.7	0.2
Лимонит	8.1	72.0	3.4	0.2
Магнетит	8.0	82.0	1.8	0.1

При проведении опыта навески минералов (и разных препаратов), предварительно измельченные в агатовой ступке или в фарфоровой шаровой мельнице и пропущенные через сито в 0.1 мм, прокаливались в течение 16 часов при температуре около 650° С. Все прокаленные минералы (или препараты), а также аналогичный набор непрокаленных минералов настаивались в течение 16 часов (путем взбалтывания на аппарате) с раствором $Ca(H_2PO_4)_2$ или, в другой серии опытов, выпаривались с раствором $Ca(H_2PO_4)_2$ досуха в термостате при температуре около 50°.

О сравнительном поглощении фосфатов прокаленными и непрокаленными минералами мы судили: в случае настаивания — по разности исходной и конечной концентрации раствора $Ca(H_2PO_4)_2$, а в случае выпаривания смеси минерала с фосфатом — по разности между исходной концентрацией P_2O_5 и количеством P_2O_5, переходящей в однократную вытяжку по Труогу (0.002 n раствор H_2SO_4, забуференный $(NH_4)_2SO_4$). Полученные результаты приведены в табл. 10 и 11.

В одном из лабораторных опытов навески в 0.5 г непрокаленных и соответственно меньше прокаленных минералов настаивались в течение 16 часов при взбалтывании с 6.44 мг P_2O_5 в растворе $Ca(H_2PO_4)_2$ (что составляет 1.29 г P_2O_5 на 100 г минерала). Результаты поглощения ионов фосфорной кислоты разными минералами, рассчитанные по изменению концентрации P_2O_5 в растворе до и после опыта, приведены в табл. 10. Из этих данных видно, что прокаливание мало меняет способность к поглощению фосфатов у мусковита; резко ее уменьшает у биотита, гематита и особенно у гидрата окиси железа (в 11 раз) и, наоборот, резко ее увеличивает у гидрата окиси алюминия (в 12 раз) и боксита (втрое). Предварительный вегетационный опыт в песчаных культурах (смесь Гельригеля), поставленный в небольших фарфоровых стаканах с озимой рожью, подтвердил данные лабораторных исследований, причем особенно резкие разницы в усвоении растениями P_2O_5 были получены по фону $Fe(OH)_3$ и $Al(OH)_3$ (лабораторные реактивы).

В последующих вегетационных опытах при внесении в сосуды непрокаленного $Fe(OH)_3$ были получены также ничтожные величины урожая и

Таблица 10

Влияние предварительного прокаливания минерала на его способность к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора $Ca(H_2PO_4)_2$ *

Минералы	% потери при прокаливании	Поглощено P_2O_5 в мг на 100 г минерала	
		непрокаленного	прокаленного
Мусковит	4.6	0.26	0.23
Биотит	1.9	0.34	0.17
Каолин	13.3	0.06	0.25
Монтмориллонит	19.1	0.10	0.25
$Al(OH)_3$	32.2	0.09	1.08
$Fe(OH)_3$	11.1	1.29	0.12
Гематит	16.4	0.24	0.16
Боксит	12.6	0.25	0.76

* Навески минерала в 0.5 г непрокаленного или предварительно прокаленного (16 час. при 650°) настаивались в течение 16 час. при взбалтывании с 6.44 мг P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$ или 1.29 г P_2O_5 в пересчете на 100 г минерала или другого сорбента.

Таблица 11

Влияние предварительного прокаливания минерала на его способность к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора $Ca(H_2PO_4)_2$ *

(данные в г P_2O_5 на 100 г минерала)

Минералы	% потери при прокаливании	Поглощено ионов фосфорной кислоты из раствора минералом			
		непрокаленным	прокаленным	непрокаленным	прокаленным
		расчет по изменению концентрации P_2O_5		расчет по количеству P_2O_5, неизвлеченной по Труогу	
Мусковит	4.2	0.06	0.08	0.06	0.14
Биотит	2.7	0.07	0.05	0.17	0.11
Каолин	10.6	0.08	0.10	0.04	0.10
Монтмориллонит	13.1	0.05	0.09	—	0.13
$Al(OH)_3$	32.2	0.05	0.15	0.08	0.25
Боксит	11.7	0.09	0.25	0.08	0.22
$Fe(OH)_3$	12.3	0.25	0.06	0.23	0.12
Гематит	10.9	0.09	0.04	0.13	0.07
Лимонит	13.04	0.25	0.06	0.21	0.19
Магнетит	+ 1.44**	0.02	0.03	0.02	0.02

* Навески минерала в 0.5 г непрокаленного или после предварительного прокаливания при 650° настаивались в течение 16 час. при взбалтывании с 1.26 мг P_2O_5 (или 0.25 г P_2O_5 на 100 г минерала) или выпаривались в термостате досуха при 50°.

** В этом случае вместо потери получена небольшая прибавка в весе минерала после прокаливания, что связано, повидимому, с его окислением — присоединением кислорода.

содержания в нем P_2O_5; между тем при внесении $Fe(OH)_3$ после его предварительного прокаливания урожаи и содержание в них P_2O_5 оказались близкими к таковым по полной смеси Гельригеля.[1] Аналогичные, но менее четкие данные были получены для других железосодержащих минералов (гематит, лимонит). При использовании в тех же условиях опыта гидрата окиси алюминия (лабораторный реактив) и боксита величины урожая и содержания в нем P_2O_5 оказались сниженными в случае прокаливания этих минералов.

Лабораторные и вегетационные опыты (песчаные культуры в смеси Гельригеля) на эту тему были повторены, причем для получения в исследовании более четких результатов значительно расширено отношение величин $\frac{\text{навеска минерала}}{\text{добавлено г } P_2O_5}$; с этой целью в вегетационном опыте в каждый сосуд вносилось (вместо 8 г) по 40 г минерала-сорбента (исходного или соответственно меньше прокаленного), выпаренного при 50° со 100 мг P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$. В лабораторном исследовании было также сохранено это соотношение между сорбентом и P_2O_5. В табл. 11 приведены результаты лабораторного опыта; следует указать, что учет поглощения ионов фосфорной кислоты минералом был проведен двумя способами:

1) по разности концентрации P_2O_5 в растворе до и после взаимодействия с непрокаленными и прокаленными минералами;

2) по количеству P_2O_5, не переходящей в однократную вытяжку с 0.002 *n* H_2SO_4 по Труогу в случае выпаривания минералов с раствором $Ca(H_2PO_4)_2$.

В данных табл. 11, с одной стороны, выделяется препарат $Al(OH)_3$ и боксит с сильно увеличенной способностью (втрое) к поглощению P_2O_5 после его прокаливания, с другой — $Fe(OH)_3$, гематит и лимонит с сильно уменьшенной способностью к поглощению P_2O_5 в этих же условиях опыта. Для слюд, монтмориллонита и каолинита также получена разница в их способности к поглощению фосфатов до и после прокаливания (относительные данные по обоим вариантам лабораторного метода в общем совпадают).

Следует отметить, что полученные для $Fe(OH)_3$ величины потерь в весе при длительном прокаливании (16 час. при 650°) являются сильно сниженными по сравнению с теоретическими расчетами (11% вместо 25%); для гидрата окиси алюминия величины потерь при его прокаливании более близки к теоретическим расчетам.

Закономерности, полученные в лабораторных исследованиях, мы пытались повторно проверить в вегетационных опытах. Опыты были поставлены в песчаных культурах, причем в отличие от нормальной смеси Гельригеля KH_2PO_4 был заменен на $Ca(H_2PO_4)_2$ (100 мг P_2O_5 на сосуд) с дополнительным внесением K_2O в форме K_2SO_4; кроме того, изучавшиеся минералы (навески исходные по 40 г каждая) непрокаленные и прокаленные перед их внесением в сосуды выпаривались в термостате при 50° со 100 мг P_2O_5. Опыт был проведен с кукурузой в стеклянных сосудах, вмещавших 3900 г кварцевого песка; посев проросших семян кукурузы произведен 15 июня, уборка урожая — 4 сентября (в период выбрасывания султана). За время вегетации кукурузы дополнительно во все сосуды вносилось по 100 мг N (в форме NH_4NO_3) в два приема: 3 и 9 августа.

[1] При постановке вегетационного опыта в вариантах с прокаленным и с непрокаленным минералами последние предварительно выпаривались с вносимой дозой P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$ при тех же отношениях, как и в лабораторном исследовании (см. табл. 11).

После уборки урожай был проанализирован. Данные урожая и содержания в нем P_2H_5 приведены в табл. 12 (см. также рис. 4, 5 и 6).

Таблица 12

Влияние предварительного прокаливания минералов на их способность к поглощению фосфатов в малодоступной для растений форме. Вегетационный опыт в песчаных культурах с кукурузой на смеси Гельригеля

(урожай в г, P_2O_5 в урожае в мг на сосуд).

Минерал, внесенный совместно со 100 мг P_2O_5 в смесь Гельригеля	Урожай	Прибавка в урожае от P_2O_5	P_2O_5 в урожае	Усвоено растением P_2O_5 из фосфатированных минералов	
				в г	в %
Без P_2O_5 (контроль)	2.4	—	4.8	—	—
50 мг P_2O_5 (без минералов)	11.5	9.1	18.7	13.9	46
100 мг P_2O_5 (без минералов)	20.6	18.2	35.4	30.6	100
Мусковит	18.5	16.1	28.2	23.4	76
» прокаленный	17.4	14.9	27.5	22.7	74
Биотит	14.3	11.9	20.2	15.4	50
» прокаленный	20.5	18.1	34.4	29.6	98
Каолин	20.1	17.7	38.5	33.7	110
» прокаленный	13.1	10.7	19.6	14.7	48
Монтмориллонит	16.4	13.9	23.6	18.8	61
» прокаленный	15.1	12.7	25.2	20.3	66
Фосфат алюминия основной *	10.7	8.3	18.9	14.0	46
» железа основной *	15.1	12.7	25.9	21.1	69
Гидроокись алюминия	13.5	11.1	21.6	16.8	55
» » прокаленная	3.4	1.0	4.9	0.1	—
Боксит	16.2	13.8	23.6	18.8	61
» прокаленный	11.0	8.6	18.4	13.6	44
Гидроокись железа	1.8	—0.6	2.8	—2.0	—
» » прокаленная	18.7	16.3	28.5	23.7	78
Гематит	13.1	10.7	20.6	15.8	52
» прокаленный	22.1	19.7	39.5	34.7	113
Лимонит	5.5	3.1	9.3	4.5	15
» прокаленный	21.9	19.2	38.3	33.5	110
Магнетит	17.2	14.8	29.2	24.4	80
» прокаленный	18.2	15.8	32.5	27.6	90

* Эти препараты не подвергались прокаливанию.

Рассмотрим в табл. 12 прежде всего данные урожая и содержания в нем P_2O_5 при внесении в сосуд фосфатов совместно с непрокаленными минералами. Особенно резкое снижение урожая, а также усвоения растением P_2O_5 получено по гидроокиси железа (данные ниже, чем по контролю — без P_2O_5) и по лимониту; менее резкое снижение урожая (на 40%) и усвоение растением P_2O_5 (на 50% от нормальной смеси) получено по гематиту, гидроокиси алюминия и биотиту; по остальным минералам снижение было более умеренным.[1]

[1] Содержавший в некоторых из изучавшихся минералах фосфор (см. табл. 9) оказался в условиях опыта недоступным растениям.

содержания в нем P_2O_5; между тем при внесении $Fe(OH)_3$ после его предварительного прокаливания урожаи и содержание в них P_2O_5 оказались близкими к таковым по полной смеси Гельригеля.[1] Аналогичные, но менее четкие данные были получены для других железосодержащих минералов (гематит, лимонит). При использовании в тех же условиях опыта гидрата окиси алюминия (лабораторный реактив) и боксита величины урожая и содержания в нем P_2O_5 оказались сниженными в случае прокаливания этих минералов.

Лабораторные и вегетационные опыты (песчаные культуры в смеси Гельригеля) на эту тему были повторены, причем для получения в исследовании более четких результатов значительно расширено отношение величин $\frac{\text{навеска минерала}}{\text{добавлено г } P_2O_5}$; с этой целью в вегетационном опыте в каждый сосуд вносилось (вместо 8 г) по 40 г минерала-сорбента (исходного или соответственно меньше прокаленного), выпаренного при 50° со 100 мг P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$. В лабораторном исследовании было также сохранено это соотношение между сорбентом и P_2O_5. В табл. 11 приведены результаты лабораторного опыта; следует указать, что учет поглощения ионов фосфорной кислоты минералом был проведен двумя способами:

1) по разности концентрации P_2O_5 в растворе до и после взаимодействия с непрокаленными и прокаленными минералами;

2) по количеству P_2O_5, не переходящей в однократную вытяжку с 0.002 *n* H_2SO_4 по Труогу в случае выпаривания минералов с раствором $Ca(H_2PO_4)_2$.

В данных табл. 11, с одной стороны, выделяется препарат $Al(OH)_3$ и боксит с сильно увеличенной способностью (втрое) к поглощению P_2O_5 после его прокаливания, с другой — $Fe(OH)_3$, гематит и лимонит с сильно уменьшенной способностью к поглощению P_2O_5 в этих же условиях опыта. Для слюд, монтмориллонита и каолинита также получена разница в их способности к поглощению фосфатов до и после прокаливания (относительные данные по обоим вариантам лабораторного метода в общем совпадают).

Следует отметить, что полученные для $Fe(OH)_3$ величины потерь в весе при длительном прокаливании (16 час. при 650°) являются сильно сниженными по сравнению с теоретическими расчетами (11% вместо 25%); для гидрата окиси алюминия величины потерь при его прокаливании более близки к теоретическим расчетам.

Закономерности, полученные в лабораторных исследованиях, мы попытались повторно проверить в вегетационных опытах. Опыты были поставлены в песчаных культурах, причем в отличие от нормальной смеси Гельригеля KH_2PO_4 был заменен на $Ca(H_2PO_4)_2$ (100 мг P_2O_5 на сосуд) с дополнительным внесением K_2O в форме K_2SO_4; кроме того, изучавшиеся минералы (навески исходные по 40 г каждая) непрокаленные и прокаленные перед их внесением в сосуды выпаривались в термостате при 50° со 100 мг P_2O_5. Опыт был проведен с кукурузой в стеклянных сосудах, вмещавших 3900 г кварцевого песка; посев проросших семян кукурузы произведен 15 июня, уборка урожая — 4 сентября (в период выбрасывания султана). За время вегетации кукурузы дополнительно во все сосуды вносилось по 100 мг N (в форме NH_4NO_3) в два приема: 3 и 9 августа.

[1] При постановке вегетационного опыта в вариантах с прокаленным и с непрокаленным минералами последние предварительно выпаривались с вносимой дозой P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$ при тех же отношениях, как и в лабораторном исследовании (см. табл. 11).

После уборки урожай был проанализирован. Данные урожая и содержания в нем P_2H_5 приведены в табл. 12 (см. также рис. 4, 5 и 6).

Таблица 12

Влияние предварительного прокаливания минералов на их способность к поглощению фосфатов в малодоступной для растений форме. Вегетационный опыт в песчаных культурах с кукурузой на смеси Гельригеля

(урожай в г, P_2O_5 в урожае в мг на сосуд).

Минерал, внесенный совместно со 100 мг P_2O_5 в смесь Гельригеля	Урожай	Прибавка в урожае от P_2O_5	P_2O_5 в урожае	Усвоено растением P_2O_5 из фосфатированных минералов	
				в г	в %
Без P_2O_5 (контроль)	2.4	—	4.8	—	—
50 мг P_2O_5 (без минералов)	11.5	9.1	18.7	13.9	46
100 мг P_2O_5 (без минералов)	20.6	18.2	35.4	30.6	100
Мусковит	18.5	16.1	28.2	23.4	76
» прокаленный	17.4	14.9	27.5	22.7	74
Биотит	14.3	11.9	20.2	15.4	50
» прокаленный	20.5	18.1	34.4	29.6	98
Каолин	20.1	17.7	38.5	33.7	110
» прокаленный	13.1	10.7	19.6	14.7	48
Монтмориллонит	16.4	13.9	23.6	18.8	61
» прокаленный	15.1	12.7	25.2	20.3	66
Фосфат алюминия основной *	10.7	8.3	18.9	14.0	46
» железа основной *	15.1	12.7	25.9	21.1	69
Гидроокись алюминия	13.5	11.1	21.6	16.8	55
» » прокаленная	3.4	1.0	4.9	0.1	—
Боксит	16.2	13.8	23.6	18.8	61
» прокаленный	11.0	8.6	18.4	13.6	44
Гидроокись железа	1.8	—0.6	2.8	—2.0	—
» » прокаленная	18.7	16.3	28.5	23.7	78
Гематит	13.1	10.7	20.6	15.8	52
» прокаленный	22.1	19.7	39.5	34.7	113
Лимонит	5.5	3.1	9.3	4.5	15
» прокаленный	21.9	19.2	38.3	33.5	110
Магнетит	17.2	14.8	29.2	24.4	80
» прокаленный	18.2	15.8	32.5	27.6	90

* Эти препараты не подвергались прокаливанию.

Рассмотрим в табл. 12 прежде всего данные урожая и содержания в нем P_2O_5 при внесении в сосуд фосфатов совместно с непрокаленными минералами. Особенно резкое снижение урожая, а также усвоения растением P_2O_5 получено по гидроокиси железа (данные ниже, чем по контролю — без P_2O_5) и по лимониту; менее резкое снижение урожая (на 40%) и усвоение растением P_2O_5 (на 50% от нормальной смеси) получено по гематиту, гидроокиси алюминия и биотиту; по остальным минералам снижение было более умеренным.[1]

[1] Содержавший в некоторых из изучавшихся минералах фосфор (см. табл. 9) оказался в условиях опыта недоступным растениям.

Влияние предварительного прокаливания минералов на их способность к удержанию фосфатов в малодоступной для растений форме оказалось различным. В этом опыте особенно выделялись гидроокиси алюминия и железа. Гидроокись алюминия после фосфатирования (40 г выпаривалось со 100 мг P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$) снизила в условиях опыта доступность фосфора кукурузе до 55% от нормальной питательной смеси (при отсутствии в последней гидрата окиси алюминия). Под влиянием предварительного прокаливания этого же препарата $Al(OH)_3$ и дальнейшего аналогичного его выпаривания с фосфорнокислым раствором

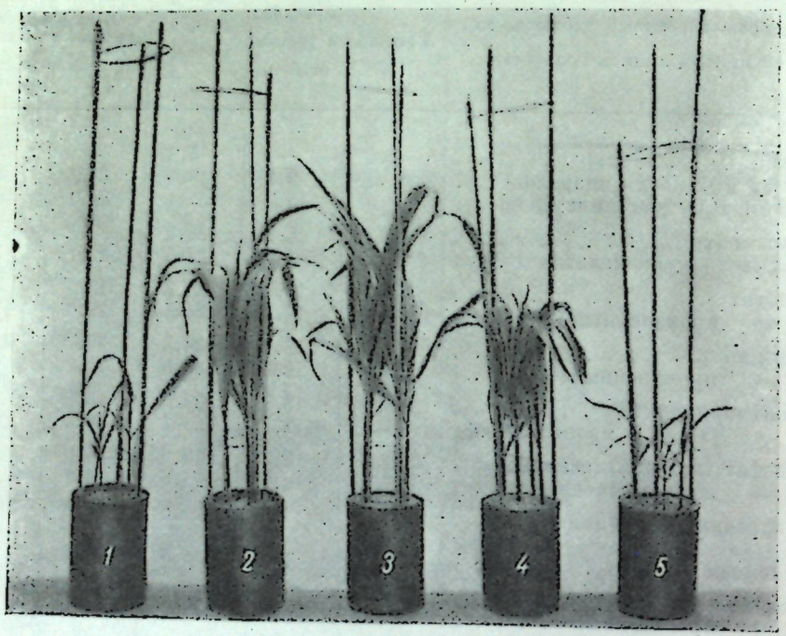


Рис. 4. Доступность растениям ионов фосфорной кислоты, поглощенных гидратами окисей алюминия и железа (химические реактивы)

1 — смесь Гельригеля без P_2O_5; *2* — смесь Гельригеля с 50 мг P_2O_5; *3* — то же со 100 мг P_2O_5; *4* — то же + $Al(OH)_3$; *5* — то же + $Fe(OH)_3$.

урожай уменьшился в 4 раза (с 13.5 до 3.4 г), причем добавленный к прокаленному препарату фосфор оказался совершенно недоступным растениям. В менее резкой форме, но с тем же направлением изменений выявилось влияние фосфатированного боксита, который благодаря предварительному (до его насыщения фосфатами) прокаливанию уменьшил урожай и содержание в растении P_2O_5 в полтора раза. Интересно, что данные химического анализа показали наличие в нем значительных количеств железа (см. табл. 9).

Гидрат окиси железа вел себя совсем по-иному: добавка к нему принятой по схеме дозы фосфатов не повышала ни урожая, ни содержания фосфора в урожае по сравнению с контролем (без P_2O_5); при предварительном же (до насыщения фосфатами) его прокаливании величины урожая и усвоения P_2O_5 урожаем оказались на этом фосфатированном препарате близкими к нормальной смеси Гельригеля (около 90%). По аналогии с гидратом окиси железа такая же закономерность по влиянию прокаливания на адсорбционные свойства минералов получена для

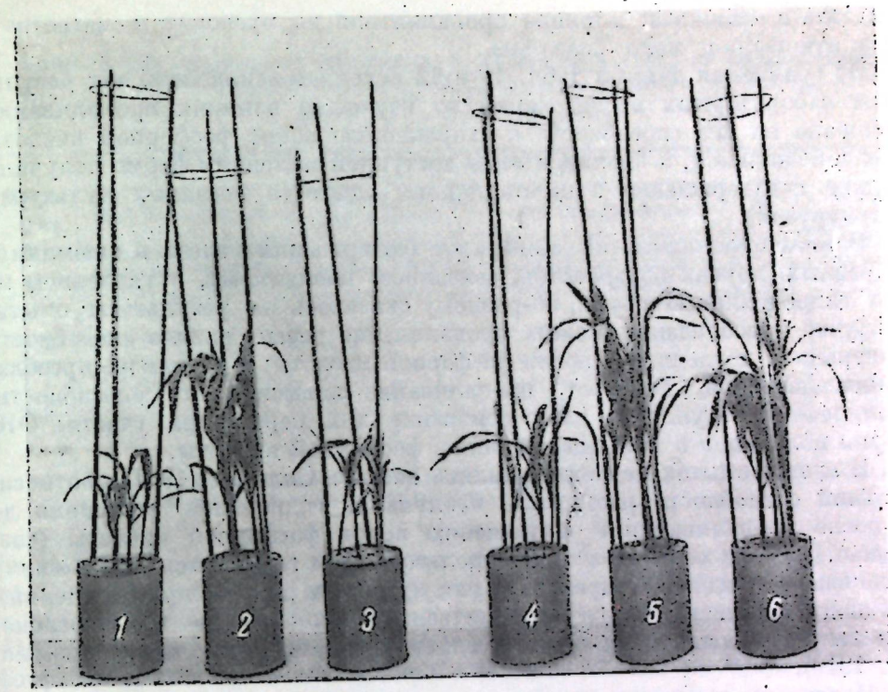


Рис. 5. Доступность растениям ионов фосфорной кислоты, поглощенных гидратом окиси алюминия или бокситом до и после их прокаливания

1 — смесь Гельригеля без P_2O_5 + $Al(OH)_3$ прокаленный; *2* — смесь Гельригеля со 100 мг P_2O_5 + $Al(OH)_3$; *3* — то же + $Al(OH)_3$ прокаленный; *4* — смесь Гельригеля без P_2O_5 + боксит прокаленный; *5* — смесь Гельригели со 100 мг P_2O_5 + боксит; *6* — то же + боксит прокаленный.

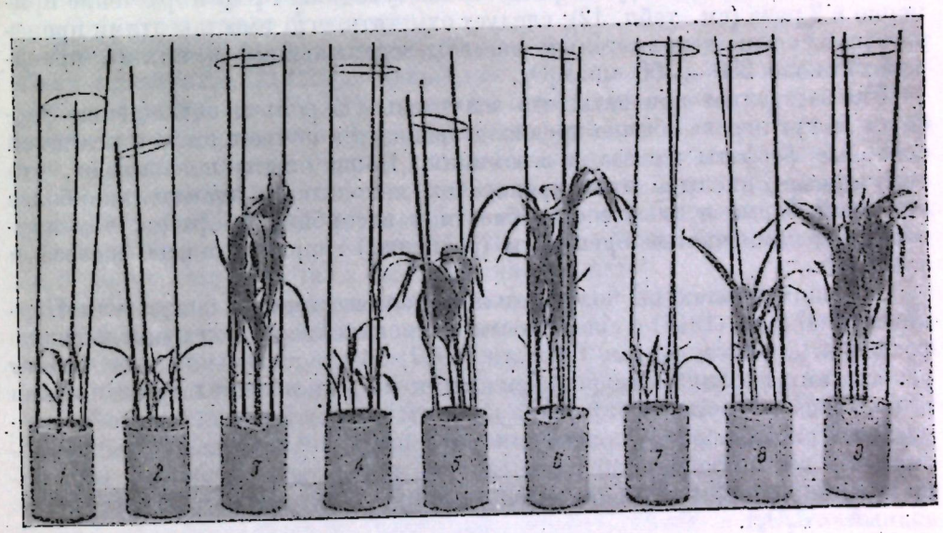


Рис. 6. Доступность растениям ионов фосфорной кислоты, поглощенных гидратом окиси железа, гематитом или лимонитом до и после их прокаливания

1 — смесь Гельригели без P_2O_5 + $Fe(OH)_3$ прокаленный; *2* — смесь Гельригеля со 100 мг P_2O_5 + $Fe(OH)_3$; *3* — то же + $Fe(OH)_3$ прокаленный; *4* — смесь Гельригеля без P_2O_5 + гематит прокаленный; *5* — смесь Гельригеля со 100 мг P_2O_5 + гематит; *6* — то же + гематит прокаленный; *7* — смесь Гельригеля без P_2O_5 + лимонит прокаленный; *8* — смесь Гельригеля со 100 мг P_2O_5 + лимонит; *9* — то же + лимонит прокаленный.

гематита и лимонита; влияние прокаливания на мусковит и магнетит в этом отношении мало сказалось.

Из сравнения данных табл. 11 и 12 нетрудно заключить, что результаты лабораторных исследований по изучению влияния прокаливания минерала на его способность к закреплению ионов фосфорной кислоты в малоподвижной, а значит, и менее доступной растениям форме получили полное подтверждение в вегетационном опыте (в песчаных культурах с кукурузой).

Влияние прокаливания минералов (содержащих железо и алюминий) и разных других адсорбентов, связанное, повидимому, с удалением из них гидроксильных групп, по-разному сказалось на результаты опыта: в случае преобладания железа прокаливание резко снизило способность минерала к поглощению ионов фосфорной кислоты; в случае же преобладания алюминия, наоборот, прокаливание повысило эту способность. Полученные результаты дают основание для пересмотра участия ОН-групп коллоидов в поглощении ионов фосфорной кислоты.

В наших опытах не подтвердились данные Силинга (1947) об относительной способности растертого каолина и гидроокиси алюминия до и после прокаливания к поглощению ионов фосфорной кислоты (возможно, что это связано с тем, использована ли гидроокись алюминия в виде свежеосажденного препарата или препарата давнего приготовления); не подтвердились также количественные показатели по способности непрокаленных слюд к поглощению фосфатов (см. также Аскинази, 1949).

Интересно отметить, что использованные в опыте фосфаты железа и алюминия основного характера способны в значительной мере поглощать ионы фосфорной кислоты в малодоступной для растений форме: несмотря на то, что в опытах препараты фосфатов вносились в каждый сосуд в количестве 1.2 г (вместо 40 г каждого минерала), они снизили урожай растений в $1^1/_2$—2 раза, а поступление P_2O_5 в растение примерно в 2 раза (см. табл. 12); следует отметить, что вместе с этими препаратами в сосуды дополнительно внесены содержащиеся в них (в препаратах) около 250— 300 мг P_2O_5.

Это заставляет признать, что значительную роль в поглощении фосфатов могут играть обычно предполагающиеся в почве с кислой реакцией основные фосфаты железа и алюминия. Наши опыты показывают, что полуторные окислы в этих препаратах находятся в значительно более активной форме в смысле способности к адсорбции фосфатов, чем изучавшиеся нами чистые препараты (реактивы) гидратов окисей железа и алюминия.

В наших опытах не подтвердились количественные показатели Перкинса и Кинга (1944) о способности непрокаленных слюд к поглощению фосфатов, а также данные Силинга (1947) об относительной способности размолотого каолина и гидроокиси алюминия до и после их прокаливания к поглощению ионов фосфорной кислоты (в опытах последнего свежеосажденная гидроокись алюминия поглощала значительно бо́льшие количества ионов фосфорной кислоты, чем растертый в шаровой мельнице каолин, который в свою очередь поглощал больше фосфатов, чем безводный Al_2O_3).

Приведем в табл. 13 результаты наших исследований по изучению способности гидроокисей алюминия и железа до и после их прокаливания (16 часов при температуре 650° С) к поглощению ионов фосфорной кислоты.

Данные табл. 13 показывают, что свежеосажденный препарат $Al(OH)_3$ способен поглощать весьма значительные количества фосфатов

Таблица 13

Способность гидроокисей алюминия и железа до и после их прокаливания к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора $Ca(H_2PO_4)_2$

(в г P_2O_5 на 100 г сорбентов)

Добавлено P_2O_5	Поглощено P_2O_5							
	$Al(OH)_3$ (реактив)		$Al(OH)_3$ свежеосажденный *		$Fe(OH)_3$ (реактив)		$Fe(OH)_3$ свежеосажденный **	
	до прокаливания	после прокаливания	до прокаливания	после прокаливания	до прокаливания	после прокаливания	до прокаливания	после прокаливания
1.2	0.14	1.0	1.2	1.2	1.2	0.2	1.2	0.1
2.4	0.18	1.7	2.4	1.8	2.3	0.2	2.4	0.1
4.8	0.64	2.3	4.8	2.3	3.3	0.6	4.8	0.6
9.6	1.30	3.8	9.6	2.9	4.4	1.3	7.6	1.3

* Осажден за 2 дня до опыта из раствора $Al_2(SO_4)_3$ раствором NaOH при pH около 5.
** Осажден за 4 месяца до опыта из раствора $FeCl_3$.

(в условиях опыта все количество добавленных фосфатов — 9.6 г P_2O_5 на 100 г препарата); при этом после его прокаливания способность к поглощению фосфатов заметно снизилась. Лабораторный реактив $Al(OH)_3$ обнаружил значительно меньшую способность к поглощению фосфатов (раз в 8); после же прокаливания данные по поглощению из обоих препаратов алюминия оказались близкими. Отсюда становится понятным расхождение в оценке влияния прокаливания на способность гидроокиси алюминия к поглощению ионов фосфорной кислоты в наших опытах и в опытах Силинга (1947). Менее резкие различия в отношении способности к поглощению фосфатов получены с препаратами $Fe(OH)_3$ (в этом опыте так называемый «свежеосажденный» препарат пролежал в лаборатории около 4 месяцев).

Большие разницы были также обнаружены при получении термограмм обоих препаратов $Al(OH)_3$. Испытание способности к поглощению фосфатов у препаратов $Al(OH)_3$ после их предварительной сушки или прокаливания при разной температуре (на основании данных термограмм) дает основание предполагать, что лабораторный препарат $Al(OH)_3$ находится в кристаллическом состоянии и лишь после нагревания при температуре около 200° переходит в аморфное состояние; в последнем случае лабораторный препарат $Al(OH)_3$ и свежеосажденный выравниваются по их способности к поглощению фосфатов.

Необходимы дальнейшие исследования для выяснения причин различного поведения гидратов окисей алюминия и железа (и минералов, содержащих алюминий и железо) после их прокаливания в отношении способности к поглощению ионов фосфорной кислоты.

Выше мы отмечали различие в поведении гидроокисей железа и алюминия в отношении поглощения ими фосфатов до и после предварительного прокаливания этих препаратов. В литературе имеются многочисленные попытки определить содержание в почве свободных гидратов полуторных окислов (Джефри, Труог; см. Тюлин, 1946); к сожалению, до сих пор мы не располагаем достаточно достоверными данными в этом отношении, которые могли бы помочь осветить вопрос о факторах поглощения ионов фосфорной кислоты в почве.

Является общепризнанным, что в почве имеется несколько механизмов поглощения фосфатов; в частности, в нейтральных и слабокислых почвах

гумус является фактором, предотвращающим или ослабляющим возможность поглощения ионов фосфорной кислоты в почве. Поэтому после окисления гумуса, например путем прокаливания почвы, фиксирующая способность последней в отношении фосфатов должна повыситься.

Наличие в почве соединений алюминия (как, например, в размолотом каолините) может влиять в том же направлении, между тем преобладание в почве соединений типа гидрата окиси железа может резко снизить способность почвы к поглощению фосфатов после ее прокаливания. Это предложение нами проверялось в предварительном вегетационном опыте на двух почвах: а) краснозем из Анасеули и б) дерново-подзолистая среднесуглинистая почва Долгопрудной агрохимической опытной станции.

При проведении этого опыта навески почв, по 200 г каждая, прокаливались в течение 16 часов в муфеле при 650° С; после прокаливания те же навески выпаривались в термостате со 100 мг P_2O_5 в форме $Ca(H_2PO_4)_2$ при температуре около 50°; аналогичным образом насыщались фосфатами и исходные непрокаленные навески почвы.

Фосфатированные навески изучавшихся почв были в дальнейшем использованы в вегетационном опыте в песчаных культурах в питательной смеси Гельригеля, как источник P_2O_5 (вместо обычно применяемой соли — KH_2PO_4)[1]. Опыт поставлен в стеклянных сосудах с 3700 г песка и 200 г фосфатированной почвы; проростки растений кукурузы были высажены в сосуды 21 июля и зеленая масса убрана 24 сентября 1949 г.

Данные учета урожая сухой массы и анализа содержания P_2O_5 в урожае приведены в табл. 14.

Результаты этого предварительного опыта не могут быть использованы для прямого ответа на вопрос о преобладающих факторах поглощения ионов фосфорной кислоты в изучавшихся почвах. Полученные данные являются результатом лишь суммарного учета состояния ионов фосфорной кислоты, поглощенных этими почвами до и после их предварительного прокаливания.

В последующих опытах следовало бы применять другие методы удаления гумуса из почв (например, окисление с помощью марганцовокислого калия, перекиси водорода или более легкое их прокаливание); вместе с тем полученные в нашем вегетационном опыте прибавки по усвоению P_2O_5 растениями, при условии предварительного прокаливания фосфатированных навесок почв, заставляют предполагать, что значительную роль в этом поглощении фосфатов в изучавшихся почвах играют активные соединения железа (типа гидроокиси железа), благодаря которым в итоге снижается способность почв к поглощению фосфатов в малодоступной для растений форме, несмотря на удаление их после гумуса прокаливания.

Для других почвенных разностей суммарное влияние предварительного прокаливания на их способность к поглощению ионов фосфорной кислоты может быть иным — либо мало меняться, либо увеличиться.

Кратко подытоживая литературные данные и результаты экспериментов о поглощении ионов фосфорной кислоты разными глинистыми минералами, следует признать, что в рассмотренных опытах не установлены пределы дисперсности для разных минералов, при которых явление поглощения фосфатов резко обнаруживается.

[1] Калий в KH_2PO_4 замещался эквивалентным количеством его в форме K_2SO_4.

Таблица 14

Влияние предварительного прокаливания почвы на ее способность к поглощению фосфатов в малодоступной растениям форме. Вегетационный опыт в песчаных культурах

(данные урожая в г, P_2O_5 в урожае в мг на сосуд)

Сорбент, внесенный совместно со 100 мг P_2O_5 * в питательную смесь	Урожай	Прибавка урожая от P_2O_5	Содержание P_2O_5 в урожае	Усвоение растением P_2O_5 из фосфатированных сорбентов ** и из нормальной питательной смеси	
				мг	%
Без P_2O_5	1.60	—	3.3	—	—
50 мг P_2O_5 (без почвы)	2.93	1.33	6.9	3.6	19
100 мг P_2O_5 » »	8.14	6.54	22.2	18.9	100
$Fe(OH)_3$ + 100 мг P_2O_5	1.35	—0.25	2.5	—0.8	—
То же, но $Fe(OH)_3$ предварительно прокаленная	8.40	6.80	24.7	21.4	113
Красноземная почва из Анасеули (Институт чая и субтропич. культур) без P_2O_5	0.44	—1.16	1.3	—2.0	—
То же + 100 мг P_2O_5	2.18	0.58	6.6	3.3	17
» » но предварительно прокаленная	5.21	3.61	14.2	10.9	58
Дерновоподзолистая почва Долгопр. агрохим. опыт. ст., без P_2O_5	1.00	—0.60	2.7	—0.6	—
То же + 100 мг P_2O_5	4.40	2.80	17.5	14.2	75
» » но предварительно прокаленная	6.83	5.23	21.7	18.4	97

* В этом опыте в качестве источника P_2O_5 в смеси Гельригеля были использованы прокаленные и непрокаленные навески красноземной и дерновоподзолистой почвы каждая по 200 г, обогащенные фосфатами (путем выпаривания почвы в термостате со 100 мг P_2O_5 в виде раствора $Ca(H_2PO_4)_2$).

** $Fe(OH)_3$ или почва (см. схему опыта в таблице).

Необходимо также указать на условность сопоставления способности первичных и вторичных минералов к поглощению фосфатов при взятой тонине их помола (обычно при размере частиц, проходящих через сито 100 меш, или через сито с размером ячеек около 0,1 мм), так как первичные минералы при таком размоле остаются в более грубых фракциях и незначительно дробятся до илистой фракции.

Поэтому проведенные нами эксперименты считаем лишь первой стадией исследования, которая вместе с тем дала нам ориентировочные данные не только о способности разных минералов к поглощению в определенных условиях ионов фосфорной кислоты, но и о доступности последних в той или иной мере для растений. Такие данные в литературе почти не встречаются. Мы не забываем, что изученные в работе глинистые минералы являются составной частью почвы; в почве эти минералы находятся во взаимодействии с гумусом. Кроме того, в ней присутствуют и биологические факторы фиксации питательных элементов, что, несомненно, осложняет явление поглощения почвой фосфатов. Охватить более полно весь сложный комплекс условий в почве в отношении поглощения фосфатов — задача дальнейших исследований.

Литературные данные и проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

ВЫВОДЫ

1. Способность глинистых минералов к поглощению ионов фосфорной кислоты из раствора, весьма значительна и зависит от концентрации и pH равновесного раствора соли, от величины навески взятого минерала и от других условий.

Установлена значительная способность основных фосфатов железа и алюминия к поглощению из раствора ионов фосфорной кислоты в малодоступной для растений форме.

2. Поглощение некоторыми минералами фосфатов объясняют как наличием на поверхности минералов ионов OH, способных к обмену с ионами фосфорной кислоты из раствора с образованием в результате этой реакции молекул воды, так и наличием в них подвижных форм алюминия и железа. Каждое из этих объяснений имеет свое право на существование; допустимы и другие объяснения (например молекулярное поглощение фосфатов).

3. В опытах разных исследователей установлено, что способность к поглощению ионов фосфорной кислоты особенно сильно растет при высокой тонине размола некоторых минералов — каолинит и слюды; для других минералов (монтмориллонит) размол в условиях опыта (с размером частиц от 150 до 2 микронов) не влияет заметно на степень поглощения ими фосфатов. Необходимы дальнейшие исследования по изучению способности к поглощению фосфатов коллоидными фракциями минералов в малодоступной для растений форме.

4. В опытах авторов предварительное прокаливание минералов (или гидратов полуторокисей и др.) изменяет их способность к поглощению фосфатов в малодоступной для растений форме, в одних случаях — резко уменьшая ее ($Fe(OH)_3$, железосодержащие минералы или свежеосажденный $Al(OH)_3$), а в других случаях — резко ее увеличивая (лабораторный препарат $Al(OH)_3$, джиббсит и другие алюминийсодержащие минералы). Поведение биотита оказалось аналогично другим железосодержащим глинистым минералам; на мусковит и монтмориллонит (содержавших в своем составе значительные количества и железа и алюминия) предварительное их прокаливание не оказало существенного влияния в отношении поглощения ими фосфатов.

5. Данные изменения способности минералов к поглощению ионов из раствора были подтверждены в опытах по изучению доступности для растений ионов фосфорной кислоты, поглощенных непрокаленными и прокаленными минералами, а также непрокаленными и прокаленными почвами.

Необходимо продолжить исследования для дальнейшего уточнения возможного механизма поглощения минералами и почвенными сорбентами ионов фосфорной кислоты из раствора в малодоступной для растений форме.

ЛИТЕРАТУРА

Адерихин П. Г. Роль коллоидов в поглощении фосфорной кислоты почвами. Почвоведение, № 9, 1946.

Айдинян Р. Х. Выделение почвенных коллоидов без химической обработки. Колл. журн., т. IX, в. 1, 1947.

Антипов-Каратаев И. Н. и Рабинерсон А. И. Почвенные коллоиды, 1930.

Антипов-Каратаев И. Н. и Рабинерсон А. И. Перезарядка почв кислотами и связывание анионов. Тр. Ленингр. отд. ВИУАА, в. 17, 1933.

Антипов-Каратаев И. Н. и Рюб И. Л. Исследование явлений адсорбции, коагуляции и диспергирования некоторых силикатов физико-химическими методами. Пробл. сов. почвовед., № 2, 1936.

Аскинази Д. Л. и Хейфец Д. М. Фосфаты железа и алюминия как источник P_2O_5 для растений. Сб. памяти Ф. Т. Перитурина «Фосфорные удобрения и их качество». Тр. НИУИФ, № 141, 1938.

Аскинази Д. Л. Фосфатный режим и известкование почв с кислой реакцией. Изд. АН СССР, 1949.

Вигнер Г. Ионный обмен и структура. Почвоведение, № 3, 1936.

Гедройц К. К. Коллоидная химия и вопросы почвоведения. Журн. опытн. агрон., 15, 1914.

Гедройц К. К. Поглотительная способность почв. Сельхозгиз, 1932.

Горбунов Н. И. Поглотительная способность почв и ее природа. Сельхозгиз, 1948.

Горбунов Н. И., Цюрупа И. Г. и Шурыгина Е. А. Рентгенографическая и термографическая характеристики монтмориллонитовых глин. Почвоведение, № 4, 1948.

Давтян Г. С. Фосфорный режим почв Армении. Изд. АН Арм. ССР, 1946.

Клечковский В. М. Об усвоении растениями поглощенных почвой фосфатов Доклады, в. 2. Сельскохоз. акад. им. К. А. Тимирязева, 1945.

Костычев П. А. Нерастворимые фосфорнокислые соединения почв, 1881.

Лучицкий В. И. Петрография. Госгеоиздат, 1947.

Маттсон С. Почвенные коллоиды. Сельхозгиз, 1938.

Никольский Б. П. и Парамонова В. И. Закон обмена ионов между твердой фазой и растворами. Успехи химии, т. 8, в. 10, 1939.

Никольский Б. П. Методы исследования адсорбции почвами из растворов. Современные методы исследования физико-химических свойств почв, т. IV, в. 3. Изд. АН СССР, 1948.

Ратнер Е. И. Об участии подвижного Al кислых почв в поглощении P_2O_5 вносимых удобрений и в создании обменной кислотности. Химиз. соц. земл., № 10, 1940.

Ратнер Е. И. Подвижность Al в почве и фосфорно-кислое питание растений. Почвоведение, № 2, 1946.

Ремезов Н. П. и Власова М. М. Несколько данных о поглощении почвой анионов. Почвоведение, № 2, 1933.

Тюлин А. Ф. Коллоидно-химическое изучение почв в агрономических целях. Москва, 1946.

Хейфец Д. М. Состав и свойства фосфатов железа, получаемых при различных условиях осаждения. Химиз. соц. земл., № 5, 1936.

Хейфец Д. М. Влияние состава и структуры фосфорнокислых соединений железа и алюминия на рост растений. Тр. НИУИФ, № 141, 1938.

Black C. A. Phosphate fixation by kaolinite and ether clays as affected by pH, phosphate concentration and time of contact. Soil Sci. Soc. Amer., v. 7, 1943.

Coleman R. The adsorption of phosphate by kaolinitic and montmorillonitic clays: Soil. Sci. Soc. Amer., v. 7, 1943.

Coleman R. Phosphorus fixation by the coarse and fine clay fractions of kaolinitic and montmorillonitic clays. Soil Sci., v. 58, № 1, 1944.

Coleman R. The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and kaolinitic clays. Soil Sci. Soc. Amer., v. 9, 1945.

Demolon A. Fixation et échange de certains anions par les colloïdes du sol. Mezogasdasagi Kutatosok, VI, effoliam 12, Szam XII, 1933.

Dickman S. R. and Bray R. H. Replacement of adsorbed phosphate from kaolinite by fluoride. Soil Sci., v. 52, № 4, 1941.

Ford M. C. The nature of phosphate fixation in soils. J. Amer. Soc. Agr., 25, 1933.

Kelley J. B. and Midgley A. R. Phosphate fixation and exchange of phosphate and hydroxyl irons. Soil Sci., 55, 1943.

Laatsch W. Die Festlegung der Phosphorsäure an Tone. Bodenk. u. Pfl., 23 (65), H. 1/2, 1941.

Laws W. D. and Page J. B. Changes produced in kaolinite by dry grinding. Soil Sci., v. 62, № 4, 1946.

Murphy H. F. The role of kaolinite in phosphate fixation. Hilgardia, v. 12, № 5, 1939.

Perkins A. T. and King H. H. Phosphate fixation by soil minerals (mica and related groups). Soil Sci. Soc. Amer., v. 8, 1944.

Perkins A. T. and King H. H. Phosphate fixation by soil minerals. III. Particle size. Soil Sci. Soc. Amer., v. 9, 1945.

Perkins A. T. Kaolin and treated kaolins and their reactions. Soil Sci., v. 65, № 2, 1948.
Perkins A. T. Reactions of muscovite, bentonite and other treated residues. Soil Sci., v. 67, № 1, 1949.
Raychaudhuri S. P. and Mukherjee M. K. Studies of Indian red soils. II. Fixation of phosphates. Ind. J. of Agric. Sci., v. II, p. 2, 1941.
Sieling D. H. Role of kaolin in anion adsorption and exchange. Soil Sci. Soc. Amer., v. 11, 1947.
Stout P. R. Alterations in the crystal structure of clay minerals as a result of phosphate fixation.
Toth S. J. Anion adsorption by soil colloids in relation to changes in free iron oxides. Soil Sci., v. 44, № 4, 1937.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Д. В. ФЕДОРОВСКИЙ

ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕДИНОВРЕМЕННОГО И ДРОБНОГО ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЛЕН

Получение высоких урожаев льноволокна невозможно без применения удобрений. Во многих случаях наибольший эффект от удобрения достигается при помощи внесения части удобрений до посева и другой части в течение вегетации в виде подкормок. Внесение больших количеств удобрений в поверхностный слой почвы не обеспечивает лучших условий развития льна и получения урожаев высокого качества. Лен чувствителен к избыточным количествам азота и страдает от них в первые стадии развития, но требует хорошего обеспечения им в более поздние стадии (Пейве, Радов, Егоров, 1936).

Приемы удобрения должны соответствовать особенностям развития данной культуры и не могут оставаться одинаковыми для разных растений. Индивидуальное развитие растений сопровождается их качественными изменениями, переходом их из одной стадии в другую и наилучшим образом происходит при различных оптимальных условиях питания для каждой стадии. Учитывая эти положения, можно создать условия питания растений, повышающие эффективность использования удобрений, особенно минеральных.

Единовременное внесение азотных удобрений требует, конечно, меньше затрат труда, но в ряде случаев по эффективности уступает дробному внесению. Единовременное внесение удобрений может уступать дробному внесению удобрений вследствие: 1) создания в почве большой концентрации растворимых солей и высокого осмотического давления почвенного раствора; 2) активирования большими дозами удобрений обменной кислотности и активного алюминия почвы — на почвах дерново-подзолистого типа; 3) ретроградации и вымывания питательных веществ удобрений при их нахождении в почве в течение всего периода вегетации растений; 4) нарушения физиологического равновесия между питательными веществами в почвенном растворе; 5) невозможности создания оптимального соотношения питательных веществ, соответствующего отдельным стадиям развития растений; 6) отравления молодых растений избытком отдельных питательных веществ.

Какие из указанных причин фактически имеют значение в полевых условиях, не установлено. Существующие опыты проведены либо в водных культурах, где можно учесть только потребность растений в питательных веществах в разные стадии развития, или путем

постановки полевых опытов, в которых дается простое сравнение дробного и единовременного внесения удобрений без учета и без попыток устранения причин слабого действия больших доз удобрений при единовременном внесении.

В настоящее время можно указать на три основных пути увеличения действия при единовременном внесении азотных удобрений в полевых условиях:

1) внесение удобрений в форме, мало повышающей концентрацию солей в почвенном растворе, а также в виде удобрений, постепенно переводящих свои питательные вещества в усвояемую форму;

2) создание в почве такого пространственного распределения питательных веществ, при котором обеспечивается нормальное снабжение растений питательными веществами во все время вегетации;

3) установление такого соотношения питательных веществ, при котором устраняется вредное действие временного избытка в почве одного элемента.

Изучение указанных выше причин пониженной эффективности удобрений и разработка способов их устранения позволят создать правильную и научно обоснованную систему питания растений в полевых условиях, сочетающую приемы основного удобрения и дополнительного внесения удобрений во время вегетации там, где последнее является эффективным.

Опыты со льном на дерново-подзолистых почвах позволили охватить почти все основные моменты этой проблемы. Лен боится высокой концентрации солей, избытка азота в молодом возрасте, чувствителен к кислотности и алюминию и в то же время является технической культурой, под которую широко применяются минеральные удобрения. В настоящее время введены травопольные севообороты, лен идет по пласту многолетних трав, относительно богатому азотом. Одновременно с каждым годом увеличивается снабжение посевов льна минеральными азотными удобрениями. Следовательно, необходимо разработать приемы культуры льна, обеспечивающие наиболее эффективное использование им повышенного уровня азотного питания.

Отношение льна к азоту зависит от обеспеченности молодых растений фосфатами. Поэтому сравнение единовременного и дробного внесения удобрений проводилось на двух фонах обеспечения фосфатами. Учитывая медленное развитие корней, можно, дав глубокую заделку в почву части азотного удобрения, создать условия, при которых азот будет использован позднее, когда растение менее чувствительно к неблагоприятным почвенным условиям.

Уместно отметить, что практика льноводства вопреки господствовавшим в русской и заграничной литературе рекомендациям встала на путь применения высоких доз фосфорных удобрений; это отмечено в районах интенсивной культуры высококачественного льна в практике стахановского движения (Кудинов, 1940; Виноградов, 1938).

С учетом всех указанных моментов была составлена схема вегетационного опыта. Сокращенная схема была поставлена на известкованной дерново-подзолистой почве для устранения возможного вредного действия активирования обменной кислотности и алюминия. По сокращенной схеме был заложен опыт также в песчаных культурах и на мощном черноземе. Часть схемы (всего 56 сосудов) была дублирована для учета и анализа почвы и растений в молодом возрасте.

В полевых условиях была заложена развернутая основная схема.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ОПЫТ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Опыт поставлен на дерновой среднеподзолистой суглинистой почве Долгопрудного опытного поля (почва взята с 23 севооборота). Была принята следующая схема:

1. Фон K
2. Фон K + 1N в виде NH_4NO_3 (0.25 г N на сосуд).
3. Фон K + 3N в виде NH_4NO_3 (0.75 г N на сосуд).
4. Фон K + 3N, дробное внесение, 1-й вариант.
5. Фон K + 3N, дробное внесение, 2-й вариант.
6. Фон K + 3N, в том числе $^2/_3$ всего N в нижнюю треть сосуда.
7. Фон K + 3N в виде $(NH_4)_2SO_4$.
8. Фон K + 3N в виде $Ca(NO_3)_2$.

Учитывая различное отношение молодых растений к азоту в зависимости от обеспечения их P_2O_5, эта схема была повторена при двух ступенях обеспечения фосфором:

9—16. Фон K + P_2O_5, одинарная доза.
17—24. Фон K + P_2O_5, тройная доза.

Удобрения в опыте вносились следующие: калий в виде K_2SO_4 везде как фон при дозе 0.25 г K_2O на сосуд; фосфор в виде $Ca(H_2PO_4)_2$, тройная доза 1.2 г P_2O_5 на сосуд и одинарная — 0.4 г на сосуд; азот — тройная доза 0.75 г N на сосуд, одинарная — 0.25 г. Единовременное внесение при набивке в форме NH_4NO_3 или $(NH_4)_2SO_4$ и $Ca(NO_3)_2$, согласно схеме. Дробное внесение производилось в форме амселитры в 1-м варианте в 3 приема — при набивке одинарная доза, в стадию елочки и в стадию бутонизации по одной дозе; во 2-м варианте — азот вносился при набивке, в стадию бутонизации и при цветении равными дозами.

В вегетационном опыте везде принята двойная повторность. В этой схеме было заложено 36 сосудов добавочной повторности для учета изменений в почве в процессе роста растений и для контроля за поступлением питательных веществ в растение.

Сосуды для опыта были взяты размером 15 × 30 см, вмещающие 5 кг суглинистой почвы; подготовка сосудов и набивка проведены общепринятым способом. Перед набивкой в почву вносились удобрения в растворе, почва тщательно промешивалась и набивалась. Необычной была лишь набивка сосудов с внесением азота в большем количестве на глубину; производилось это внесение следующим образом: в обычную 5 кг навеску почвы давалась $^1/_3$ тройной дозы N — 0.25 г и перемешивалась, затем почва делилась на две неравные части (1.7 кг почвы и 3.3 кг почвы), в меньшую долю почвы вносилось еще $^2/_3$ азота. В сосуд вниз набивалась меньшая доля почвы с двойным внесением азота, а затем сверху набивалась почва с пониженным количеством азота. Растения в первый период развивались на почве, удобренной небольшой дозой азота, и лишь окрепшая корневая система встречала зону с большой концентрацией азота (Соколов, Панфилов, Ахромейко, 1938).

Посев произведен 31 мая сухими семенами с помощью трафарета по 50 семян на сосуд, и когда появились полностью всходы, показавшие высокую всхожесть семян, была проведена прорывка и число растений во всех сосудах снижено до 30.

Наблюдения за ростом. С первых же дней жизни льна стали выделяться сосуды, получившие фосфор; через 10 дней эта разница была весьма рельефна. Различия по дозам и формам азота в начале развития не было. Влияние азота проявилось лишь позже, когда лен получивших азот сосудов стал обгонять на 1—3 см контрольные сосуды.

Влияние форм азота было отмечено лишь в конце июня, а именно — по $Ca(NO_3)_2$ лен по высоте превышает сосуды с $(NH_4)_2SO_4$ на 1—1.5 см. К этому времени лен переходит после фазы елочки к сильному росту в высоту. В эти дни начало проявляться некоторое отставание роста растений в сосудах, получивших высокую дозу NH_4NO_3 (0.75 г N на сосуд по сравнению с дозой 0.25 г N). К 1 июля эти различия в росте растений становятся особенно отчетливыми для сосудов, не получивших фосфор или получивших его в умеренной дозе. При высокой дозе фосфора отставания в росте по высокой дозе азота не наблюдалось.

В сосудах с дробным внесением азотных удобрений (1-й вариант) в стадии елочки 22 июня была произведена первая подкормка (дано 0.25 г азота). Азот вносился при поливке в два приема, для того чтобы избежать резкого изменения концентрации почвенного раствора. Вторая подкормка по 1-му варианту и первая подкормка по 2-му проведены при бутонизации льна 7—8 июля. 10 июля появились первые цветки на льне, к 15 июля лен весь находился в цвету, и в эти дни проведена последняя подкормка растений по 2-му варианту дробного внесения.

К 20 июля закончилось цветение; в основной массе лен образовал коробочки, и прекратилось вытягивание растений в длину. Данные измерений высоты растений по срокам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ход роста льна на дерново-подзолистой почве при различных условиях питания растений азотом и фосфором

(изменения высоты растений в см)

Варианты схемы	Схема удобрения	Дней после посева							Техническая длина соломки
		22	26	31	40	50	62	75 (уборка)	
1	Без P, без N	10	13	32	49	75	77	78	69
2	» P, 1 N в NH_4NO_3	11	14	30	53	78	82	82	68
3	» P, 3 N в NH_4NO_3	11	14	29	51	72	77	79	62
4	» P, 3 N дробное (1-й вар.)	11	14	30	54	77	78	78	64
5	» P, 3 N дробное (2-й вар.)	11	14	30	54	81	83	84	68
6	» P, 3 N послойно	11	14	33	52	77	82	82	66
7	» P, 3 N в $(NH_4)_2SO_4$	11	14	32	52	77	79	79	62
8	» P, 3 N в $Ca(NO_3)_2$	11	14	30	52	73	78	78	65
9	1 P, без N	13	19	50	76	83	84	85	76
10	1 P, 1 N в NH_4NO_3	14	20	47	73	88	88	88	73
11	1 P, 3 N в NH_4NO_3	14	20	44	68	86	90	91	71
12	1 P, 3 N дробное (1-й вар.)	14	20	—	68	86	88	90	74
13	1 P, 3 N дробное (2-й вар.)	14	20	—	72	87	89	91	74
14	1 P, 3 N послойно	14	20	45	77	89	92	92	76
15	1 P, 3 N в $(NH_4)_2SO_4$	14	20	43	66	83	84	86	69
16	1 P, 3 N в $Ca(NO_3)_2$	14	20	44	65	86	88	88	72
17	3 P, без N	16	22	51	76	84	83	83	72
18	3 P, 1 N в NH_4NO_3	17	24	56	80	85	85	86	73
19	3 P, 3 N в NH_4NO_3	17	23	56	77	87	92	92	73
20	3 P, 3 N дробное (1-й вар.)	17	23	—	81	89	90	92	74
21	3 P, 3 N дробное (2-й вар.)	17	23	—	81	90	92	92	74
22	3 P, 3 N послойно	17	23	56	80	89	93	93	76
23	3 P, 3 N в $(NH_4)_2SO_4$	17	23	56	78	86	87	89	71
24	3 P, 3 N в $Ca(NO_3)_2$	17	24	57	79	89	90	90	73

Примечание. Удобрения вносились: везде общий фон K_2SO_4 в дозе 0.25 г K_2O на сосуд: малая доза 1P—0.4 г P_2O_5 и большая 3P—1.2 г в форме $Ca(H_2PO_4)_2$; азот в тройной дозе—0.75 г и 1 N—0.25 г в форме NH_4NO_3 в разных вариантах внесения и в двух других формах—$(NH_4)_2SO_4$ и $Ca(NO_3)_2$ в тройной дозе.

В начале развития в случае внесения азота у необеспеченных фосфором растений наблюдается отставание в росте, причем депрессия от средней дозы азота оказывается временной, и далее растения усваивают азот и дают конечный урожай выше, чем контроль, но для высокой дозы эта депрессия сказывается и на конечном пониженном росте растений.

При обеспеченности фосфором лен не страдает от высоких доз азота, наблюдается лишь некоторое отставание в сроках созревания. Конечный наивысший урожай для этого варианта получен в опыте как по общей массе, так и по наиболее технически ценной его части — по урожаю технической соломки.

3 июля перед началом бутонизации были убраны 36 сосудов добавочных повторностей для последующего анализа. Результаты определения общего азота и фосфора приведены в табл. 2.

Таблица 2

Поступление азота и фосфора в растения льна на 33-й день развития

Схема удобрения		Урожай, г	Содержание N в зеленой массе		Содержание P_2O_5 в зеленой массе		Отношение $N : P_2O_5$
Фосфор	Азот		%	мг	%	мг	
Без P	Без N	2.9	3.92	116	0.60	17.5	6.6
» P	1 N в NH_4NO_3	2.9	4.82	140	0.63	18.1	7.7
» P	3 N в NH_4NO_3	2.8	5.04	143	0.56	16.0	9.0
» P	3 N послойно	3.3	4.74	155	0.57	18.6	8.3
» P	3 N в $(NH_4)_2SO_4$	3.3	4.84	158	0.62	20.1	7.9
» P	3 N в $Ca(NO_3)_2$	2.7	4.97	135	0.60	16.3	8.3
1 P	Без N	5.7	2.35	134	0.64	36.7	3.7
1 P	1 N в NH_4NO_3	6.0	3.34	197	0.73	43.9	4.5
1 P	3 N в NH_4NO_3	5.5	3.49	192	0.69	38.1	5.1
1 P	3 N послойно	5.5	3.57	195	0.70	38.0	5.1
1 P	3 N в $(NH_4)_2SO_4$	4.9	3.90	191	0.72	35.0	5.4
1 P	3 N в $Ca(NO_3)_2$	4.9	3.71	180	0.68	33.1	5.5
3 P	Без N	6.9	1.89	131	0.65	45.2	2.9
3 P	1 N в NH_4NO_3	9.2	3.32	307	0.72	66.3	4.6
3 P	3 N в NH_4NO_3	9.0	3.88	349	0.73	65.4	5.3
3 P	3 N послойно	9.4	3.68	344	0.76	70.7	4.9
3 P	3 N в $(NH_4)_2SO_4$	8.8	3.78	332	0.75	65.4	5.1
3 P	3 N в $Ca(NO_3)_2$	8.9	3.28	293	0.74	66.2	4.4

Урожайные данные показывают, что для исследуемой почвы фосфор находится «в первом минимуме» и внесение одного азота вообще мало проявляется в этой стадии развития. При обеспечении растений внесением одинарной дозы фосфора значительно возрос общий урожай и выявился эффект от малой дозы азота, но этого количества фосфора было недостаточно, и при внесении высокой дозы в 0.75 г азота на сосуд наблюдается депрессия.

Высокая доза фосфора обеспечила при высокой дозе азота дальнейшее возрастание урожая и по весу и по высоте; правда, эта доза азота не дает в молодой фазе развития льна прибавки по сравнению с малой дозой, но эта прибавка получена в конце вегетации. Нужно отметить совершенно различное отношение льна к формам азота при разном обеспечении фосфором. Аммиачная форма азота по сравнению с $Ca(NO_3)_2$ дает больший

урожай на почве без внесения фосфора, в то же время при высоком фоне фосфора селитра дает больший урожай, чем сульфат аммония. Это разное отношение к формам сохраняется до конца вегетации, к нему мы еще вернемся.

Итак, мы видим, что фосфор резко увеличил урожай; высота растений удвоилась по сравнению с контролем. Интересно проследить, как изменился состав растений. Оказалось, что нет заметных разниц в процентном содержании P_2O_5 — оно несущественно ниже в растениях контроля, а при разных дозах фосфатов почти совпадает; резкое отличие в накоплении P_2O_5 урожаем происходит в силу разного уровня урожая за счет увеличения темпа роста растений.

Растения содержат значительно больший процент азота на почве без внесения фосфатов. Это содержание в $1^1/_2$—2 раза превышает содержание азота в обеспеченных фосфором растениях, что указывает на накопление в растении неиспользованного азота.

Разница в процентах азота для растений по фону одинарной и тройной дозы фосфора ничтожная — видимо, уже 1 P обеспечила использование поступающего азота; количество азота в урожае продолжает расти при дальнейшем увеличении дозы фосфора в силу того, что поступление азота идет более интенсивно и накапливается большая масса урожая. При переходе к высокой дозе фосфора имеем резкое усиление в развитии растений, сопровождающееся усилением поступления и P_2O_5 и N при остающемся одинаковом соотношении процентного содержания N и P_2O_5 в органическом веществе.

В начале августа лен созрел, и на 75-й день вегетации произведены уборка и учет урожая (общего и технически ценной его части). Сводная таблица результатов этих измерений и взвешиваний (средние из двух повторностей) приведена ниже.

Интересно сопоставить общий урожай при уборке с тем, как шло накопление этого урожая в процессе вегетации. Депрессия от высокой дозы азота (без одновременного внесения фосфатов), имевшая место в процессе роста, на конечном весе урожая не сказалась, но, видимо, отразилась на относительно низких выходах соломки и на большем развитии разветвленной части растения — метелки, т. е. проявилась в нежелательном изменении структуры урожая по сравнению с контролем (табл. 3).

Для вариантов опыта без внесения фосфора по одной селитре получен заметно меньший урожай и по соломке и по семенам по сравнению с сульфатом аммония; в то же время внесение уже одинарной, а особенно высокой дозы фосфата резко изменяло отношение льна к форме азотного удобрения, и селитра дала лучший урожай. Действие амселитры приближалось к действию лучшей формы.

Высказывались предположения, что при высоких дозах азота в почвенном растворе появляется обменный алюминий, а вносимые соли фосфора инактивируют алюминий. Алюминий должен активироваться сильнее под действием сульфата аммония, который является физиологически кислой солью, по сравнению с физиологически щелочной кальциевой селитрой; следовательно, по сульфату аммония надо было ждать высокого положительного действия от больших доз фосфора. Действие алюминия, активированного сульфатом аммония, должно было сказаться главным образом на конечном урожае, так как в начале опыта и селитра могла бы вызвать активирование Al в силу обменных реакций в почве. На деле, как видим, этого нет, и можно считать, что физиологическая реакция удобрений в опыте не наложила своего отпечатка на урожай.

Таблица 3

Изменение структуры урожая льна на дерново-подзолистой суглинистой почве при различных условиях питания растений азотом и фосфором

	Дано N / Фон P	NH_4NO_3						$(NH_4)_2SO_4$, 3 N	$Ca(NO_3)_2$, 3 N	NH_4NO_3			
										Фон + $CaCO_3$			
		0	1 N	3 N	3 N по слоям	3 N дробно (1-й вар.)	3 N дробно (2-й вар.)			0	1 N	3 N	3 N дробно (1-й вар.)
Общий урожай, г	Без P	13.3	21.0	22.4	23.4	22.7	23.9	21.7	20.1	17.3	21.2	24.0	25.2
	1 P	14.9	22.8	27.3	26.5	27.3	28.0	23.0	24.5	—	—	—	—
	3 P	14.9	24.5	29.4	30.2	28.6	28.5	27.5	29.1	19.1	26.1	30.7	31.7
Урожай технической соломки, г	Без P	6.7	8.4	8.5	9.2	8.4	9.3	8.0	7.8	7.6	8.9	8.9	9.0
	1 P	7.8	9.4	10.0	10.4	10.4	10.4	8.2	9.4	—	—	—	—
	3 P	7.7	10.3	11.1	11.3	11.0	10.8	9.8	10.9	9.4	11.5	11.3	12.1
Общая высота растений, см	Без P	78	82	79	82	78	84	79	78	79	81	79	80
	1 P	85	88	91	92	90	91	86	88	—	—	—	—
	3 P	83	86	92	93	92	92	89	90	84	87	89	90
Техническая длина соломки, см	Без P	69	68	64	66	64	68	62	65	68	69	66	65
	1 P	75	73	71	76	74	74	69	72	—	—	—	—
	3 P	72	73	73	76	74	74	71	73	75	70	72	74
Диаметр соломки на $^1/_3$ высоты растения, мм	Без P	1.17	1.31	1.22	1.27	1.27	1.30	1.25	1.19	1.32	1.43	1.27	1.31
	1 P	1.29	1.49	1.42	1.48	1.40	1.44	1.27	1.33	—	—	—	—
	3 P	1.36	1.64	1.54	1.63	1.51	1.61	1.55	1.57	1.53	1.63	1.52	1.55
Урожай семян, г	Без P	3.18	5.98	5.88	5.94	6.19	5.94	5.78	5.29	4.54	5.69	6.52	7.00
	1 P	3.26	6.28	6.96	6.95	6.83	7.23	5.43	6.22	—	—	—	—
	3 P	3.30	6.60	6.84	6.93	6.85	6.75	5.94	7.25	4.26	4.54	7.49	7.01
Число коробочек на сосуд	Без P	112	190	207	208	206	208	219	179	153	190	224	246
	1 P	118	214	238	251	241	253	233	220	—	—	—	—
	3 P	126	242	279	277	266	270	260	291	160	212	261	260

Примечание. Удобрения вносились — общий фон K_2SO_4 в дозе 0.25 г K_2O; малая доза 1 P—0.4 г P_2O_5 и большая 3 P—1.2 г в форме $Ca(H_2PO_4)_2$; азот в тройной дозе—0.75 г и 1 N—0.25 г в форме NH_4NO_3 в разных вариантах внесения и в двух других формах — $(NH_4)_2SO_4$ и $Ca(NO_3)_2$ в тройной дозе.

Положительное значение подкормок выявилось на фоне без внесения P_2O_5 и при внесении малой ее дозы; на этих фонах при дробном внесении высокой дозы азота получен больший урожай технической соломки, и растения достигли большей высоты по сравнению с получившими азот единовременно. При высоком обеспечении фосфором эти преимущества дробного внесения не проявляются.

Таким образом, благоприятное действие усиленного питания фосфором на использование азота, отмеченное при анализе урожая, убранного в первый срок, сказывается и на окончательном урожае: растения, более обеспеченные фосфором, могли справляться с единовременно вносимыми высокими дозами азота и быстро развиваться, тогда как для растений, испытывающих недостаток фосфора, постепенная дача азота была более выгодной.

Следует отметить, что одно из лучших мест по урожайности занимают сосуды, где азот вносился послойно, при внесении основной массы азота на глубину, в нижнюю треть сосуда; эти варианты выделяются по всем показателям, в том числе по урожаю технической соломки.

Вообще способы внесения азота больше сказались при малом обеспечении P_2O_5, и разницы между вариантами внесения сглаживались при высоком фоне P_2O_5.

Действие азота сильнее проявилось на конечном урожае. Эффект от азота наблюдался и по общему урожаю, и по семенам, и по толщине соломки. Фосфаты на общей массе урожая сказались даже слабее, чем азот; таким образом, главное значение фосфор имеет в ускорении развития в начале вегетации, когда увеличение дозы P_2O_5 удваивало высоту растений.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ОПЫТ НА ИЗВЕСТКОВАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

На известкованной суглинистой почве опыт поставлен по следующей схеме:

1. Фон (К, $CaCO_3$).
2. Фон + 1N (0.25 г) в виде NH_4NO_3.
3. Фон + 3N (0.75 г) в виде NH_4NO_3.
4. Фон + 3N дробно, 1-й вариант.
5–8. Та же схема при высоком уровне удобрения фосфором — по фону К, $CaCO_3$, P_2O_5.

Известкование почвы проведено по 1/1 гидролитической кислотности, равной 5.4 м-экв. На сосуд с 5 кг почвы вносилось по 13.5 г $CaCO_3$. Мел всыпался в навеску почвы и перемешивался с нею.

Результаты взвешивания урожая и проборов приведены в табл. 3 вместе с данными опыта на неизвесткованной почве.

Мы наблюдаем во всех случаях положительное действие внесения извести, которое сильнее сказалось при отсутствии внесения азота, что указывает на мобилизацию азота при внесении извести.

При сравнении урожаев на известкованной и неизвесткованной почве никакого различия в действии азота в опытах на этих почвах не обнаруживается. Это говорит о том, что слабое действие высоких доз азота на развитие льна не связано с подкислением почвы.

Положительное влияние дробного внесения азота выявилось в этом опыте в тех же случаях, как и в опыте на неизвесткованной почве, при недостаточном обеспечении молодых растений фосфором. Это видно из данных наблюдений за ростом растений (табл. 4).

Таблица 4

Вегетационный опыт на известкованной почве

(изменения высоты растений в см)

	Схема удобрения	Дней после посева						Техническая длина соломки
		22	26	40	50	62	75 (уборка)	
1	Без P_2O_5 без N	9	13	49	79	79	79	68
2	» P_2O_5 1N в NH_4NO_3	10	17	61	81	81	82	69
3	» P_2O_5 3N в NH_4NO_3	10	17	48	78	79	79	70
4	» P_2O_5 3N дробно (1-й вар.)	10	—	52	77	79	80	65
5	3 P_2O_5 без N	16	21	78	86	86	86	75
6	3 P_2O_5 1N в NH_4NO_3	17	24	77	86	87	87	70
7	3 P_2O_5 3N в NH_4NO_3	17	24	75	88	88	89	72
8	3 P_2O_5 3N дробно (1-й вар.)	17	—	78	89	89	90	74

Высокая доза азота вызывала такую же задержку в 40–60-е дни опыта, как это отмечено и в опыте на неизвесткованной почве.

Результаты промеров технической длины соломки, диаметра соломки и др. показывают, что большие дозы азота по фону известкованному действовали точно так же, как и по неизвесткованному фону; характер развития растений в обоих случаях вполне аналогичен.

Изменения в составе почвенного раствора. Выделение почвенного раствора проводилось по методике, разработанной лабораторией физико-химии почв Почвенного института, отжиманием в специальном стальном стакане под большим давлением на гидравлическом прессе на 200 атмосфер (Крюков, 1947).

Этот метод при влажности почвы в сосуде, равной 60% максимальной влагоемкости (т. е. для суглинка около 30% на вес почвы), позволяет довольно быстро отжать ее до остаточной влажности ниже 13%. Для суглинка выделение раствора производилось из почвы с влажностью в 21–23%, бывшей в сосудах после уборки растений. Граковский чернозем был увлажнен до 41%.

В полученном почвенном растворе определялись электропроводность (общепринятый способ с помощью мостика Уитстона), осмотическое давление по температуре замерзания почвенного раствора. Содержание в растворе NO_3, NH_3, P_2O_5 и Al определялось колориметрическими методами.

Таблица 5

Состав почвенного раствора в конце вегетации льна в вегетационных опытах

Почва	Внесено в г на сосуд		Осмотич. давл., атм.	Удельная электропроводность $\times 10^{-4}$ ома	мг на 100 г сухой почвы				
	P_2O_5	N			Солей по электропроводности	NO_3	NH_3	P_2O_5	Al
Дерново-подзолистая суглинистая почва неизвесткованная (Долгопрудная)	Без P_2O_5	Без N	0.33	840	14.7	0.6	0.65	Следы	Следы
	1.2 г P_2O_5	Без N	0.77	853	14.0	2.8	0.72	»	»
	1.2 г P_2O_5	0.25 г в NH_4NO_3	0.68	880	14.4	2.2	0.78	»	»
	1.2 г P_2O_5	0.75 г в NH_4NO_3	1.25	2580	43.2	9.5	—	»	»
	1.2 г P_2O_5	0.75 г дробно (1-й вар.)	0.66	1720	30.9	15.2	1.61	»	0
	1.2 г P_2O_5	0.75 г дробно (2-й вар.)	0.63	1875	32.8	16.0	1.33	»	0
	1.2 г P_2O_5	0.75 г в $(NH_4)_2SO_4$	0.71	2910	46.4	2.3	2.30	»	0.11
	1.2 г P_2O_5	0.75 г в $Ca(NO_3)_2$	0.28	604	9.8	1.3	1.28	»	Следы
Та же почва, но известкованная	Без P	Без N	0.39	1680	30.1	5.6	0.71	»	0
	1.2 г P_2O_5	0.75 г N	0.70	2410	36.2	17.5	1.18	»	0
Чернозем мощный (Граково)	1.2 г P_2O_5	0.75 г N	1.32	480	124.9	32.8	2.86	»	0

В табл. 5 приводится удельная электропроводность почвенного раствора, выраженная в миллионных долях обратных омов. Концентрация

солей по электропроводности высчитана по формуле Кольрауша: C мг/л $= 0.75\ E \times 10^{-6}$.

Одновременно с выделением почвенного раствора определялась влажность образца (оказавшаяся близкой, но не совпадающей полностью для всех образцов); в дальнейшем содержание солей пересчитано было на 100 г сухой почвы (конечно, такой пересчет допустим в случае, если почвенный раствор по концентрации более или менее однороден).

Из полученного аналитического материала видно, что количество алюминия в почвенном растворе к концу вегетации было совершенно ничтожно, и максимальное отмеченное количество в 0.1 мг Al на 100 г при внесении сульфата аммония, конечно, не может иметь большого значения. Подвижных форм фосфатов в момент определения в почвенном растворе не отмечено. Осмотическое давление при такой влажности почвы (около 50% от полной влагоемкости) измеряется величинами, в несколько раз меньшими осмотического давления, которое считается вредным для растений; в условиях дерново-подзолистой почвы по всем вариантам осмотическое давление почвенного раствора не превышает 1.25 атм и только на черноземе отмечено давление в 1.32 атм.

С целью проследить изменения состава внесенного в почву раствора был проведен небольшой лабораторный опыт с той же почвой. Удобрения вносились в почву в растворе, которым почва увлажнялась до 25% влажности в дозах, соответствующих вегетационному опыту. Выделение почвенного раствора проведено принятым методом через двое суток. Одновременно был проанализирован вносившийся раствор.

Через два дня в почвенном растворе не было обнаружено фосфатов, резко упало количество аммонийных солей (табл. 6). Содержание солей высчитано по электропроводности раствора.

Таблица 6

Изменение состава раствора удобрений, внесенного в почву и выделенного через 2 суток

(почва дерново-подзолистая из вегетационного опыта)

Внесено в г на сосуд	Состав внесенного раствора					Состав почвенного раствора				
	Осмот. давл., атм	Солей, г/л	NO_3, г/л	NH_3, г/л	P_2O_5, г/л	Осмот. давл., атм	Солей, г/л	NO_3, г/л	NH_3, г/л	P_2O_5, г/л
H_2O	0	0	0	0	0	0.21	0.37	0.08	0.02	0
K (0.25 г K_2O в K_2SO_4)	0.09	0.47	0	0	0	0.13	0.46	0.07	0.02	0
K + N (0.75 г N в амселитре)	1.27	2.54	1.3	0.5	0	1.48	1.95	1.30	0.06	0
K + N (0.75 г N в сульфате аммония)	1.32	3.35	0	1.2	0	1.29	2.04	0.07	0.15	0
K + N (0.75 N в натр. селитре)	1.32	3.64	2.5	0	0	2.31	3.71	2.72	0.04	0
P (1.2 г P_2O_5 в $Ca(H_2PO_4)_2$)	0.29	0.77	0	0	0.8	0.71	0.29	0.09	0.01	0
K + P + N (амселитра)	1.40	3.17	1.0	—	0.8	1.07	2.13	1.35	0.05	0
K + P + N (сульфат аммония)	0.58	4.31	0	1.2	0.8	0.79	2.05	0.07	0.11	0
K + P + N (натр. селитра)	2.09	4.07	2.5	0	0.8	—	3.85	2.75	0.03	0
K + P	0.33	1.08	0	0	0.8	0.18	0.56	0.07	0.02	0

В другом вегетационном опыте со льном на той же почве контрольные анализы почвенного раствора были проведены в середине вегетации и при созревании льна. И в этом опыте не было отмечено вредного повышения осмотического давления раствора, которое могло бы объяснить низкий урожай льна,— усиление питания фосфором повышало урожай при неизменном осмотическом давлении раствора. Высокое осмотическое давление большей частью связано с увеличением количества нитратов.

Таблица 7

Изменение состава почвенного раствора в вегетационном опыте со льном на дерново-среднеподзолистой почве при различном удобрении

Внесено в г на сосуд		На 30-й день						На 65-й день				
		Осмот. давл., атм.	Удельн. электропр. $\times 10^{-6}$ ома	мг на 100 г сух. почвы				Осмот. давл., атм.	Удельн. электропр. $\times 10^{-6}$ ома	мг на 100 г сух. почвы		
P_2O_5	N			солей	NO_3	NH_3	Al			солей	NO_3	NH_3
Без P	Без N	0.78	1920	33.4	8.7	0.2	0	0.46	1040	18.0	1.5	0.12
» P	0.25 г в NH_4NO_3	1.09	2660	46.2	30.2	0.3	0	0,53	1155	19,3	0.2	0.12
» P	1.0 г в NH_4NO_3	1.95	5275	92.0	69.8	1.9	0	1.52	5875	78.0	48	1.2
0.25	Без N	0.60	1610	25.8	10.2	0.2	0	0.42	1093	18.3	3.3	0.13
1.0	» N	0.59	1545	21.8	3.7	0.2	0	0.38	1140	18.1	2.6	0.15
$CaCO_3$; без P	» N	1.58	4115	69.9	34.7	0.1	0	0.48	1395	23.6	0	0.11
$CaCO_3$; » P	0.25 в NH_4NO_3	1.79	4615	78.4	42.4	0,1	0	0.65	1895	29,5	3.3	0,12
$CaCO_3$; » P	1.0 в NH_4NO_3	3.16	8600	146.2	94.3	0.1	0	2.87	6310	91.9	76.3	0.1
$CaCO_3$; » P	1.0 в $(NH_4)_2SO_4$	—	—	—	—	—	—	3.18	8230	113.6	74.2	0.18
$CaCO_3$; » P	1.0 в селитре	—	—	—	—	—	—	3.70	9115	129.1	118.2	0.38

Таким образом, на основании всех данных наших опытов можно сказать, что слабое действие высоких доз азота не может быть объяснено только большим изменением осмотического давления или активированием Al.

ПОЛЕВОЙ ОПЫТ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Одновременно с вегетационным опытом на Долгопрудной агрохимической опытной станции был заложен полевой опыт по следующей схеме:

1. Фон K_2O (45 кг/га).
2. Фон $K_2O + P_2O_5$ (45 кг/га).
3. Фон $K_{45}P_{45} + N_{30}$ под борону.
4. Фон $K_{45}P_{45} + N_{90}$ под борону.
5. Фон $K_{45}P_{45} + N_{30}$ под борону + 60 после 1-й полки.
6. Фон $K_{45}P_{45} + N_{30}$ под борону + 30 кг после 1-й полки + 30 кг в цветение.
7. Фон $K_{45}P_{45} + N_{60}$ под плуг + 30 кг под борону.
8. Фон $K_{45}P_{45}$.
9—16. Та же схема по фону $K_{45}P_{120}$.

Почва под опытом — дерново-подзолистая суглинистая со следами оглеения, вышедшая из-под леса в 1931 г. За годы после раскорчевки поле занимали вика, вика—овес, картофель. Участок расположен на

слабом с.-в. склоне. В опыте принята 6-кратная повторность и для контрольного варианта — 12-кратная; делянки размером 6 × 3.8 м.

Удобрения вносились KCl по расчету 45 кг/га K_2O как общий фон; суперфосфат 45 и 120 кг/га P_2O_5; азот в виде $NaNO_3$ при дозах и способах внесения согласно схеме.

Участок был вспахан с осени, весной перепахан. Основное внесение удобрений проведено 11 мая ручным способом. Посев льна 13 мая рядовой сеялкой, при норме 150 кг/га, сорт 806/3. Согласно схеме проведено поверхностное внесение $NaNO_3$— подкормка после первой полки 23 июня и при цветении 9 июля.

С самого появления всходов лен давал четкую положительную реакцию на фосфор. Азот в первые стадии роста не действовал, а действие разных его доз стало заметно только с середины июня, когда более рельефно по низкому фону фосфора отмечено было отставание делянок, получивших 90 кг азота единовременно.

Ранний посев льна обеспечил нормальное развитие его в первую половину лета, но чрезвычайно высокие температуры в третьей декаде июля, доходившие до 35—37°, наряду с жаркими ветрами, вызвали ожоги и подсыхание наиболее развитых растений и сильно исказили конечные результаты.

Для контроля за ходом поступления питательных веществ в процессе вегетации были дважды взяты образцы растений на 42-й и 58-й день роста и проведен их анализ.

Таблица 8

Поступление питательных веществ в растения в полевом опыте со льном

Схема удобрения		Первый срок — на 42-й день				Второй срок — на 58-й день			
P	N	Высота растений, см	P_2O_5, %	N, %	Отношение N и P_2O_5	Высота растений, см	P_2O_5, %	N, %	Отношение N и P_2O_5
Без P	Без N	20	0.39	2.85	7.4	55	0.29	1.50	5.2
P_{45}	» N	27	0.43	2.85	6.6	63	0.32	1.51	4.8
P_{45}	N_{30}	26	0.44	3.34	7.6	64	0.31	1.72	5.5
P_{45}	N_{90}	22	0.40	3.07	7.8	62	0.28	1.57	5.7
P_{45}	N_{60+30}	25	0.39	3.07	7.9	61	0.26	1.57	6.0
P_{120}	Без N	29	0.42	2.55	6.2	72	0.33	1.26	3.9
P_{120}	N_{30}	29	0.43	2.96	6.8	64	0.34	1.57	4.6
P_{120}	N_{90}	28	0.44	3.05	7.0	67	0.28	1.54	5.4
P_{120}	N_{60+30}	29	0.44	3.03	6.9	64	0.24	1.76	7.5

В опыте применялась $NaNO_3$, и в согласии с результатами вегетационного опыта мы видим, как повышенные дозы вносимого азота вызывают снижение содержания фосфора в растении, повидимому в силу затруднения его поступления.

По данным поступления азота можно отметить только более низкий процент азота в растениях на делянках без азотного удобрения.

Изменения соотношения $N : P_2O_5$ в растениях подчеркивают значение фосфора в первые стадии роста льна. Высокое отношение $N : P_2O_5$ в растениях в первом сроке при малой дозе фосфора и низкая высота растений указывают на избыточность азотного питания в этих вариантах. Влияние разных доз азота на урожай льна вполне аналогично влиянию в вегетационном опыте.

Способы внесения удобрений в исключительно сухих условиях года не выявили заметных разниц в урожае.

Данных учета урожая при уборке мы не приводим, так как все разницы по вариантам азотного питания оказались в пределах точности опыта (до 5%), однако высокая доза в 120 кг P_2O_5 дала и в этом засушливом году значительный эффект. В среднем прибавка соломы от 45 кг P_2O_5 равна 2.7 ц/га, а от 120 кг — 5.7 ц/га при урожае соломы на контрольной делянке в 21.5 ц/га. Несмотря на засуху, было вполне определенное положительное действие высоких доз фосфора.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ОПЫТ НА МОЩНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ

Кроме основных опытов на дерново-подзолистом суглинке, для анализа причин неблагоприятного действия высоких доз азота на лен был заложен по укороченной схеме вегетационный опыт на мощном черноземе из Гракова.

Граковский мощный чернозем обладает большой емкостью поглощения (41.1 мг-экв.), высокой буферностью и представлял для нас интерес как среда, где введением удобрений нельзя заметно сместить реакцию и осмотическое давление почвенного раствора, так как он и богат растворимыми солями и почва не содержит обменного Al. Была принята следующая схема:

1. Фон K, без N, без P.
2. Фон K, 1N в виде NH_4NO_3 (0.25 г N).
3. Фон K, 3N в виде NH_4NO_3 (0.75 г N).
4. Фон K, 3N дробное внесение (1-й вариант).
5—8. Та же схема разного внесения N, но по фону KP, где взята большая доза фосфора—1.2 г P_2O_5 на сосуд, в виде $Ca(H_2PO_4)_2$.

Дробное внесение проведено: $^1/_3$ N в набивку, $^1/_3$ в стадию елочки и $^1/_3$ в бутонизацию.

Таблица 9

Ход роста растений льна на мощном черноземе

(изменение высоты в см)

Внесено в г на сосуд		Дней после посева						Техническая длина соломки
		22	26	40	50	62	75 (уборка)	
Без P_2O_5	Без N	13	17	68	83	83	83	74
» P_2O_5	N 0.25	14	18	67	80	84	84	72
» P_2O_5	N 0.75	14	17	65	86	89	89	76
» P_2O_5	N 0.75 дробно	14	17	66	87	87	87	74
1.2 P_2O_5	Без N	17	22	77	83	85	85	76
1.2 P_2O_5	N 0.25	18	23	70	88	88	88	75
1.2 P_2O_5	N 0.75	18	22	69	88	89	89	76
1.2 P_2O_5	N 0.75 дробно	18	22	66	85	85	84	69

В первый период жизни, в фазу елочки, очень хорошо было заметно положительное влияние внесения растворимого P_2O_5 на высоту растений. Эта разница в конце первого месяца жизни достигала 3—4 см при высоте контроля в 13 см, т. е. равнялась 25%. В дальнейшем, с развитием растений, эта разница сгладилась; на конечном урожае удобрение фосфором вообще не сказалось ни на общем весе, ни на весе соломки или ее показателях (табл. 10).

Таблица 10

Изменение урожая льна на черноземе при различных условиях питания растений азотом и фосфором

Показатели урожая	Внесено в г на сосуд	Дано азота			
		0	0.25	0.75	0.75 дробно
Общий урожай, в г	Без P_2O_5	15.9	22.2	25.7	25.7
	P_2O_5 1.2 г	16.4	22.5	25.2	25.8
Урожай технической соломки, г.	Без P_2O_5	8.0	9.3	10.8	10.8
	P_2O_5 1.2 г	8.7	10.2	10.7	10.3
Урожай семян, г	Без P_2O_5	3.62	6.19	6.51	6.43
	P_2O_5 1.2 г	3.56	5.67	5.97	6.00
Общая высота растений, см	Без P_2O_5	83	84	89	87
	P_2O_5 1.2 г	85	88	89	84
Техническая длина соломки, см	Без P_2O_5	74	72	76	74
	P_2O_5 1.2 г	76	75	75	69
Диаметр соломки, мм	Без P_2O_5	1.37	1.44	1.34	1.41
	P_2O_5 1.2 г	1.43	1.44	1.37	1.36

В то же время интересно отметить влияние азота: в первый месяц наблюдалось некоторое положительное его действие на высоту растений (без N — 17 см, по N — 18 см), но дальше, в фазы интенсивного роста в высоту, растения, получившие азот, несколько отстали (без N — 68 см, а с N — 67 и 65 см). Такая задержка в росте, для условий вегетационного опыта при оптимальном постоянном снабжении водой, не отразилась на конечном урожае, и растения в сосудах с азотом догнали и перегнали контроль по урожаю как общему, так и технической соломки. Однако задержка в росте льна в полевых условиях при недостатке влаги может отрицательно сказаться на дальнейшем росте и урожае.

Несмотря на общее слабое действие удобрений, можно отметить, что азот, так же как и на дерново-подзолистой суглинистой почве, повысил урожай семян (увеличение вдвое против контроля) и слабее повлиял на общий урожай, а особенно на урожай технической соломки. На высоте растений и технической длине азот почти не сказался. Внесение P_2O_5 даже несколько снизило урожай семян, что связано, вероятно, с ускорением развития растений.

ПЕСЧАНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Небольшая схема была поставлена в песчаных культурах, где исключалась возможная ретроградация вносимых фосфатов при взаимодействии их с почвой, а среда отличалась наименьшей буферностью. В этом опыте были взяты сосуды несколько меньшего размера — 15 × 20 см (на 4 кг). Питательные вещества внесены из расчета норм смеси Прянишникова, причем было введено 2 степени обеспеченности фосфором — исходя из $^1/_2$ нормы (на 4 кг 0.142 г P_2O_5) и $1^1/_2$ нормы (0.425 г P_2O_5) в виде $CaHPO_4$. Азот вносился также в дозах $^1/_2$ нормы и $1^1/_2$ нормы (или на сосуд 0.17 и 0.50 г N) в виде NH_4NO_3. Дробное внесение проводилось в 3 приема — для 1-го варианта поровну по $^1/_2$ нормы в сроки — при набивке, в стадию

елочки и в стадию бутонизации, для 2-го варианта — при набивке, при бутонизации и при цветении. Азот подкормок вносился при поливе в два приема.

Из микроэлементов вносились бор и марганец, на сосуд 0.2 мг действующего начала. Схема опыта следующая.

1. Фон, $^1/_2$ P, N—$^1/_2$ нормы.
2. Фон, $^1/_2$ P, N—$1^1/_2$ нормы.
3. Фон, $^1/_2$ P, N—$1^1/_2$ нормы дробно, 1-й вариант.
4. Фон, $^1/_2$ P, N—$1^1/_2$ нормы дробно, 2-й вариант.

5—8. То же при обеспечении $1^1/_2$ нормы P_2O_5.

Число повторностей было доведено до шести, так как в опыте учет урожая и определение поступления питательных веществ произведен в 3 срока (на 26-й, 48-й день и при созревании). В табл. 11 приведены данные учета урожая и содержания в нем N и P_2O_5 в ранние сроки.

Таблица 11

Поступление азота и фосфора и рост льна при различном соотношении N : P в питательной смеси в песчаных культурах

Внесено *		Общий урожай, г	Высота, см	Содержание N в зеленой массе		Содержание P_2O_5 в зеленой массе		Отношение N к P_2O_5
P	N			%	мг	%	мг	
На 26-й день после посева								
$^1/_2$ нормы	$^1/_2$ нормы	3.2	20	3.45	112	0.98	30.0	3.6
$^1/_2$ »	$1^1/_2$ »	3.6	22	6.13	221	1.40	50.2	4.4
$1^1/_2$ »	$^1/_2$ »	3.2	22	3.78	122	1.27	41.4	3.0
$1^1/_2$ »	$1^1/_2$ »	3.4	20	6.24	213	1.59	55.0	3.9
На 48-й день после посева								
$^1/_2$ нормы	$^1/_2$ нормы	12.3	76	1.03	126	0.42	50.5	2:5
$^1/_2$ »	$1^1/_2$ »	14.3	72	2.02	290	0.48	68.5	4.2
$^1/_2$ »	$1^1/_2$ » (дробно)	14.6	76	2.00	292	0.45	65.4	4.45
$1^1/_2$ »	$^1/_2$ нормы	11.9	81	1.00	119	0.56	66.8	1.8
$1^1/_2$ »	$1^1/_2$ »	15.6	78	1.87	292	0.81	126.5	2.3
$1^1/_2$ »	$1^1/_2$ » (дробно)	15.0	76	1.86	279	0.80	119.5	2.3

* Количество вносимого азота и фосфора указано в долях нормальной смеси Прянишникова.

Таблица результатов анализов льна подчеркивает различный характер превращений удобрений в почвенной и песчаной культурах: в почвенном растворе мы находили лишь следы растворимых фосфатов, в то же время в песке растворимых фосфатов оставалось достаточно, и если для почвенных условий внесение большей дозы P_2O_5 улучшало рост растений, то здесь повышение дозы фосфора не оказало влияния ни в первом, ни во втором сроках уборки. Уже на 26-й день мы наблюдаем высокий процент P_2O_5 в растении, который сильно повышается при увеличении дозы азота. Видимо, происходит усиленное поступление P при увеличении в растворе

содержания NH_4. На 48-й день содержание P_2O_5 в растениях колеблется около 0.4—0.8, т. е. для некоторых вариантов содержание P_2O_5 выше, чем было в почвенной культуре на 33-й день. Поэтому можно считать, что норма для фосфатов в песчаной культуре с большим избытком обеспечивает потребность в нем растений.

Положительное действие NH_4NO_3 и других азотистых удобрений на поступление P_2O_5, заметное в почвенной культуре, проявилось в условиях песчаных культур особенно рельефно; так, на 48-й день увеличение дозы N приводит по $1^1/_2$ дозе P_2O_5 к удвоению содержания фосфора в растении.

Внесение повышенной дозы фосфора изменило соотношение $N : P_2O_5$ в пользу фосфора.

Таблица 12

Изменение урожая льна в песчаных культурах при различной обеспеченности растений азотом и фосфором

Показатели урожая	Внесено фосфора	Внесено азота			
		$^1/_2$ нормы	$1^1/_2$ нормы	$1^1/_2$ нормы дробно (1-й вар.)	$1^1/_2$ нормы дробно (2-й вар.)
Общий урожай, г	$^1/_2$ нормы	11.7	16.7	15.2	13.0
	$1^1/_2$ »	12.5	19.4	17.9	14.5
Урожай технической соломки, г	$^1/_2$ нормы	7.4	9.0	8.2	7.5
	$1^1/_2$ »	8.3	9.7	8.9	8.6
Урожай семян, г	$^1/_2$ нормы	1.75	2.50	2.89	2.63
	$1^1/_2$ »	1.95	3.61	3.65	2.14
Общая высота растений, см	$^1/_2$ нормы	78	77	80	79
	$1^1/_2$ »	85	83	83	86
Техническая длина, см	$^1/_2$ нормы	72	70	71	72
	$1^1/_2$ »	79	73	74	76
Диаметр соломки, см	$^1/_2$ нормы	1.27	1.57	1.44	1.27
	$1^1/_2$ »	1.27	1.59	1.50	1.24

Дробное внесение азота не только не дало дополнительных прибавок, но даже снизило его по сравнению с единовременным внесением, и это сказалось особенно резко на общем урожае и урожае технической соломки. Лен в условиях этого опыта не обнаружил положительного действия дробного внесения.

В условиях песчаных культур единовременное внесение высокой дозы азота должно, казалось бы, повышать осмотическое давление сильнее, чем в почвенных условиях, и сильнее снижать урожай, так как в почве имеет место поглощение NH_4-иона и этим уменьшается влияние его концентраций; с другой стороны, NH_4NO_3 должен при единовременном внесении сильнее подкислять реакцию, чем при дробном.

В отличие от почвенных культур мы видим, что в первый срок, когда усиление питания фосфатами в почвенных культурах вдвое увеличивало урожай и рост растений, в песчаной культуре такого усиления роста и увеличения сухой массы нет. Наиболее правдоподобное объяснение этого явления будет следующее: видимо, даже при малой дозе P была высокая обеспеченность льна фосфором. Если в почвенных культурах усиление питания фосфором приводило к снижению процента азота в растении, то в песчаной культуре по обеим дозам P_2O_5 содержание азота не изменилось, так как увеличение P_2O_5 в растворе не повлияло на поступление азота.

Также и во второй срок эффекта от усиления питания фосфором почти незаметно; нет заметных изменений ни в поступлении азота, ни в проценте азота. Но внесение большой дозы азота резко повысило поступление P_2O_5 в растение: в растениях льна по обоим срокам имеется повышение доли фосфора в соотношении $N : P_2O_5$, что говорит об усиленном питании фосфором. Если для почвенных условий соотношение $N : P_2O_5$ при высокой дозе фосфора и внесении азотных удобрений приближалось к 5, то для соответствующих вариантов в песчаных культурах отношение не превышает 3—4.

Таблица 13

Изменение урожая льна в песчаных культурах при малой обеспеченности фосфором и различных условиях питания азотом

	Внесено фосфора	Внесено азота		
		$^1/_2$ нормы	$1^1/_2$ нормы	1 норма в 2 срока
Общий урожай в г в начале цветения	$^1/_{10}$ нормы	5.9	0.7	1.9
	$^1/_5$ нормы	6.8	3.5	6.4
	1 норма	9.2	8.0	9.6
Соотношение $N : P_2O_5$ в растениях в начале цветения	$^1/_{10}$ нормы	5.0	Не опр.	Не опр.
	$^1/_5$ нормы	5.2	4.0	6.5
	1 норма	1.7	1.8	1.9

Следовательно, в этом опыте были условия, когда растения были относительно во много раз более обеспечены P_2O_5, чем в почвенных условиях; поэтому и явления, наблюдавшиеся для почвенных условий, можно воспроизвести только поставив опыт с значительно меньшей дозой обеспечения P_2O_5, беря не $^1/_2$ нормы, а всего $^1/_{10}$. Такой опыт был осуществлен дополнительно и подтвердил намеченные ранее закономерности.

ВЫВОДЫ

Сравнение результатов опытов в почвенных и песчаных условиях позволяет сделать выводы о том, что отношение льна к единовременному и дробному удобрению его азотом определяется специфическими условиями питания льна фосфором в почвенных условиях.

Лен — растение с очень малой корневой системой, медленно развивающейся, которая в почвенных условиях с трудом может обеспечить снабжение растения фосфором. Фосфор в почве легко поглощается и поступление его в растения зависит от развития их корневой системы. Увеличение в почве содержания усвояемого фосфора особенно резко сказывается на льне — растении со слабой корневой системой. Внесение высокой дозы фосфора в почвенных культурах вызывало большие прибавки урожая при незначительном изменении процентного содержания фосфора в растениях.

В условиях песчаных культур уже незначительное количество фосфора может обеспечить нормальное развитие растений, и дальнейшее увеличение его дозы ведет к увеличению содержания фосфора в растении; это содержание может быть много выше, чем в условиях почвенной культуры.

При внесении азотных удобрений в почву нормальное использование их льном может быть обеспечено только при удовлетворении потребности молодых растений в фосфоре. Если количество вносимых азотных удобрений велико, то поступление азота в растения может превысить потребность в нем, азот не будет целиком использован, и накопление в растении аммиака может вредно отразиться на скорости роста льна в начале его развития; последнее может привести к понижению технической длины соломки, а также общей высоты растений.

Случаи слабого действия азотных удобрений на лен или отсутствия эффекта от азота объясняются не богатством наших подзолистых почв азотом, а нарушением питания растений в начале их развития и засушливыми условиями погоды во второй половине лета.

По мере своего роста лен развивает все бо́льшую корневую систему, которая все лучше снабжает растение фосфором, благодаря чему его отзывчивость на внесение фосфатов и особенно на повышенные дозы фосфора уменьшается, а потребность в азоте начинает возрастать. Поэтому на окончательном урожае, обычно, не заметно депрессии в развитии растений от высоких доз азота, которая иногда наблюдается в начале развития.

На первый взгляд кажется безразличным, какой ход развития растения приведет к одинаковому урожаю, но на самом деле это далеко не так. Если в первой половине развития растений мы имеем благоприятные условия для их роста, то это в большей мере гарантирует получение хорошего урожая, по сравнению с неблагоприятными условиями. Отставание в развитии льна, вызванное неправильным его питанием в первой половине вегетации, может быть наверстано усиленным развитием во второй половине вегетации только при благоприятных климатических условиях. В поле далеко не всегда следующий период вегетации окажется настолько благоприятным для развития растений, чтобы они смогли наверстать потерянное, и при неблагоприятных условиях резко снижается урожай.

Мы считаем необходимым, чтобы вопрос об отношении льна к азоту был пересмотрен. Рекомендуемые обычно дозы в 30—45 кг N/га могут считаться правильными лишь при обычных нормах фосфатов, но окажутся недостаточными при внесении 90—120 кг P_2O_5; наивысший урожай льна высокого качества может быть получен в этом случае при применении повышенных количеств азотных удобрений.

Дробное внесение азота, которое при недостаточном внесении P_2O_5 является неизбежным приемом использования высоких доз азота, может оказаться излишним при внесении высокой дозы фосфора. Внесение подкормок под лен в наших условиях при густом травостое может быть применено успешно только при соответствующей погоде, так как в сухую погоду удобрения останутся лежать на поверхности и не будут использованы.

Наметившиеся в нашей работе приемы глубокой заделки большей части азота и внесение высоких доз фосфатов необходимо применить в полевых условиях в целях создания наилучших условий азотного питания всего периода вегетации. Этот прием обеспечивает рациональное использование высоких доз удобрений для получения высоких урожаев льна. Обеспечение молодых растений льна усвояемыми фосфатами особое значение получает теперь, когда введены травопольные севообороты и лен идет по пласту, а количество минеральных удобрений, идущих на удобрение льна, все увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов А. С. Химизация льна в практике передовиков льноводства. Лен и конопля, № 8—9, 1938.

Льноводство. Сборник статей. Всесоюзный научно-исследовательский институт льна. М., 1949.

Крюков П. А. Методы выделения почвенных растворов. Современные методы исследования физико-химических свойств почв. Вып. 2. Изд. АН СССР, 1947.

Кудинов Д. Мировой рекорд урожайности льна. Лен и конопля, № 9, 1940.

Пейве Я. В., Радов А. С., Егоров В. Е. Удобрение в льноводстве. М., 1936.

Соколов А. В. Распределение питательных веществ в почве и урожай растений. Изд. АН СССР, 1947.

Соколов А. В., Панфилов В. Н., Ахромейко А. И. Вегетационный метод. М., 1938.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Д. М. ХЕЙФЕЦ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЛЕН В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА

Способы внесения удобрений в значительной степени определяют их эффективность; при этом необходимо, чтобы основная масса питательных веществ удобрений была использована растениями, а не оставалась мертвым капиталом в почве, на что указывал в свое время В. Р. Вильямс (1947), рекомендовавший «удобрять растение, а не почву».

Техника внесения удобрений должна быть увязана с теми изменениями, которые при этом происходят в почве и которые создают те или иные условия развития растений.

При предпосевном внесении высоких доз удобрений некоторые питательные вещества (азот) могут оказаться в большом избытке в области распространения корневой системы молодых растений и вызвать ослабление в их развитии (Авдонин, 1936). Слабый рост в начале вегетации приводит очень часто к снижению окончательного урожая; это явление особенное значение имеет при культуре льна — растения, очень чувствительного к избытку питательных веществ.

Применение подкормок или многократное внесение удобрения небольшими дозами является хорошим методом использования удобрений (Авдонин, 1944), но оно связано с затратами рабочей силы в хозяйстве и не всегда технически удобно при удобрении густых посевов. Поэтому было важно изучить и другие приемы повышения эффективности вносимого в почву азота.

Д. В. Федоровским[1] было показано, что основной причиной ослабленного действия повышенных доз азотного удобрения под лен является избыток азота, поступающего в растения в молодом возрасте при недостатке поступления фосфора.

Целью наших исследований, являющихся продолжением работы Д. В. Федоровского, было следующее.

1. Изучение сравнительной эффективности минеральной и органической форм азота. Предполагалось, что органическая форма азота, как постепенно минерализующаяся и, следовательно, медленнее используемая растениями, может менее резко сдвигать соотношения азота и фосфора в растении, чем минеральная форма азота.

[1] Статья в этом же сборнике.

2. Установление дозы фосфора, при которой усиливается эффективность повышенных доз азота.

3. Изучение влияния поверхностного внесения фосфатов одновременно с глубоким внесением азота, как один из приемов, усиливающих эффективность повышенных доз азота.

В наших исследованиях сопоставлялись изменения состава почвенного раствора под влиянием тех или иных изучавшихся факторов с изменениями, которые происходят в урожае растений. С этой целью был заложен ряд вегетационных опытов на дерново-среднеподзолистой суглинистой почве Долгопрудной агрохимической опытной станции.

С помощью вегетационных опытов мы предполагали вскрыть сущность процессов, происходящих в растениях и в почве под влиянием изучаемых нами факторов, считая выводы из этих опытов ориентировочными, но важными для решения практических вопросов применения удобрений.

Опыты проводились в стеклянных сосудах (15 × 30 см). Азот и фосфор вносились на фоне 0.5 г K_2O в форме K_2SO_4 по приводимым ниже схемам, причем минеральный азот вносился в форме NH_4NO_3, а органический в виде аспарагина.

Посев льна во всех трех опытах был произведен 25 мая.

Опыт 1. Сравнение эффективности минеральных и органических форм азота

Схема опыта

1. К (фон).
2. К + 0.25 г азота минерального.
3. К + 1.00 г » » внесено при набивке.
4. К + 1.00 г » » » дробно.
5. К + 1.00 г » органического » при набивке.

Последние 4 варианта повторялись на трех фонах:
Без P_2O_5.
+ 0.25 г P_2O_5.
+ 1.00 г P_2O_5.

Повторность в опыте 3-кратная, за исключением сосудов с многократным внесением азота, где повторность 2-кратная.

Многократное внесение производилось следующим образом: при набивке сосудов перед посевом вносилось 0.25 г N, в стадии елочки (19 июня) — 0.25 г, в стадии бутонизации (1 июня) — 0.25 г и, наконец, в стадии цветения (16 июля) — последние 0.25 г; в дальнейшем в таблицах и тексте этот прием именуется «дробным» внесением азота.

В момент набивки сосудов параллельно одной части схемы (табл. 1) были заложены парующие сосуды; из взятых в этих сосудах через два дня образцах почв был вытеснен по методу Ищерекова — Комаровой (1939) почвенный раствор, в котором определялось содержание фосфора, азота аммиачного и нитратного, а также электропроводность (мостиком Уитстона) и осмотическое давление — криоскопическим методом. Данные приведены в табл. 5.

Из наблюдений за ростом растений следует отметить: отставание всходов по аспарагину, а затем обычное наблюдаемое в опытах явление четкой реакции льна на фосфаты в весь первый период роста и почти полное отсутствие реакции на азот в это же время; ко времени цветения, однако, совершенно определенно наметилось резкое отставание растений в сосудах

при внесении 1.0 г минерального азота и нормальный рост по равной дозе аспарагинного азота (рис. 1).

8 июля по всей схеме, кроме сосудов с дробным внесением фосфатов, было убрано по одному сосуду; из почвы вытеснялся почвенный раствор и анализировался; растения после сушки и взвешивания были проанализированы на содержание в них азота и фосфора.

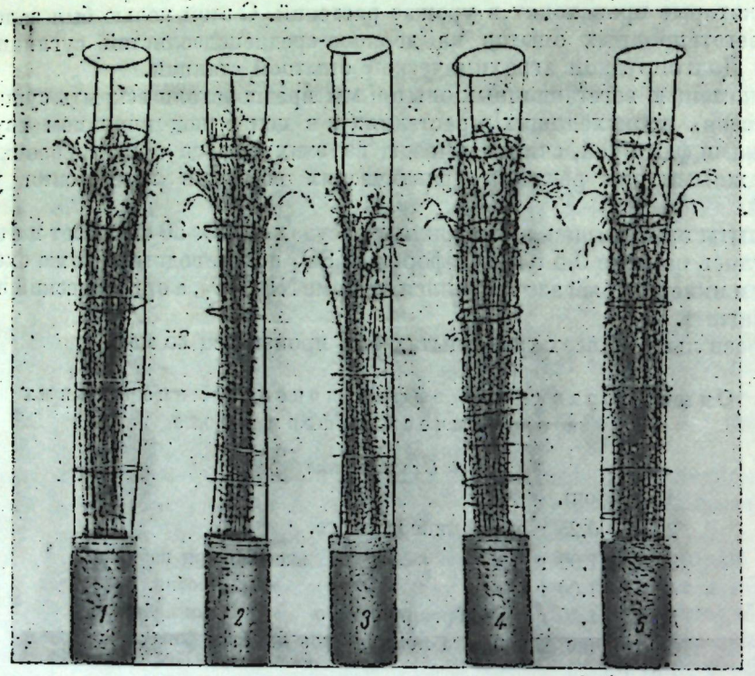


Рис. 1. Влияние различных форм азота на развитие льна

1 — фон РК; *2* — при внесении азота перед посевом 0.25 г N в NH_4NO_3; *3* — то же 1 г N в NH_4NO_3; *4* — то же 1 г N в аспарагине; *5* — внесено дробно 1 г N в NH_4NO_3.

Урожайные и аналитические данные для растений, убранных во время вегетации, приведены в табл. 2; аналитические данные почвенного раствора, соответствующего этому моменту,— в табл. 1. В первый период роста при внесении повышенных доз азота наблюдается наличие аммиачного азота в почвенном растворе, высокая концентрация солей и высокое осмотическое давление (табл. 1), причем последний из отмеченных моментов значительно резче выявляется при минеральной форме азота, чем при органической.

Данные роста растений и содержания в них питательных веществ (табл. 2), со своей стороны, указывают на резкую депрессию в росте, в весе и в поступлении питательных веществ в растения в первый период вегетации по повышенной дозе минерального азота, на повышенный процент азота и резко сниженный процент фосфора в растениях по этой дозе азота, внесенной без фосфора. Внесенная в равной дозе органическая форма азота при отсутствии или при обычной дозе фосфатов (0.25 г P_2O_5 на сосуд) дает явное преимущество в росте и содержании питательных веществ в растениях против минеральной; на фоне же повышенного фосфатного

Таблица 1

Влияние дозы и формы азота (минеральной или органической) на состав почвенного раствора на 44-й день вегетации

Дозы и формы внесенного в сосуд азота, г	Найдено в почвенном растворе, мг на 100 г почвы: P_2O_5	N: NH_4	N: NO_3	Растворимых солей (по электропроводности)	Осмот. давл., атм. *
Без P_2O_5					
0.25 минерального	Следы	0.2	5.8	39.9	Не опр.
1.00 »	»	1.6	8.3	80.9	»
1.00 органического	»	2.4	21.1	143.1	»
По фону 0.25 г P_2O_5					
0.25 минерального	Следы	0.2	4.2	30.9	2.89
1.00 »	»	1.6	9.8	70.1	4.56
1.00 органического	»	2.3	10.8	94.8	3.12
По фону 1.0 г P_2O_5					
0.25 минерального	Следы	0.2	1.9	—	2.28
1.00 »	»	1.6	15.5	94.9	3.24
1.00 органического	»	1.2	12.8	105.3	1.32

* Осмотическое давление определялось при набивке сосудов.

питания более высокая доза минерального азота действует положительно и даже имеет преимущество перед органической формой в этот период роста.

В зависимости от дозы азота окончательная уборка урожая растений производилась в разное время, с 21 августа по 5 сентября, причем растения, получившие по 1.0 г минерального азота, до конца вегетации сохраняли зеленый вид и были убраны с большим количеством зеленых головок, что в ряде случаев и выявилось относительным расхождением между весом семян и количеством головок (это явление отмечается и для органической формы азота в тех случаях, когда не вносились фосфаты).

После уборки урожая в растениях определялись азот и фосфор (табл. 3 и 4), а из образцов почвы соответствующих сосудов вытеснялся и анализировался почвенный раствор (см. данные табл. 5). Почвенный раствор к концу вегетации (табл. 5) не содержал аммиачного азота, содержал небольшое количество нитратного азота, а следовательно, общее количество растворимых солей и осмотическое давление в нем резко снизилось, но все же оставалось более высоким на фоне минерального азота, чем органического; в соответствии с этим урожайные и аналитические данные, полученные в конце вегетационного периода (табл. 3 и 4), показывают, что депрессия (в отношении урожая по малой дозе азота) исчезла, но некоторое преимущество органической формы азота наблюдалось, причем это преимущество выявилось к концу вегетации и на высокой дозе фосфатов.

Таблица 2

Влияние дозы и формы внесенного в почву азота (минеральной или органической) на рост льна и содержание в нем азота и фосфора на 44-й день после посева

Дозы и формы внесенного азота, г	Высота растений, см	Вес на сосуд, г	Содержание в растениях			
			N		P_2O_5	
			%	мг на сосуд	%	мг на сосуд
Без P_2O_5						
0.25 минерального	55	5.5	2.54	140	0.44	24
1.00 »	33	2.1	2.79	59	0.27	6
1.00 органического	51	4.8	2.61	126	0.46	22
По фону 0.25 г P_2O_5						
0.25 минерального	79	9.7	—	—	—	—
1.00 »	37	2.1	—	—	—	—
1.00 органического	69	8.3	—	—	—	—
По фону 1.0 г P_2O_5						
0.25 минерального	99	17.3	—	—	—	—
1.00 »	96	17.0	1.95	332	0.42	71
1.00 органического	72	13.5	2.25	304	0.52	71

Несмотря на то, что депрессия на повышенной дозе минерального азота особенно резко выявляется в первый период роста (до бутонизации), это может послужить серьезной угрозой для урожая льна в полевых условиях, где первая более дождливая половина лета очень часто обусловливает конечный урожай.

Следует отметить, что дробное внесение минерального азота не давало ни в одном случае преимущества перед одновременным внесением такой же повышенной дозы азота, но в органической форме.

Сопоставление урожайных и аналитических данных, полученных в описанном вегетационном опыте со льном, с аналитическими данными состава почвенного раствора, анализируемого параллельно, позволяет сделать следующие выводы.

1. Органическая форма азота (в данном случае аспарагин), внесенная в повышенной дозе — 1.0 г азота на сосуд, не вызвала обычных для такой дозы минерального азота признаков резкой депрессии в росте льна в первую половину вегетации; даже к концу вегетации, когда в условиях вегетационных опытов обычно указанная депрессия исчезает, продолжало отмечаться некоторое преимущество органической формы азота перед минеральной.

2. Это преимущество на основании имеющихся данных, повидимому, связано с тем, что органическая форма азота постепенно минерализуется, менее резко повышает в почвенном растворе концентрацию нитратов (а следовательно, и осмотическое давление как в начале, так и к концу вегетации) и обеспечивает более сильное поступление в растения фосфатов (см. табл. 5).

Таблица 3

Влияние дозы и формы внесенного в почву азота (минеральной или органической) на урожай льна к концу вегетации

Дозы и формы внесенного в сосуд азота, г	Высота растений, см		Вес, г		Число коробочек
	общая	технич.	общий урожай	семена	
Без P_2O_5					
0.25 минерального	97	74	24.6	7.4	195
1.00 »	101	73	31.5	5.2	261
1.00 органического	107	80	39.3	7.1	368
1.00 минерального (дробн. внесение)	106	85	36.4	7.0	321
По фону 0.25 г P_2O_5					
0.25 минерального	100	85	25.7	7.1	191
1.00 »	110	82	40.5	7.5	355
1.00 органического	111	88	42.1	8.7	361
1.00 минерального (дробн. внесение)	115	88	42.2	8.7	357
По фону 1.0 г P_2O_5					
0.25 минерального	111	92	34.3	8.7	241
1.00 »	113	89	48.0	9.4	415
1.00 органического	121	94	53.0	11.3	450
1.00 минерального (дробн. внесение)	121	96	51.9	11.5	422

Таблица 4

Влияние дозы и формы внесенного в почву азота (минерального или органического) на содержание в растениях азота и фосфора к концу вегетации

Дозы и формы внесенного в сосуд азота, г	Содержится в растениях			
	N		P_2O_5	
	%	мг на сосуд	%	мг на сосуд
Без P_2O_5				
0.25 минерального	1.67	424	0.49	121
1.00 »	2.20	692	0.49	152
1.00 органического	2.13	833	0.53	216
По фону 1.0 г P_2O_5				
1.00 минерального	2.06	976	0.54	261
1.00 органического	1.76	935	0.54	339

Таблица 5

Состав почвенного раствора во время вегетации растений (льна) при удобрении дерново-среднеподзолистой почвы минеральной и органической формой азота*

Дозы и формы внесенного в сосуд азота, г	Найдено в почвенном растворе: к началу вегетации, мг на 100 г почвы: P_2O_5	N: NH_4	N: NO_3	растворимых солей (по электропроводности)	осмот. давл., атм.	на 44-й день, мг на 100 г почвы: P_2O_5	N: NH_4	N: NO_3	растворимых солей (по электропроводности)	к концу вегетации, мг на 100 г почвы: P_2O_5	N: NH_4	N: NO_3	растворимых солей (по электропроводности)	осмот. давл., атм.
0.25 минерального	Следы	2.0	4.5	27.3	2.89	Следы	0.20	4.2	30.9	—	—	Нет	15.0	1.56
1.00 минерального	»	1.8	13.0	77.2	4.56	»	1.6	9.8	70.1	Следы	Нет	6.0	54.9	2.28
1.00 органического	»	1.0	7.7	71.3	3.12	»	2.3	10.8	94.8	»	»	3.0	33.6	1.62

* Фосфор во всех вариантах внесен в дозе 0.25 г P_2O_5 на сосуд.

Опыт 2. Влияние различного соотношения азота и фосфора в удобрениях, вносимых в дерново-среднеподзолистую почву, на развитие льна

Опыт был проведен на дерново-среднеподзолистой почве Долгопрудной опытной станции. Во все сосуды схемы вносился $CaCO_3$ по гидролитической кислотности, что соответствовало 16.5 г $CaCO_3$ на 5 кг. абсолютно сухой почвы, для того чтобы устранить влияние кислотности при разрешении поставленного вопроса. Опытным растением был лен. В сосуды вносился и бор в количестве 10 мг H_3BO_3 для устранения вредного действия извести на лен.

Схема опыта

1. К (фон)
2. К + 0.25 г P_2O_5
3. К + 1.00 г P_2O_5
4. К + 2.00 г P_2O_5
5. К + 3.00 г P_2O_5

Все эти варианты повторялись на фонах: без азота, 0.25 г азота, 1.00 г азота единовременно и 1.00 г азота дробно. Дробное внесение азота производилось в те же сроки, что и в предыдущем опыте, и такими же количествами. Повторность опыта 3-кратная (исключая сосуды с дробным внесением азота). Анализы проводились такие же, как и в первом опыте, за исключением анализа почвенного раствора, полученного сразу же после набивки сосудов.

Опытные данные приведены в табл. 6—10 и отображают рост растений, вес и содержание в них питательных веществ (азот и фосфор) как в середине, так и к концу вегетации, а также данные анализа состава почвенного раствора в это же время.

Таблица 6

Влияние различных соотношений внесенных в почву азота и фосфора на развитие льна
(данные в г на сосуд)

Дозы внесенных удобрений в г на сосуд: N	Общий вес растений: на 46-й день вегетации, P_2O_5: 0	0.25	1.00	3.00	к концу вегетации, P_2O_5: 0	0.25	1.00	3.00	Вес семян, P_2O_5: 0	0.25	1.00	3.00
0 (без азота)	11.0	12.7	20.5	28.0	29.4	31.3	36.1	49.6	8.3	9.4	9.1	9.3
0.25 единовременно	9.1	12.1	21.1	27.2	33.7	36.1	42.7	46.3	8.5	9.1	10.8	11.2
1.00 »	7.8	9.7	17.7	21.2	33.1	37.6	53.0	62.0	7.6	9.4	10.6	11.7
1.00 дробно	—	—	—	—	34.1	39.5	53.3	59.4	7.2	7.5	10.7	12.1

Таблица 7

Влияние различных соотношений внесенных в почву азота и фосфора на высоту льна на фоне $CaCO_3$
(данные в см)

Дозы внесенных удобрений в г на сосуд: N	Общая длина: На 46-й день вегетации, P_2O_5: 0	0.25	1.00	3.00	к концу вегетации, P_2O_5: 0	0.25	1.00	3.00	Техническая длина соломки, P_2O_5: 0	0.25	1.00	3.00
0(без азота)	82	90	105	111	97	100	107	116	74	75	94	97
0.25 единовременно	80	84	107	116	102	107	114	120	74	94	90	102
1.00 »	69	77	103	108	106	108	115	130	72	76	86	100
1.00 дробно	—	—	—	—	108	113	122	126	77	82	95	95

Таблица 8

Содержание азота и фосфора в растениях на 46-й день после посева в зависимости от различных соотношений внесенных в почву азота и фосфора

Дозы удобрений в г на сосуд	Без P_2O_5: Содержится в растениях, N: %	N: мг на сосуд	P_2O_5: %	P_2O_5: мг на сосуд	1.0 P_2O_5: N: %	N: мг на сосуд	P_2O_5: %	P_2O_5: мг на сосуд	3.0 P_2O_5: N: %	N: мг на сосуд	P_2O_5: %	P_2O_5: мг на сосуд
0.25 N	2.47	224	0.61	56	2.12	447	0.77	162	2.01	547	0.75	203
1.00 N	2.67	208	0.63	49	2.21	391	0.65	115	2.24	475	0.61	129

На известкованном фоне большая доза азота на 46-й день опыта вызвала депрессию в росте льна по всем дозам фосфора (табл. 6 и 7); процент азота в растениях оказался выше, процент фосфора ниже, ниже и общее накопление фосфатов в растениях по сравнению с таковыми, выросшими по малой дозе азота (табл. 8); все эти явления находят отражение в цифрах анализа почвенного раствора (табл. 10), из которых видно, что внесение высокой дозы азота увеличивает в этот период количество нитратного азота и соответственно общее количество растворимых солей и осмотическое давление в почвенном растворе по сравнению с малой дозой азота.

К концу вегетации меняется состав почвенного раствора по повышенной дозе азота в сторону снижения всех указанных величин; сглаживаются и даже совсем исчезают явления депрессии в росте (остается только отставание в росте технической соломки); более высокое содержание азота в растениях по повышенной дозе азота наблюдается и в созревших растениях (табл. 9). Разные дозы фосфатов по повышенной дозе азота по мере нарастания ведут к повышению урожаев, технической длины соломки, веса семян, содержания питательных веществ в растениях и снижению процента азота в них.

Таблица 9

Содержание азота в льне к концу вегетационного периода в зависимости от различных соотношений внесенных в почву азота и фосфора

Внесено N в г на сосуд	Без P_2O_5				1.0 P_2O_5				3.0 P_2O_5			
	% N в			мг N на сосуд	% N в			мг N на сосуд	% N в			мг N на сосуд
	соломе	семенах	общем урожае		соломе	семенах	общем урожае		соломе	семенах	общем урожае	
0.25	1.21	4.55	2.04	690	0.67	4.26	1.57	675	0.50	4.50	1.49	680
1.00	1.64	4.18	2.22	736	1.50	4.66	2.14	1130	1.04	4.49	1.70	1050

Таблица 9а

Содержание фосфора в льне к концу вегетационного периода в зависимости от различных соотношений внесенных в почву азота и фосфора

Внесено N в г на сосуд	Без P_2O_5				1.0 P_2O_5				3.0 P_2O_5			
	% P_2O_5 в			мг P_2O_5 на сосуд	% P_2O_5 в			мг P_2O_5 на сосуд	% P_2O_5 в			мг P_2O_5 на сосуд
	соломе	семенах	общем урожае		соломе	семенах	общем урожае		соломе	семенах	общем урожае	
0.25	0.37	1.86	0.74	248	0.35	2.04	0.78	331	0.41	2.06	0.82	376
1.00	0.38	1.77	0.70	229	0.49	1.95	0.78	415	0.49	1.99	0.76	476

Следует отметить, что на известкованном фоне (табл. 10) осмотическое давление значительно ниже, чем на неизвесткованном фоне (табл. 5), как в середине, так и к концу вегетации, и депрессия в росте растений по

Таблица 10

Состав почвенного раствора во время вегетации растений льна в зависимости от различного соотношения внесенных в почву азота и фосфора на фоне $CaCO_3$

Дозы N в г	Найдено в почвенном растворе									
	на 46-й день вегетации					к концу вегетации				
	мг на 100 г почвы					мг на 100 г почвы				
	P_2O_5	N		растворимых солей (по электропроводности)	осмот. давл., атм.	P_2O_5	N		растворимых солей (по электропроводности)	осмот. давл., атм.
		NH_4	NO_3				NH_4	NO_3		
Без P_2O_5										
0.25	Следы	Нет	5.1	46.8	1.20	Следы	Нет	Нет	25.3	0.96
1.00	»	»	4.8	138.0	1.80	»	»	9.6	75.2	1.56
По фону 1.0 г P_2O_5										
0.25	Следы	Нет	6.3	41.7	1.32	Следы	Нет	Нет	27.7	0.54
1.00	»	»	18.0	115.4	1.90	»	»	»	32.6	1.20
По фону 3.0 г P_2O_5										
0.25	Следы	Нет	3.9	44.2	1.44	Следы	Нет	Нет	30.6	1.08
1.00	»	»	23.3	175.4	1.56	»	»	»	17.3	0.72

высокой дозе азота менее выражена (табл. 6 и 7), чем на неизвесткованном фоне (табл. 2).

Несмотря на отсутствие к концу вегетационного периода депрессии в общем росте льна, отставание в росте технической соломки льна в сосудах, в которые вносилось 1.0 г азота, прекратилось только при внесении 3.00 г P_2O_5; урожай по весу в этом случае получился значительно более высокий, чем при дробном внесении этой же дозы азота +1.0 г P_2O_5, и почти в полтора раза выше, чем при дробном внесении 1.0 г азота +0.25 г P_2O_5 (т. е. чем при обычной дозе фосфатов); это видно из цифр табл. 11 и рис. 2.

Беспрерывное нарастание урожаев льна при внесении фосфатов от 0.25 до 3.0 г P_2O_5 на сосуд подчеркивает большую требовательность

Таблица 11

Влияние повышенных доз фосфора на урожай льна при высоких дозах азота

Внесено, в г на сосуд		Высота в см		Вес в г	
N	P_2O_5	общая	технич.	общий	семена
1.0 дробно	0.25	113	32	39.5	7.5
1.0 »	1.0	122	95	53.3	10.7
1.0 одновременно	1.0	115	86	53.0	10.6
1.0 »	+3.00	130	100	62.0	11.7

льна к фосфатам, которая, повидимому, связана с его слабо развитой корневой системой; такое отношение льна к фосфатам объясняет в значительной степени отрицательное влияние на лен повышенных доз азота в тех случаях, когда фосфора в питательной среде недостаточно.

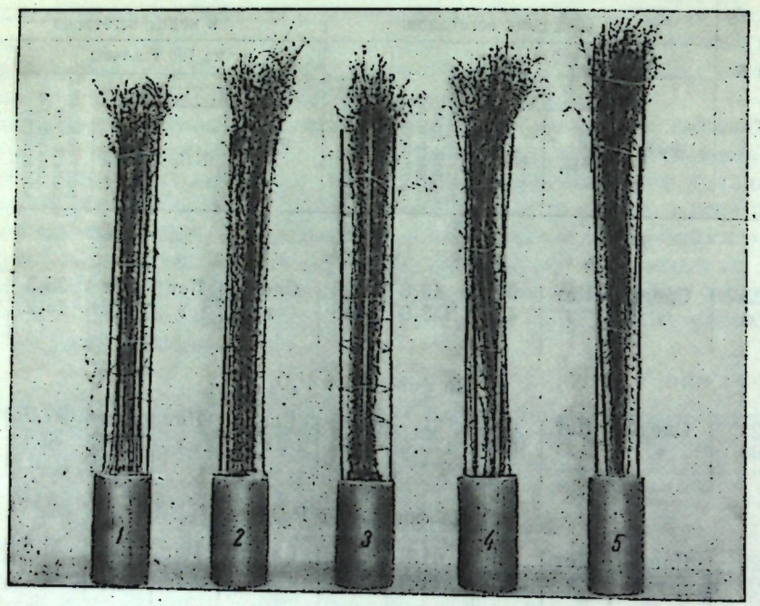


Рис. 2. Влияние различных доз фосфора на развитие льна при высоких дозах азота

1 — на фоне К + 1.0 г P_2O_5 без N; *2* — то же + 0.25 г N; *3* — то же + 1.0 г N (единовременно); *4* — то же + 1.0 г N (дробно); *5* — на фоне К + 3.0 г P_2O_5 единовременно 1.0 г N.

Итак, мы видим, что на известкованной дерново-среднеподзолистой почве ДАОС, так же, как и на неизвесткованной, эффективность вносимых единовременно повышенных доз азота можно усилить применением высоких доз фосфатов, но дозы эти должны быть еще более высокими, чем на неизвесткованных почвах.[1]

Опыт 3. Значение различного распределения азота и фосфора в почве для усиления эффективности удобрений

Сузить соотношение между азотом и фосфором в почве можно не только увеличением дозы вносимого фосфорного удобрения, но и определенным способом распределения азотных и фосфорных удобрений. Для изучения такого приема повышения эффективности азота под лен был поставлен вегетационный опыт по следующей схеме.

Схема опыта

1. К (фон).
2. К + 0.25 г азота.
3. К + 1.00 г » по всему сосуду.
4. К + 1.00 г » в нижнюю треть сосуда.
5. К + 0.25 г » по всему сосуду и 0.75 г азота в нижнюю треть сосуда.
6. К + 1.0 г » дробно.

[1] См. статью Д. В. Федоровского в этом же сборнике.

Вегетационный опыт по этой схеме проводился на фоне следующих доз фосфатов: 1) без P_2O_5; 2) 0.25 г P_2O_5 по всему сосуду; 3) 0.25 г P_2O_5 в верхние 5 см почвы вегетационного сосуда и 4) 1.00 г P_2O_5 по всему сосуду.

В работе предыдущих лет 5-й вариант схемы дал в опытах положительный результат. Было интересно испытать и 4-й вариант, как технически более легко осуществимый; кроме того, вводя в схему 3-й вариант фосфорного фона, т. е. внесение обычной дозы фосфатов не по всему сосуду, а в поверхностный слой, имелось в виду дать фосфор в достаточном количестве совсем молодым растениям для того, чтобы обеспечить в них более или менее нормальное соотношение между азотом и фосфором. В полевых условиях последнее достигается методом рядкового внесения удобрений.

В этом опыте (табл. 12, 13 и 14) депрессивное действие повышенных доз азота даже при дробном его внесении не устранялось без внесения фосфатов. Урожай семян на бесфосфорном фоне был: без азота — 4.7 г, по 0.25 г азота — 6.5 г, а при внесении 1.00 г азота он упал при единовременном внесении до 2.2 г, а при дробном до 3.1 г; при внесении всего азота в нижнюю часть сосуда получен урожай семян в 3.1 г; на фоне малой дозы фосфора урожай семян был 7.3 г при внесении 0.25 г азота, 3.3 г при внесении 1.0 г азота единовременно, 4.1 г при внесении этой же дозы дробно и 5.7 при внесении ее в нижнюю часть сосуда. Следовательно, значение приемов внесения азота возрастает при улучшении фосфатного питания. Еще более подчеркивается значение приемов внесения азота при внесении 0.25 г P_2O_5 в верхний слой сосуда; урожай семян при дробном внесении азота в этом случае достиг 7.6 г. Только на фоне увеличенных доз фосфора (1.0 г P_2O_5 на сосуд) повышенная доза азота, независимо от способов внесения, дает урожаи более высокие, чем малая доза.

Таким образом, при применении повышенной дозы азота, наиболее эффективным является внесение его в нижнюю часть сосуда или дробное

Таблица 12

Влияние различного распределения вносимых в почву азота и фосфора на высоту льна

(данные в см)

Дозы в г на сосуд и способы внесения удобрений	Без P_2O_5		0.25 P_2O_5				1.0 P_2O_5 по всему сосуду	
			по всему сосуду		в верхнюю часть сосуда			
N	высота		высота		высота		высота	
	общая	технич.	общая	технич.	общая	технич.	общая	технич.
0	90	78	101	89	101	89	109	98
0.25 по всему сосуду	97	78	100	86	95	84	113	98
1.00 то же	89	69	95	77	93	83	110	91
1.00 вниз	97	72	110	85	109	84	117	93
0.25 по всему сосуду	95	71	103	81	102	83	116	94
0.75 вниз								
1.00 дробно	96	73	102	80	110	87	120	99

Таблица 13

Влияние различного распределения вносимых в почву азота и фосфора на урожай льна

(данные вегетационного опыта в г на сосуд)

Дозы в г на сосуд и способы внесения удобрений	Без P_2O_5		0.25 г P_2O_5 по всему сосуду		0.25 г P_2O_5 в верхнюю часть сосуда		1.0 г P_2O_5 по всему сосуду	
N	Урожай		Урожай		Урожай		Урожай	
	общий	семена	общий	семена	общий	семена	общий	семена
0	19.1	4.7	22.6	5.6	23.4	5.6	24.7	5.3
0.25 по всему сосуду	28.3	6.5	27.8	7.3	25.8	6.3	31.0	6.0
1.00 то же	18.8	2.2	22.4	3.3	23.4	2.2	41.2	8.1
1.00 вниз	28.3	3.1	35.0	5.7	32.4	5.7	46.0	7.6
0.25 во всему сосуду 0.75 вниз	23.3	1.9	31.2	5.1	37.7	6.0	49.1	10.6
1.00 дробно	26.9	3.1	29.2	4.1	42.3	7.6	52.7	9.9

Таблица 14

Влияние различного распределения вносимых в почву азота и фосфора на число коробочек льна и их дозревание

Дозы в г на сосуд и способы внесения удобрений	Без P_2O_5		0.25 г P_2O_5 по всему сосуду		0.25 г P_2O_5 в верхнюю часть сосуда		1.0 г P_2O_5 по всему сосуду	
N	Число коробочек							
	на сосуд	на 1 г семени	на сосуд	на 1 г семени	на сосуд	на 1 г семени	на сосуд	на 1 г семени
0	139	30	158	28	159	27	154	29
0.25 по всему сосуду	241	37	204	28	173	27	285	48
1.00 то же	187	85	219	65	208	94	269	33
1.00 вниз	266	86	318	56	333	59	426	56
0.25 по всему сосуду 0.75 вниз	256	130	301	60	324	54	387	36
1.00 дробно	228	73	280	70	407	53	468	48

внесение азота по срокам (подкормка). Это вполне совпадает с высказываемыми предположениями о том, что лен, получающий достаточное количество фосфора в первое время роста, легче справляется с поступающим в это время азотом, т. е. осваивает его без накопления вредных избытков его в растениях в виде аммиака (Прянишников, 1946).

В этом опыте четко выявилось отмеченное, хотя и в меньшей мере, чем в других опытах, запоздалое дозревание коробочек льна при всех способах внесения повышенных доз азота на фоне доз фосфора, на что указывает большой разрыв между весом семян и числом коробочек. Некоторую тенденцию к уменьшению этого разрыва мы видим при комбинации поверхностного внесения фосфатов при глубоком или дробном внесении азота; возможно, что более ранний срок посева дал бы более определенные цифры.

Сопоставление полученных данных состава и свойств почвенного раствора с урожайными и аналитическими данными поступления питательных

веществ в растения позволяет сделать следующие выводы по всем изложенным опытам.

1. Единовременное внесение в почву повышенных доз минерального азота в первый период роста вызывает накопление в почвенном растворе аммиачного и нитратного азота, ведет к повышению концентрации растворимых солей и осмотического давления. Одновременно повышается в растениях процент азота, снижается процент фосфора и уменьшаются урожаи.

2. Чтобы повысить эффективность азота, следует изменить соотношение азота и фосфора в растениях либо более постепенным поступлением азота, либо увеличением дозы фосфора или концентрации фосфора в месте нахождения корней молодых растений (местное внесение удобрений).

3. Органическая форма соединений азота (в данном случае аспарагин), внесенная в большей дозе (1.0 г азота на сосуд), обусловила в почвенном растворе как в начале, так и к концу вегетации менее сильное накопление нитратов и вообще растворимых солей, а следовательно, и меньшее осмотическое давление, и не вызвала обычных для такой дозы минерального азота признаков снижения в росте льна. Это преимущество, повидимому, связано с постепенной минерализацией органической формы азота в почве.

4. На известкованной дерново-среднеподзолистой почве, так же как и на неизвесткованной, повысить эффективность азота можно применением высоких доз фосфатов, но дозы фосфора должны быть более высокими на известкованных почвах, чем на неизвесткованных.

5. При внесении повышенных доз азота под лен следует весь его распределить по возможности глубже, для того чтобы корни молодых растений были удалены от соприкосновения с высокими концентрациями азотных удобрений.

6. Увеличить эффективность вносимых в почву повышенных доз азота можно при условии местного внесения фосфорных удобрений, т. е. при большем обеспечении фосфором растений в молодом возрасте.

7. Изучавшиеся способы повышения эффективности единовременного внесения повышенных доз азота показали, что применение их позволяет получать урожаи такой же величины, как и получаемые при дробном внесении азота, которое не всегда является технически удобным приемом.

ЛИТЕРАТУРА

Авдонин Н. С. О сроках и способах внесения удобрений. Химиз. соц. земледел., № 6, 1936.

Авдонин Н. С. Подкормка сельскохозяйственных растений. Сельхозгиз, М., 1944.

Вильямс В. Р. Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1947.

Комарова Н. А. К вопросу об изучении почвенных растворов. Почвоведение, № 10, 1939.

Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и земледелии СССР. Изд. АН СССР, 1945.

Соколов А. В. Распределение питательных веществ в почве и урожай растений. Изд. АН СССР, 1947.

Федоровский Д. В. Почвенные условия эффективности единовременного и дробного внесения удобрений под лен (в настоящем томе).

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Л. И. КОРАБЛЕВА

ДЕЙСТВИЕ МАГНИЯ НА ПЛОДОРОДИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ

(дерново-подзолистых и красноземных)

В ходе подзолообразовательного процесса почвы обедняются щелочноземельными основаниями (кальцием и магнием) и приобретают кислую реакцию. Аналогичное явление имеет место при систематическом внесении в почву физиологически кислых форм азотных удобрений $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3 и др. Добавкой известковых удобрений в той или иной мере достигается нейтрализация кислотности почв.

О значении содержания щелочноземельных оснований в почве для ее плодородия указывалось многими авторами. Еще А. Н. Энгельгардт в полевых опытах с сернокислым магнием отмечал хорошее действие его на урожай клевера. Много работ по изучению влияния магния на зольное питание растений было проведено М. А. Егоровым (1926), изучавшим влияние магния на рост растений. В начале нынешнего столетия О. Лёв (1902) высказал предположение, что для получения хорошего урожая растений необходимо определенное соотношение в почве кальция и магния, так как эти элементы будто бы являются антагонистами в питании растений.

К. К. Гедройц (1935) в ряде работ пытался устанавливать оптимальные для растений соотношения между кальцием и магнием в составе поглощенных оснований почвы и с этой точки зрения подходил к использованию при известковании почв доломита и известняка. Работы К. К. Гедройца не привели к определенным результатам, так как в его опытах не учитывалось значение микроэлементов в питании растений и, в частности, бора на известкованных почвах. Много внимания использованию доломитов в целях известкования уделялось в работах О. К. Кедрова-Зихмана; в опытах последнего магнийсодержащие известняки и доломиты в ряде случаев в большей степени повышали урожай растений, чем углекислая известь (Кедров-Зихман, 1936, 1940, 1948).

При длительном внесении в почву физиологически кислых форм азотных удобрений [$(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3 и др.] имеет место систематическое ее подкисление (понижение pH), потери щелочноземельных оснований, подавление микробиологических процессов и целый ряд других явлений, ведущих к резкому снижению плодородия почвы. Эти явления более быстро выявляются на почвах легкого механического состава, а при внесении высоких доз азотных удобрений и на более тяжелых дерново-подзолистых суглинистых и красноземных почвах. В длительных полевых опытах с внесением сернокислого и азотнокислого аммония дерново-подзолистая супесчаная почва Люберецкого опытного поля резко снизила свое плодородие; на удобренных участках всходы овса и других культур вскоре погибали — «голые» участки пятнами выделялись на поле среди других, удобренных физиологически щелочными азотными удобрениями, с нормальным ростом сельскохозяйственных культур. По анализам такие пятна отличались повышенной кислотностью почвы и обедненностью ее поглощенными основаниями Ca и Mg.

Вредное действие подкисления почвы на урожай растений в данном случае оказалось связанным с обеднением почвы магнием. Повышение отзывчивости сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве Люберецкого опытного поля после ее длительного удобрения сульфатом аммония на внесение магниевых удобрений (в форме $MgSO_4$ или серпентинита) было показано в опытах М. М. Мазаевой (1944). Этот факт позволил автору объяснить положительное действие указанных удобрений прямым недостатком в почве доступных растениям форм магния и в дальнейшем получил подтверждение в полевых опытах, проведенных на Люберецком опытном поле НИУИФ К. П. Магницким (1949).

В длительных опытах по систематическому внесению высоких доз азотных удобрений под чай на красноземах сульфат аммония и азотнокислый аммоний оказались более эффективными, чем селитра в первые годы их внесения в почву; однако через 10—15 лет систематическое внесение больших доз (физиологически кислых форм) азота столь значительно подкислило почву, что эффективность азотных удобрений заметно снизилась (Г. И. Голетиани, 1948); кроме того, на таких подкисленных под влиянием удобрения сульфатом аммония красноземных почвах высаженный молодой чай погибал.

Потеря плодородия почв после систематического внесения физиологически-кислых форм удобрений вызывает необходимость поисков рациональных путей его восстановления. Возможность значительного повышения урожая на кислых бедных поглощенным магнием почвах, путем внесения магниевых удобрений, требует дальнейшей проверки и разработки следующих вопросов:

1) в какой мере одним известкованием без внесения магния можно добиться повышения урожаев на этих почвах;

2) зависит ли потребность растений в магнии от реакции почвы;

3) возможно ли вместо обычного известкования рекомендовать внесение малых доз извести вместе с магнием, что может иметь большое практическое значение для растений, боящихся избытка извести (кальциефобы).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Опыты на дерново-подзолистой супесчаной почве

Часть наших опытов проводилась на дерново-подзолистой почве Люберецкого опытного поля, взятой с участков хозяйственного посева, в которые многократно (в течение 8—10 лет) вносился сульфат и нитрат аммония.

Ниже, в табл. 1, мы приводим данные определения кислотности почв этих участков по сравнению с неудобренными.

В качестве средств, устраняющих вредное действие кислотности почвы в наших опытах, испытывался сульфат магния в сочетании с разными дозами извести, а также дунит, т. е. силикат магния, содержащий около 40% SiO_2 и около 45.5% MgO.

Таблица 1

Изменение кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием длительного внесения сульфата аммония

Определяемые показатели	Почвы неудобренной делянки	Почва, удобрявшаяся $(NH_4)_2SO_4$
pH (H_2O)	5.8	4.02
pH (KCl)	4.7	3.70
Гидролитическая кислотность (в мл 0.1 *n* NaOH на 100 г почвы *)	15.5	19.7
Обменная кислотность (в мл 0.1 *n* NaOH на 100 г почвы *)	0.40	3.33
Обменный $Al^{...}$ в мг на 100 г почвы	0.18	2.7

* Мл 0.1*n* NaOH во всех таблицах даны без умножения на коэффициент.

Исследования были проведены в течение 1948 и 1949 гг. и состояли из вегетационных опытов, сопровождавшихся анализом растений, и лабораторных исследований.

Вегетационные опыты ставились в стеклянных сосудах емкостью на 5 кг почвы, при поливе растений до 60% от полной влагоемкости почвы. Опыты проводились в течение двух лет, в 1948 г.— с кукурузой и в 1949 г.— с овсом, просом, ячменем и повторно с кукурузой. При выборе опытных растений мы исходили из того, чтобы иметь культуры, различно относящиеся к почвенной кислотности, а также и к магнию.

Данные урожая и результаты анализов растений и почв помещены в табл. 2, 3, 4, 5 и 6.

Таблица 2

Действие $CaCO_3$, $MgSO_4$ и дунита на урожай кукурузы. Дерново-подзолистая супесчаная почва Люберецкого опытного поля

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	Общий урожай сухой массы в г на сосуд	Содержание в урожае в мг на сосуд			pH почвы после уборки растений	
		Ca	Mg	Ca : Mg	H_2O	KCl
					суспензии	
а) Почва, удобрявшаяся в поле $(NH_4)_2SO_4$						
NPK (фон)	1.4	8.4	0.6	8.4 : 1	3.9	3.7
$CaCO_3$ 0.75 гидролит. кисл.	10.1	118.2	10.2	7 : 1	7.4	6.9
Дунит	14.1	21.9	117.6	1 : 10	6.8	5.8
$MgSO_4$	10.2	19.5	32.9	1 : 2.5	4.5	3.8
$MgSO_4 + CaCO_3$	12.0	—	—	—	7.1	6.8
б) Почва, не удобрявшаяся в поле азотом						
NPK (фон)	13.8	45.5	43.6	1 : 1.5	5.8	4.5
$CaCO_3$ 0.75 гидролит. кисл.	9.6	—	—	—	—	—
$MgSO_4$	13.4	—	—	—	—	—
$MgSO_4 + CaCO_3$	12.4	—	—	—	—	—

Как видно из данных табл. 2, на почве, длительно удобрявшейся сульфатом аммония, получен минимальный урожай кукурузы: 1.4 г на сосуд против 13.8 г, полученных на почве целины. Внесение в почву извести и дунита в дозе, соответствующей 0.75 величины гидролитической кислотности,

значительно повысило урожай растений. Интересно отметить, что при резко различной реакции почвы (pH) (табл. 2), а также при различном соотношении Ca : Mg в растениях действие извести и сульфата магния оказалось, в условиях данного опыта с кукурузой, весьма близким (табл. 2 и рис. 1 и 2).

По данным анализа почв после уборки опытных растений, помещенных в табл. 3, можно видеть, что положительное действие $CaCO_3$ имело место при соотношении в почве между Ca : Mg = 29 : 1, при том же количестве Mg в исходной почве. Такое же положительное действие оказал $MgSO_4$, когда количество кальция в почве остается то же, а количество магния увеличивается в пять раз (табл. 3).

Таблица 3

Влияние внесения извести, $MgSO_4$ и дунита на кислотность и содержание поглощенных Ca и Mg в дерново-подзолистой супесчаной почве Люберецкого опытного поля

(почва из сосудов после уборки растений)

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	В мг-экв. на 100 г почвы					pH почвы после уборки растений	
	обменная кислотность	гидролитич. кислотность	Ca	Mg	Ca : Mg	H_2O	KCl
						суспензии	
а) Почва, систематически удобрявшаяся в поле $(NH_4)_2SO_4$							
NPK (фон)	2.18	1.11	0.42	0.08	5 : 1	3.9	3.7
$CaCO_3$ 0.75 гидролит. кисл.	0.32	Нет	2.35	0.08	29 : 1	7.4	6.9
Дунит	0.48	»	1.85	1.74	1 : 1	6.8	5.8
$MgSO_4$	2.42	1.04	0.35	0.40	1 : 1	4.5	3.8
б) Почва, не удобрявшаяся азотом							
NPK (фон)	1.32	0.11	1.45	0.2	7 : 1	5.8	4.5

Близкое действие $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на рост и урожай кукурузы отмечалось также в опытах 1949 г.

Переходим к изложению результатов опытов, проведенных на той же дерново-подзолистой супесчаной почве Люберецкого опытного поля с овсом, просом и ячменем. В отличие от предыдущих, в этих опытах действие сульфата магния изучалось на фоне различных доз извести и, следовательно, при различных условиях почвенной кислотности. Опыты проводились в аналогичных условиях, с внесением удобрений на сосуд в количествах: N — 0.5 г в форме NH_4NO_3 и KNO_3; K_2O — 0.75 г в форме KNO_3; P_2O_5 — 0.75 г в форме $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$; MgO — 0.25 г в форме $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Посев овса, проса и ячменя производился 3 июня, уборка в стадии полной зрелости 30 августа. Данные урожая и анализа растений помещены в табл. 4, 5 и 6, а также на рис. 3.

Из данных табл. 4, а также рис. 3 видно, что внесение как $CaCO_3$ в дозах, соответствующих 0.5 и 1.0 величины гидролитической кислотности, так и внесение $MgSO_4$ оказало (так же, как и в опытах с кукурузой) примерно одинаковое действие на урожай овса; общий урожай овса в этих трех вариантах опыта колебался в пределах от 17 до 20 г, а урожай зерна от 3.9 до 4.2 г на сосуд. Эффект от внесения $MgSO_4$ значительно повышался при

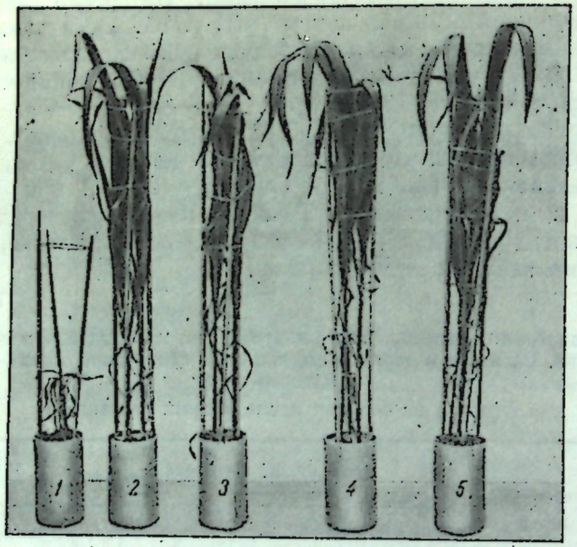


Рис. 1. Действие извести и $MgSO_4$ на рост кукурузы. Почва дерново-подзолистая супесчаная, длительно удобрявшаяся сульфатом аммония

1 — NPK (фон); *2* — $CaCO_3$ 0.75 гидрол. кисл.; *3* — $CaCO_3$ 1.0 гидрол. кисл.; *4* — $MgSO_4$ 1.5 г; *5* — $MgSO_4$ 3.0 г

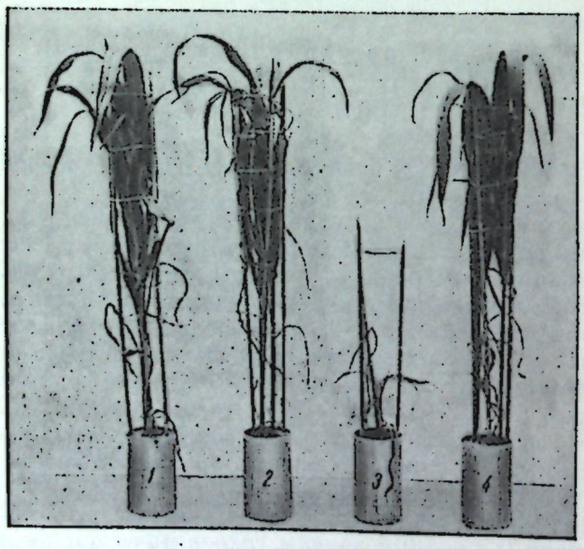


Рис. 2. Действие $MgSO_4$ на урожай кукурузы. Почва дерново-подзолистая супесчаная

1 — с неудобренной делянки, фон NPK; *2* — то же + $MgSO_4$; *3* — с делянки, длительно удобрявшейся сульфатом аммония, фон NPK; *4* — то же + $MgSO_4$.

Таблица 4

Влияние внесения $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на урожай овса и содержание в нем Ca, Mg, P_2O_5 и N. Дерново-подзолистая супесчаная почва, длительно удобрявшаяся в поле сульфатом аммония

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	$CaCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Урожай в г на сосуд		Содержание в урожае, в мг								pH почвы после уборки растений	
				Ca		Mg		P_2O_5		N		H_2O	KCl
		общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	суспензии	
NPK (фон)	—	3.0	Нет	—	—	—	—	5.8	—	—	—	4.0	3.7
$CaCO_3$	0.25	17.4	2.2	111.8	3.2	10.4	2.8	124.3	23.8	436.6	51.9	4.9	4.0
$CaCO_3$	0.50	16.7	3.9	96.1	6.8	13.0	4.8	125.0	43.1	391.8	103.0	5.9	4.9
$CaCO_3$	1.0	17.4	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$MgSO_4$	—	19.8	4.2	49.1	4.8	36.0	8.5	107.6	42.8	555.8	133.2	4.2	3.8
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.25	20.5	7.6	82.4	9.8	41.5	12.7	153.7	82.3	401.6	203.1	5.2	4.2
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.50	19.5	5.3	89.7	6.8	40.6	9.7	151.6	57.8	461.2	148.5	5.8	4.9
$MgSO_4 + CaCO_3$	1.0	21.6	5.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$CaSO_4$	—	12.5	2.2	120.7	6.3	11.1	4.7	—	—	—	—	5.0	4.2
$CaSO_4 + MgSO_4$	—	20.2	5.4	54.1	6.5	37.0	10.1	120.8	49.5	—	—	4.4	3.8

нейтрализации кислотности почвы известью. При этом наибольший урожай овса был получен при внесении $MgSO_4$ на фоне малой дозы извести, равной 0.25 величины гидролитической кислотности почвы (что соответствует pH водной суспензии почвы 4.9 и солевой суспензии 4.0). Более слабый

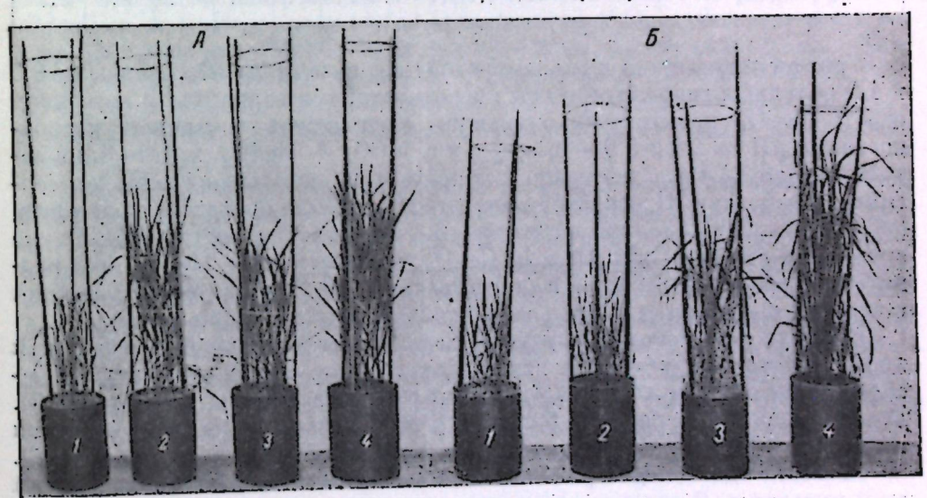


Рис. 3. Влияние внесения извести и $MgSO_4$ на рост овса (*А*) и ячменя (*Б*). Дерново-подзолистая супесчаная почва, длительно удобрявшаяся сульфатом аммония

1 — фон NPK; *2* — $MgSO_4$; *3* — $CaCO_3$ 0.25 гидрол. кисл.; *4* — то же + $MgSO_4$.

эффект от сульфата магния был получен на фоне повышенных доз извести, соответствующих 0.5 и 1.0 величины гидролитической кислотности данной почвы. Следует подчеркнуть, что положительное действие сульфата

магния, при его совместном внесении с $CaCO_3$, более сильно сказалось на урожае зерна; соотношение между зерном и соломой в вариантах $MgSO_4 + CaCO_3$ значительно уже.

В другом вегетационном опыте влияние сульфата магния и $CaCO_3$ на урожай проса оказалось также весьма близким (табл. 5).

Таблица 5

Действие $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на урожай проса и содержание в нем Ca, Mg, P_2O_5 и N. Дерново-подзолистая супесчаная почва Люберецкого опытного поля, длительно удобрявшаяся сульфатом аммония

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	$CaCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Урожай в г на сосуд		Содержание в урожае, в мг								pH почвы после уборки растений	
				Ca		Mg		P_2O_5		N		H_2O	KCl
		общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	суспензии	
NPK (фон)	—	Нет	Нет	—	—	—	—	—	—	—	—	3.9	3.6
$CaCO_3$	0.25	»	»	—	—	—	—	—	—	—	—	4.7	4.0
$CaCO_3$	0.5	14.0	3.8	121.6	2.2	9.3	2.9	46.3	24.9	309.1	98.0	5.8	4.7
$CaCO_3$	1.0	17.1	4.6	183.1	2.4	12.2	3.9	56.9	30.1	393.8	116.8	—	—
$MgSO_4$	—	10.9	4.3	43.9	2.3	26.7	7.3	40.4	26.9	304.5	147.6	3.9	3.7
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.25	17.4	7.2	83.3	2.2	30.8	8.6	67.7	43.9	381.5	178.7	4.8	4.0
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.5	22.7	9.7	125.6	3.3	42.9	13.3	85.8	59.5	421.2	229.4	5.9	4.9
$MgSO_4 + CaCO_3$	1.0	23.4	8.8	166.8	3.2	44.4	10.0	88.4	54.8	494.5	250.3	—	—
$CaSO_4$	—	Нет	Нет	—	—	—	—	—	—	—	—	3.9	3.7
$CaSO_4 + MgSO_4$	—	15.1	6.1	77.3	1.9	41.0	7.3	65.0	37.6	310.3	169.9	3.9	3.7

Урожай зерна проса в вариантах опыта с дозами $CaCO_3$, равными 0.5 и 1.0 величины гидролитической кислотности, и в вариантах с внесением одного $MgSO_4$ практически одинаков. Уменьшение почвенной кислотности (до pH = 4.8 и 5.9 — в сосудах с $CaCO_3 + MgSO_4$, вместо 3.9 в сосудах с $MgSO_4$) резко повысило положительное действие от внесения сернокислого магния. Просо в сосудах, в которых была добавлена малая доза извести, равная 0.25 гидролитической кислотности, погибло, в то же время при внесении той же дозы $CaCO_3$, но совместно с $MgSO_4$, оно развивалось вполне нормально и не отставало в своем развитии от растений в сосудах с внесением магния на фоне более высоких доз извести.

В опыте с ячменем—культурой, весьма чувствительной к почвенной кислотности и содержанию в почве активного алюминия,—выявились несколько иные закономерности в действии сульфата магния (табл. 6 и рис. 3). В сосудах с $CaCO_3$ получен большой положительный эффект от внесения извести на урожай ячменя, увеличивающийся с повышением дозы извести.

Внесение одного $MgSO_4$ не оказало положительного влияния на урожай этой культуры. В отличие от опытов с овсом и просом, ячмень в сосудах с сульфатом магния очень скоро после появления всходов погиб. Эффект от добавки в сосуды магния для ячменя выявился только при условии нейтрализации избыточной почвенной кислотности известью.

В табл. 4, 5, 6 вместе с данными урожая помещены также данные содержания в растениях Ca, Mg, P_2O_5 и N. Внесение сернокислого магния в комбинациях с $CaCO_3$ во всех случаях несколько угнетало поступление кальция в растения, что выразилось в снижении как абсолютного, так и процентного его содержания в урожае (см. также данные табл. 7). Действие $MgSO_4$ на усвоение растениями фосфора сказалось в увеличении абсолютного содержания P_2O_5 в урожае овса, проса и ячменя, причем более заметно на содержании фосфора в урожае зерна этих культур. Так, например, в опыте с овсом (табл. 4) количество P_2O_5 в урожае зерна в вариантах с внесением $MgSO_4$ по фону малой дозы извести возрастало в сравнении с одной известью примерно в четыре раза (23.8 до 82.3 мг P_2O_5 на сосуд), а в опыте с просом в два раза. Но процентное содержание P_2O_5 в урожае зерна, а также и соломы в этих вариантах опытов не показало заметных различий.

Таблица 6

Действие $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на урожай ячменя и содержание в нем Ca, Mg и P_2O_5. Дерново-подзолистая супесчаная почва Люберецкого опытного поля, длительно удобрявшаяся сульфатом аммония

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	$CaCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Урожай в г на сосуд		Содержание в урожае в мг						pH почвы после уборки растений	
				Ca		Mg		P_2O_5		H_2O	KCl
		общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	общий	зерно	суспензии	
NPK (фон)	—	1.5	Нет	14.5	—	1.9	—	1.9	—	3.9	3.6
$CaCO_3$	0.25	10.5	2.9	85.6	4.5	9.1	2.8	67.4	34.3	4.7	3.9
$CaCO_3$	0.50	14.5	4.4	118.5	4.8	9.4	3.9	105.5	52.8	5.7	4.7
$CaCO_3$	1.0	17.7	5.7	—	—	—	—	—	—	—	—
$MgSO_4$	—	2.7	0.7	13.0	—	7.1	—	9.3	—	4.0	3.7
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.25	13.8	5.4	63.9	3.8	29.2	8.8	94.8	63.6	5.0	4.2
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.50	16.4	6.3	92.3	3.4	33.1	9.4	103.6	65.3	5.9	4.9
$MgSO_4 + CaCO_3$	1.0	18.1	7.0	—	—	—	—	—	—	—	—
$CaSO_4$	—	1.3	Нет	18.1	—	1.73	—	—	—	4.0	3.7
$CaSO_4 + MgSO_4$	—	1.2	»	8.3	—	4.10	—	—	—	4.0	3.7

Вместе с увеличением поступления фосфора в растения, при внесении $MgSO_4$, увеличивается и поступление азота. Содержание последнего в урожае овса и проса (как в общем, так и в зерне) в вариантах опытов с внесением в сосуды $MgSO_4 + CaCO_3$ значительно возрастает. Одновременно с вышеразобранными опытами на почве, представленной «пятнами», были проведены опыты с теми же культурами на почве, взятой с целины (данные анализа этой почвы в табл. 1). Не приводя данных урожая, полученных в этих опытах, укажем, что внесение $MgSO_4$, как одного, а также и совместно с известью в почву, не подвергавшуюся длительному воздействию сульфата аммония, не оказало заметного влияния на урожай овса, проса и ячменя.

Опыты на красноземных почвах чайных плантаций института чая и субтропических культур в Анасеули и Чакве

Вегетационные опыты на красноземах из Анасеули и Чаквы с кукурузой были проведены в 1948 и 1949 гг. с образцами почв опытных делянок чайных плантаций: 1) без удобрения, 2) с систематическим внесением $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4NO_3 на фоне фосфора и калия.

Данные анализа исходных почв помещены в табл. 7.

Таблица 7

Влияние систематического внесения сульфата аммония на кислотность и на содержание Al в красноземной почве

Определяемые показатели	Краснозем из Анасеули		Краснозем из Чаквы	
	Почва неудобренной делянки	Почва, удобренная азотом на фоне P и K	Почва неудобренной делянки	Почва, удобренная азотом на фоне P и K
pH в H_2O суспензии	4.5	4.0	4.5	3.9
pH в KCl суспензии	3.9	3.4	3.9	3.5
Обменная кислотность (в мл 0.1 *n* NaOH)	56.5	80.5	43.7	70.7
Гидравлическая кислотность (в мл 0.1 *n* NaOH)	74.0	112.0	84.0	115.5
Обменный $Al^{\cdots}$ в мг на 100 г почвы	29.9	46.4	34.6	57.7

Из данных табл. 7 видно, что почва с делянок, длительно удобрявшихся в поле сульфатом аммония, отличается повышенной кислотностью и повышенным содержанием обменного алюминия.

При набивке во все сосуды добавлялись азот, фосфор и калий в количествах: N — 0.25 г в форме NH_4NO_3 и KNO_3, P_2O_5 — 0.25 г в форме $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ и K_2O — 0.5 в форме KNO_3, кроме того—$CaCO_3$, $MgSO_4$.

Данные урожая кукурузы, а также результаты анализа растений и почвы из сосудов после уборки растений приведены в табл. 8 и 9.

Таблица 8

Действие $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на урожай кукурузы и содержание в нем Ca и Mg. Вегетационный опыт на красноземной почве из Анасеули. 1948 г.

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	Почва неудобренной делянки			Почва с делянки, удобрявшейся сульфатом аммония		
	Общий урожай в г на сосуд	Содержание в урожае в мг на сосуд		Общий урожай в г на сосуд	Содержание в урожае в мг на сосуд	
		Ca	Mg		Ca	Mg
NPK (фон)	1.9	10.0	4.3	0.9	3.7	0.48
$CaCO_3$ 0.5 гидролит. кисл.	8.0	57.6	13.0	27.8	162.9	13.9
$MgSO_4$ (0.25 г MgO)	3.4	13.4	16.6	2.5	11.5	10.8

Из данных табл. 8 видно, что на обоих образцах краснозема, взятого с делянок, удобрявшихся и не удобрявшихся сульфатом аммония, получены предельно низкие урожаи кукурузы (1.9 и 0.9 г сухой массы на сосуд); добавка углекислой извести повысила урожай растений до 8 и 27.8 г, а добавка $MgSO_4$ — до 3.4 и 2.5 г.

Более низкие урожаи на неудобрявшемся в поле образце краснозема при его известковании, чем на удобрявшемся, следует объяснить меньшими запасами в нем питательных элементов, главным образом доступных растениям фосфатов (что было показано в специальном дополнительном опыте). Что же касается действия магния, то в условиях опыта, при кислой реакции среды (табл. 9) действие его проявилось весьма слабо;

вместе с тем анализ урожая, а также почв из сосудов указывает на низкое содержание доступного растениям почвенного магния.

Таблица 9

Влияние внесения $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на кислотность и содержание в почве поглощенных Ca и Mg. Красноземная почва из Анасеули

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	pH		В мг-экв. на 100 г почвы				Ca : Mg
	H_2O	KCl	Гидролит. кислотность	Обменная кислотность	Ca	Mg	
а) Почва неудобренной делянки							
NPK (фон)	4.5	4.0	7.3	5.7	1.35	0.26	5 : 1
$CaCO_3$ 0.5 гидролит. кисл.	5.3	4.4	—	—	9.8	0.24	41 : 1
$MgSO_4$	4.7	4.0	—	—	1.55	0.80	2 : 1
б) Почва делянки, систематически удобрявшейся в поле $(NH_4)_2SO_4$							
NPK (фон)	3.7	3.4	10.9	8.1	1.80	0.26	7 : 1
$CaCO_3$ 0.5 гидролит. кисл.	5.2	4.2	—	—	10.5	0.24	44 : 1
$MgSO_4$	3.7	3.4	—	—	2.5	1.70	1.5 : 1

В 1949 г. почва из сосудов вытряхивалась, перемешивалась и вновь набивалась в сосуды меньшего размера.

Для выравнивания условий питательного режима в сосуды с образцами удобрявшегося и неудобрявшегося краснозема вносились разные дозы N, P_2O_5 и K_2O, в количествах, соответствующих в г на сосуд:

а) для краснозема неудобренной делянки:

N . . . . . 0.4 г
P_2O_5 . . . . . 1.5 г
K_2O . . . . . 0.5 г

б) для краснозема делянки, удобрявшейся в поле сульфатом аммония (на фоне PK):

N . . . . . 0.25 г
P_2O_5 . . . . . 0.75 г
K_2O . . . . . 0.30 г

Азот и калий вносились в тех же формах, что и в предыдущем опыте, фосфор же—в форме монокальцийфосфата. $CaCO_3$, дунит, $MgSO_4$ повторно не вносились.

Полученные результаты учета урожая помещены в табл. 10.

Таблица 10

Влияние внесения $CaCO_3$, дунита, $MgSO_4$ и $MgCO_3$ на урожай кукурузы. Почва — краснозем из Анасеули

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	$CaCO_3$ и $MgCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Урожай сухой массы в г на сосуд	
		Почва неудобренной делянки	Почва делянки, удобрявшейся $(NH_4)_2SO_4$
NPK (фон)	—	6.2	0.5
$CaCO_3$	0.5	26.9	13.9
$CaCO_3$	1.0	24.8	21.0
Дунит	1.0	27.4	20.1
$MgSO_4$	—	18.5	0.2
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.5	28.3	20.8
$MgCO_3 + CaCO_3$	1.0	28.7	24.4

Из урожайных данных табл. 10 видно, что, в отличие от опытов предыдущего года, в 1949 г. урожаи на образцах неудобрявшегося краснозема, как правило, оказались значительно выше, чем на удобрявшемся. Действия магния выявились весьма резко на неудобрявшемся образце красноземной почвы при его внесении без $CaCO_3$; урожаи кукурузы при этом повысились с 6.2 до 18.5 г; на фоне $CaCO_3$ эффект от магния был незначительный (рис. 4).

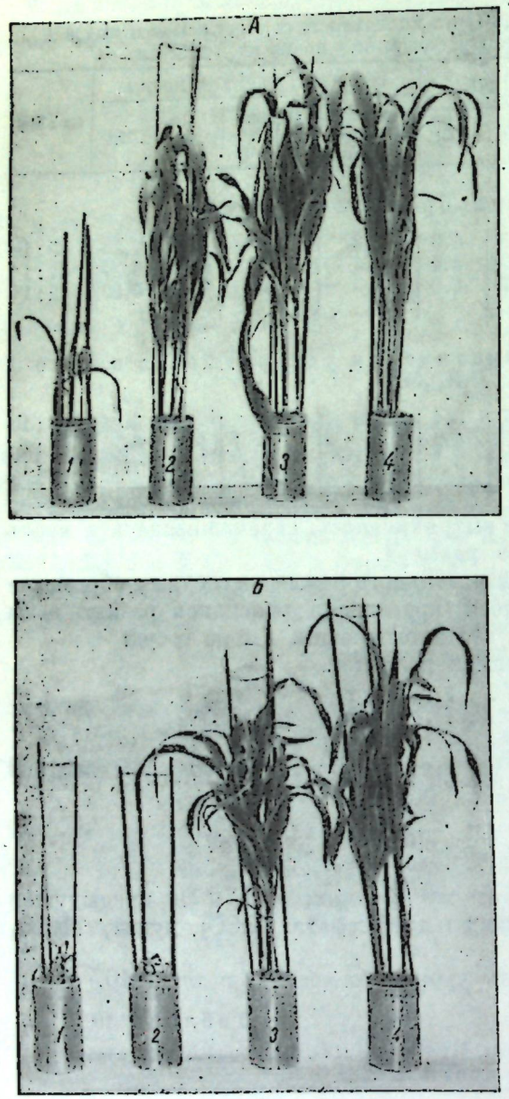


Рис. 4. Действие $CaCO_3$ и $MgSO_4$ на урожай кукурузы. Почва — краснозем из Анасеули. *А* — почва неудобренной делянки; *Б* — почва, систематически удобрявшаяся сульфатом аммония

1 — фон NPK без $CaCO_3$; *2* — $MgSO_4$; *3* — $CaCO_3$ 0.5 гидрол. кисл.; *4* — то же + $MgSO_4$.

На удобрявшемся в поле образце краснозема внесение одного $MgSO_4$ не давало положительного эффекта (очевидно, вследствие кислой реакции среды в этих условиях), но оно стало заметно на фоне $CaCO_3$, внесенного из расчета 0.5 величины гидролитической кислотности почв; на более высокой дозе $CaCO_3$ действие магния оказалось незначительным (табл. 10 и рис. 4*Б*). Результаты этого опыта дают основание считать, что положительное действие добавленного в почву магния на рост растений проявляется на красноземе лишь в некотором более или менее узком интервале реакции среды. Проявлению положительного действия магния при весьма кислой реакции мешают плохие общие условия роста растений, а при реакции ближе к нейтральной, при более благоприятных условиях роста, растения получают почвенный магний и при незначительных его запасах в почве.

Опыты на аналогичную тему были также проведены с образцами краснозема, взятыми с неудобрявшихся и удобрявшихся в поле участков из-под чайных плантаций в Чакве (филиал Института чая и субтропических культур). В схеме вегетационного опыта предусматривались варианты с внесением как разных доз $CaCO_3$, а также $MgCO_3$ и их комбинаций с $MgSO_4$.

Результаты учета кислотности почв (pH водной и солевой суспензии) в сосудах после уборки урожая кукурузы приведены в табл. 11.

Таблица 11

Влияние внесения $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $MgSO_4$ на величину pH красноземной почвы. Вегетационный опыт с кукурузой на красноземной почве из Чаквы. 1949 г.

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	$CaCO_3$ и $MgCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Почва с неудобренной делянки		Почва с делянки, удобрявшейся сульфатом аммония	
		pH		pH	
		H_2O	KCl	H_2O	KCl
NPK (фон)	—	4.1	3.8	3.5	3.1
$CaCO_3$	0.25	4.7	4.0	4.1	3.9
$CaCO_3$	0.50	5.1	4.3	4.7	4.2
$MgSO_4$	—	4.2	3.8	3.5	3.2
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.25	4.7	4.0	4.0	3.7
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.50	5.2	4.3	4.8	4.0
$MgCO_3$	0.25	4.7	4.0	4.2	3.6
$MgCO_3 + MgSO_4$	0.25	4.8	4.0	4.0	3.5

Из этих данных видно, что на образцах почвы, удобренных в поле сульфатом аммония, кислотность значительно выше; принятые в схеме дозы углекислого кальция и магния заметно повысили значение pH.

Схема и результаты вегетационного опыта с кукурузой, а также данные анализа урожая растений на P_2O_5, N, Ca и Mg приведены в табл. 12.

Таблица 12

Сравнительное действие магния и нейтрализации краснозема на урожай кукурузы и содержание в нем P_2O_5, N, Ca и Mg. Вегетационный опыт на красноземной почве из Чаквы. 1949 г.

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд	$CaCO_3$ и $MgCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Почва с неудобрявшейся делянки					Почва делянки, удобрявшейся $(NH_4)_2SO_4$				
		Общий урожай в г на сосуд	Содержание в урожае в мг на сосуд				Общий урожай в г на сосуд	Содержание в урожае в мг на сосуд			
			P_2O_5	N	Ca	Mg		P_2O_5	N	Ca	Mg
NPK (фон)	—	3.8	8.8	—	—	—	0.5	2.1	—	—	—
$CaCO_3$	0.25	27.1	97.7	741	146.8	27.1	7.9	23.3	208.9	54.2	5.9
$CaCO_3$	0.50	31.6	131.0	—	151.8	32.6	22.6	79.0	—	159.4	27.9
$MgSO_4$	—	9.9	52.4	—	44.2	22.1	0.5	2.3	—	—	—
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.25	31.9	115.0	697.4	128.3	55.8	19.8	70.2	520.0	103.0	30.3
$MgSO_4 + CaCO_3$	0.50	36.2	111.4	—	160.2	76.8	27.7	84.6	—	142.6	63.5
$MgCO_3$	0.25	28.8	124.0	707.5	37.8	108.3	21.5	79.6	515.8	39.8	100.5
$MgCO_3 + MgSO_4$	0.25	34.3	121.4	—	—	115.0	29.2	81.2	—	—	126.2

Так же, как и в предыдущем опыте на красноземе из Анасеули, в сосудах с почвой не удобрявшейся в поле делянки кукуруза развивалась весьма плохо и дала низкий урожай. Внесение углекислой извести в дозах, соответствующих 0.25 и 0.5 гидролитической кислотности почвы, резко повысило урожай кукурузы, доведя его до 27.1—31.6 г на сосуд, вместо 3.8 г, полученных в сосудах с NPK. Сульфат магния на этой почве

повысил урожай кукурузы как без фона, так и на фоне извести (табл. 12 и рис. 5*Б*). Действие $MgCO_3$ оказалось эквивалентным действию соответствующей дозы извести. В отношении влияния извести, сульфата

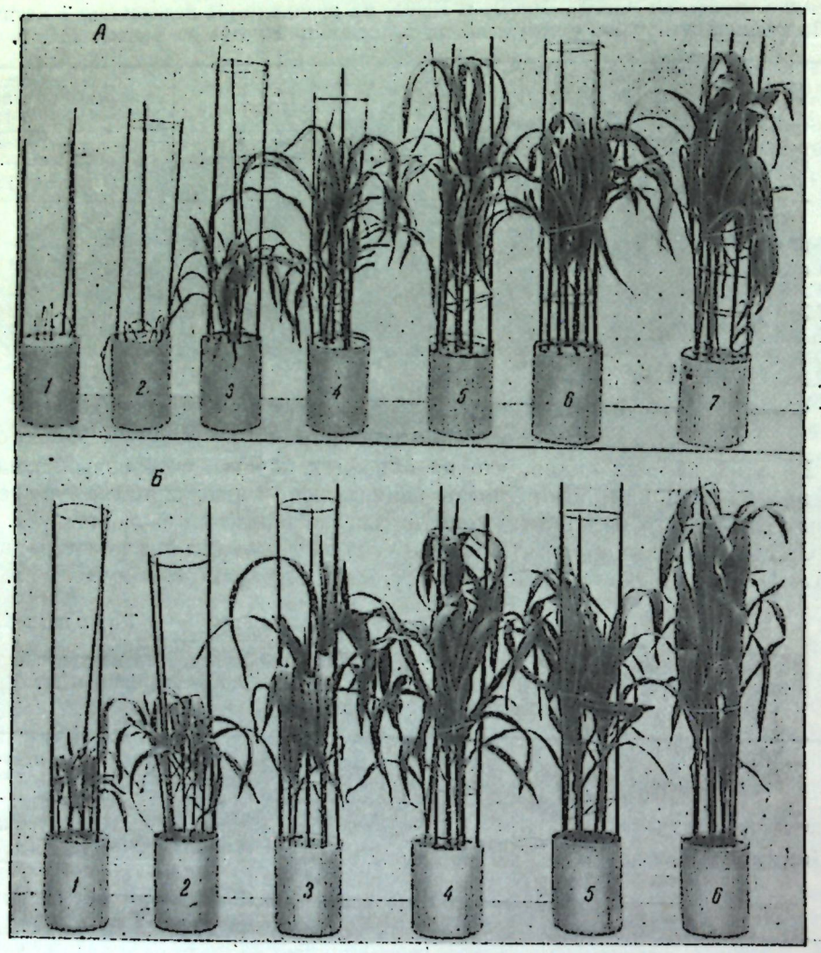


Рис. 5. Действие $CaCO_3$, $MgSO_4$ и $MgCO_3$ на урожай кукурузы. Почва — краснозем из Чаквы. *А* — длительно удобрявшаяся сульфатом аммония; *Б* — неудобрявшаяся;

А: *1* — фон NPK без $CaCO_3$; *2* — $MgSO_4$; *3* — $CaCO_3$ 0.25 гидрол. кисл.; *4* — то же + $MgSO_4$; *5* — $MgCO_3$ 0.25 гидрол. кисл.; *6* — $CaCO_3$ 0.5 гидрол. кисл.; *7* — то же + $MgSO_4$. *Б*: *1—4* то же, что в серии *А*; *5*—$CaCO_3$ 0.5 гидрол. кислоты; *6*—то же+$MgSO_4$

магния и $MgCO_3$ на поступление в растения фосфора, азота, кальция и магния (в сосудах с почвой неудобрявшейся делянки) можно отметить следующее: $CaCO_3$ и $MgCO_3$ значительно повысили содержание в урожае кукурузы P_2O_5; в меньшей мере это можно отметить для сульфата магния, внесенного в почву без извести.

Для этого образца краснозема в поступлении азота в растения и его содержании в общем урожае кукурузы заметных различий не обнаружено.

В сосудах с почвой делянки, систематически удобрявшейся в поле сульфатом аммония, внесение извести также оказало положительное действие на урожай кукурузы. Малая доза извести, равная 0.25 гидролитической кислотности, оказалась для этого более кислого образца краснозема недостаточной. Действие сульфата магния появилось лишь на фоне извести, причем резко на фоне малых доз $CaCO_3$ (табл. 12 и рис. 5*А*).

В этой серии опыта наблюдалось положительное действие на рост и урожай кукурузы углекислого магния, внесенного в почву в дозе, равной 0.25 гидролитической кислотности. По сравнению с эквивалентной дозой $CaCO_3$ урожай кукурузы в сосудах с $MgCO_3$ повысился примерно в три раза (с 7.9 до 21.5 г на сосуд) и практически сравнялся с урожаем, полученным в вариантах опыта $CaCO_3 + MgSO_4$ (табл. 12 и рис. 5*А*). На обеих почвах добавка $MgSO_4$ к $MgCO_3$ способствовала дальнейшему повышению урожаев. Действие магния наблюдалось лишь при условии устранения избыточной кислотности почвы небольшими дозами нейтрализаторов ($CaCO_3$ и $MgCO_3$). Последний факт может иметь важное значение, если учесть, что чай, являющийся основной культурой, выращиваемой на красноземах, относится к культурам, боящимся избытка извести. Вредное действие систематического внесения больших доз сульфата аммония (обеднение почвы доступными растениям формами магния, увеличение кислотности и др.) в условиях наших опытов вполне устранялось внесением сульфата магния совместно с малой дозой извести (равной 0.25 гидролитической кислотности) или внесением $MgCO_3$ (в количестве, эквивалентном той же дозе $CaCO_3$)

Улучшение общих условий роста растений при внесении в кислую красноземную почву $CaCO_3$, $MgSO_4 + CaCO_3$, а также $MgCO_3$ оказало положительное действие на поступление в растения фосфора и азота. По данным анализа растений, из этой серии опыта углекислый магний, а также сульфат магния в комбинации с малой дозой $CaCO_3$ более заметно повысили содержание в растениях фосфора, а также и азота, чем углекислый кальций, внесенный в эквивалентной дозе. Результаты анализа растений на содержание в них Ca и Mg указывают на то, что их поступление в растения (в особенности магния) связано не только с недостатком их содержания в почве, но также и с неудовлетворительными условиями роста растений, при наличии сильно кислой реакции почвы.

В заключение остановимся на результатах предварительного опыта с кукурузой на тех же образцах чаквинского краснозема, в котором в качестве источника P_2O_5 и магния был использован плавленый магнезиальный фосфат, полученный из НИУИФ. Это удобрение состоит в основном из фосфата кальция и силиката магния.

Как видно из представленных в таблице данных, внесение плавленого магнезиального фосфата на обоих образцах краснозема оказало высокое положительное действие на урожай кукурузы. При этом относительно более сильное действие плавленого магнезиального фосфата выявилось на образце краснозема, длительно удобрявшемся в поле сульфатом аммония; в этом случае урожай кукурузы повысился с 1.2 г до 11.9 г на сосуд, т. е. в 10 раз. На другом образце краснозема, взятом с делянки, удобрявшейся РК, магнезиальный фосфат также оказал положительное влияние на урожай кукурузы, повысив его в сравнении с сосудами, в которых в качестве источника P_2O_5 вносился монофосфат кальция, примерно в три раза (с 7.2 до 19.8 г на сосуд).

В сосудах с внесением магнезиального фосфата совместно с $CaCO_3$, в дозах, соответствующих 0.5 и 1.0 гидролитической кислотности, его положительное влияние исчезает.

Таблица 13

Влияние магнезиального фосфата на урожай кукурузы. Вегетационный опыт на красноземной почве из Чаквы *

Удобрения, внесенные в вегетационный сосуд на фоне азота и калия	$CaCO_3$ в долях гидролит. кислотности	Почва делянки, удобрявшейся $(NH_4)_2SO_4$		Почва делянки, удобрявшейся РК	
		Урожай сухой массы в г на сосуд	pH KCl суспензии	Урожай сухой массы в г на сосуд	pH KCl суспензии
Монокальцийфосфат	—	1.2	3.6	7.2	4.0
Плавленый магнезиальный фосфат	—	11.9	3.8	19.8	4.3
Монокальцийфосфат + $CaCO_3$	0.5	10.1	4.12	17.3	—
Плавленый магнезиальный фосфат + $CaCO_3$	0.5	11.7	4.4	17.3	—
Монокальцийфосфат + $CaCO_3$	1.0	10.5	—	—	—
Плавленый магнезиальный фосфат + $CaCO_3$	1.0	17.7	—	—	—

* Опыт проведен аспирантом лаборатории агрохимии А. Б. Салмановым.

ВЫВОДЫ

1. Длительное внесение кислых форм минеральных удобрений, главным образом азотных в форме $(NH_4)_2SO_4$, приводит к резкому повышению кислотности почвы. В длительных полевых опытах на дерново-подзолистых почвах легкого механического состава, а также на почвах краснозем-ного типа многократное внесение (в течение 8—10 лет) сульфата аммония в эти почвы сопровождалось резким падением их плодородия.

2. Устранения вредного действия физиологически кислых форм азотных удобрений в результате их многократного применения на почвах легкого механического состава требует в некоторых случаях как внесения извести, так и внесения магниевых удобрений. При этом эффективность тех и других в значительной мере зависит от степени кислотности почвы, содержания в ней доступного растениям магния, а также и от вида растений.

3. На супесчаной дерново-подзолистой почве Люберецкого опытного поля, длительно удобрявшейся $(NH_4)_2SO_4$, получены значительные прибавки урожая от внесения извести или $MgSO_4$. В вегетационных опытах действие $CaCO_3$ и сульфата магния на урожай овса, проса и кукурузы оказалось близким, несмотря на довольно резкие различия в реакции почвы (pH KCl в сосудах с внесением $CaCO_3 = 5.0$, а в сосудах с $MgSO_4 = 3.8$). В условиях опыта, в сосудах с меньшей дозой $CaCO_3$, равной 0,25 гидролитической кислотности, просо погибло. В то же время при совместном внесении той же малой дозы $CaCO_3$ с $MgSO_4$ получен урожай зерна и соломы.

4. В опыте с ячменем на той же почве устранение вредного действия сульфата аммония достигалось внесением извести, положительное действие которой возрастало с увеличением ее дозы. Положительное действие $MgSO_4$ для этой культуры выявилось лишь при условии устранения избыточной кислотности почвы (в комбинациях $CaCO_3 + MgSO_4$).

5. В опыте с кукурузой на красноземных почвах (чайных плантаций Института чая и субтропических культур), не удобрявшихся в поле систематически сульфатом аммония, получен большой положительный эффект от внесения извести в дозах, соответствующих 0.25 и 0.5 величины гидролитической кислотности. Внесение одного сульфата магния, а также в комбинации с разными дозами $CaCO_3$, давало повышение урожая. Действие $MgCO_3$ в дозе, соответствующей 0.25 гидролитической кислотности, оказалось эквивалентным действию извести.

6. На сильно кислой красноземной почве, систематически удобрявшейся сульфатом аммония, при внесении одного $MgSO_4$ получен предельно низкий урожай. Доза извести, соответствующая 0.25 гидролитической кислотности, имела положительное влияние на урожай кукурузы, но была недостаточной. Высокое положительное действие сульфата магния на урожай кукурузы выявилось на фоне малой дозы извести (0.25 гидролитической кислотности). Внесение $MgCO_3$ (в дозе, равной 0.25 гидролитической кислотности) оказалось в $2\,^1/_2$ раза эффективнее, чем эквивалентная доза $CaCO_3$. Таким образом, на почве, систематически удобрявшейся в поле физиологически-кислыми азотными удобрениями, выявилось положительное действие магния.

7. Фактором, ограничивающим рост растений на красноземной почве, систематически удобрявшейся кислыми формами минеральных удобрений, является, наряду с содержанием в них алюминия, также недостаток магния, доступного растениям.

В условиях вегетационных опытов действие $MgSO_4$ хорошо проявилось лишь на фоне малой дозы извести. Эффективность магниевых удобрений на красноземе — неизвесткованном и известкованном (как, вероятно, и на других кислых почвах), повидимому, связана с определенным интервалом почвенной реакции.

8. В целях устранения вредной кислотности под культуры, боящиеся избытка извести (например, картофель на легких супесчаных почвах, чай и цитрусовые на красноземах), следует испытать частичное устранение почвенной кислотности известью с одновременным внесением магния.

Необходимо поставить соответствующие полевые опыты для проверки полученных выводов в производственных условиях.

Автор приносит благодарность доктору с.-х. наук Д. Л. Аскинази за руководство и ценные указания при выполнении настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

Гедройц К. К. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве. Научн. инст. по удоб. Сельхозгиз, М.—Л., 1935.

Гедройц К. К. Действие на растения углесолей кальция и магния. Научн. инст. по удоб. Сельхозгиз, М.—Л., 1935.

Голетиани Г. И. Кислотность почв, как основная причина усыхания тунга в Западной Грузии. Бюлл. Инст. чая и субтроп. культур, № 1, 1948.

Егоров М. А. Вопросы зольного питания растений. Харьков, 1926.

Кедров-Зихман О. К. Магний и бор как факторы повышения эффективности известкования подзолистых почв СССР. Тр. ТСХА, вып. 1, 1940.

Кедров-Зихман О. К., Ярусов С. С., Королева Е. М. Отзывчивость сельскохозяйственных растений на известкование в связи с почвенной реакцией и степенью насыщенности почв основаниями. Сб. «Известь». Изд. ВПУА, 1936.

Кедров-Зихман О. К. Влияние известкования на величину урожая и качество урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от содержания магния в известковом удобрении и применения бора. Изд. Белорусской АН, № 1, 1948.

Магницкий К. П. Влияние реакции почвы на вымывание магния. Почвоведение, № 10, 1949.
Мазаева М. М. Условия положительного действия магниевых удобрений. Изв. АН СССР, № 4, 1944.
Мазаева М. М. Почвенные условия эффективности магниевых удобрений. Почвоведение, № 10, 1948.
Мазаева М. М. Эффективность магниевых удобрений на оподзоленной супеси. Тр. Юбил. сессии, посвящ. стол. со дня рожд. В. В. Докучаева. Изд. АН СССР. М.—Л., 1949.
Энгельгардт А. Н. Труды Энгельгардтовской опытной станции, вып. 1. 1913 (цитировано по М. А. Егорову «Вопросы удобрения почв». Харьков, 1919).
Loew O. Liming of soils from a physiological standpoint. Bull. J. Bur. of Plant. U. S. Depart. of Agric., 1901.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

В. Н. ПРОКОШЕВ

ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕНОГО УДОБРЕНИЯ НА ПОЧВЕННУЮ КИСЛОТНОСТЬ

Применение зеленого удобрения — общепризнанный способ накопления в почве органического вещества и азота. Культура растений зеленоудобрителей представляет собой «зачаток травопольной системы земледелия» (Вильямс, 1919).

Обязательным условием использования зеленого удобрения академик Вильямс ставил осеннюю запашку его, имея в виду создание анаэробных условий разложения зеленой массы, как более благоприятных для образования деятельного перегноя (Вильямс, 1947).

Наши длительные опыты, проведенные на Соликамской сельскохозяйственной опытной станции (Прокошев, 1936, 1939, 1940), подтвердили преимущество осенней запашки зеленого удобрения. Оказалось, что люпин однолетний, запаханный на месте под озимую рожь, мало эффективен. Прибавка урожая ржи не превышала 3 ц/га зерна. Иной эффект был получен при использовании люпина однолетнего под яровые культуры с осенней его запашкой. В этом случае эффективность люпина однолетнего в разных опытах колебалась от 5.5 до 12 ц/га яровой пшеницы или от 30 и до 75 ц/га картофеля.

Слабое действие люпина однолетнего на озимую рожь объясняется тем, что люпин сильно высушивает паровое поле и дает к моменту запашки недостаточную массу, минерализующуюся за короткий срок.

На почвах с высокой обменной кислотностью действие зеленого удобрения бывает особенно высоким. В тех случаях, где систематическое внесение аммиачного азота вело к снижению урожая, вследствие повышения кислотности почвы, внесение зеленого удобрения обеспечивало возрастающую от ротации к ротации прибавку урожая.

Так, например, в одном из наших длительных опытов прибавка урожая картофеля и ячменя от люпина в среднем за 15 лет была следующей (в ц/га):

	Картофель, клубни	Ячмень, зерно
На неудобренном фоне . . .	103.7	6.7
На фоне NPK	141.4	14.7

Высокое действие зеленого удобрения при осеннем внесении под яровые культуры на почвах с высокой обменной кислотностью обязано, помимо улучшения азотного питания растений, специфической роли зеленого удобрения, выражающейся в понижении почвенной кислотности.

Возможно, что повышение урожайности объясняется также быстрой минерализацией органического вещества люпина с освобождением зольных элементов (Ca, K, P).

Ни в какой мере не ставя себе задачу рассмотрения процесса разложения органического вещества зеленого удобрения в почве, что освещено в ряде работ (Соколов, 1928; Алексеев, 1948), а также создания в ней новых форм органического вещества, мы сделали попытку уточнить имеющиеся в этом вопросе представления путем постановки вегетационных опытов.[1]

Зеленое удобрение в вегетационных опытах мы испытывали на почве легкого механического состава — на дерново-среднеподзолистой связнопесчаной, с высокой обменной кислотностью. Образцы почв взяты с делянок длительных полевых опытов. Путем внесения зеленого удобрения мы имели в виду предупредить или устранить депрессию, вызываемую длительным применением аммиачных форм минеральных удобрений и приводящих, как показали полевые опыты, к увеличению почвенной кислотности.

Зеленое удобрение — люпин представляет собой легко разлагающееся богатое белковым азотом органическое вещество. Внесением в почву зеленого удобрения в легкодоступной для разложения форме, как, например, в виде высушенных и размолотых листьев, мы рассчитывали вызвать подщелачение среды, по крайней мере в очагах разложения органического вещества.

Процессы дезаминирования и аммонификации аминокислот, сопровождающиеся выделением аммиака, должны иметь следствием подщелачивание почвы, пока в ней не преобладает нитрификация. Эти соображения нашли отражение также в результатах недавней работы Кальниньш (1948).

Изменение реакции почвенного раствора должно ослабить токсическое действие алюминия вследствие меньшей его подвижности при слабокислой или нейтральной реакции среды. Это изменение в ряде случаев будет неустойчивым, но вызываемые им последствия могут сказаться на развитии растений.

Увеличение содержания органического вещества усилит емкость поглощения и буферность почвы. Разложение органического вещества в анаэробных условиях или при недостаточном доступе воздуха поведет к задержке нитрификации, к накоплению аммиака и образованию перегноя.

Положительное действие органического вещества на почвах с высокой обменной кислотностью и при этом, конечно, с высоким содержанием подвижного алюминия было подмечено еще в опытах Соликамской станции в 1937 г. (Прокошев, 1945).

Более подробно роль зеленого удобрения, как фактора повышения урожайности и устранения депрессии аммиачных удобрений, изучена нами в 1944 г. (табл. 1).

Приведенные результаты опыта представляют интерес по выявившемуся здесь резкому действию удобрений на свойства почвы. Но в этом опыте нами не была учтена опасность для растений внесения большой дозы люпина непосредственно перед посевом.

Доза люпина в 2% воздушно-сухой массы от веса оказалась слишком высокой и действовала на растения угнетающе, особенно в начале развития.

[1] В проведении опытов 1948—1949 гг. принимали участие научный сотрудник С. И. Рудометов, техник В. В. Рогова, практикант Шибакина.

Таблица 1

Действие зеленого удобрения на урожай и на почву. Вегетационный опыт 1944 г. Культура — ячмень

Варианты вегетационного опыта	Урожай, г/сосуд	Характеристика почвы в конце опыта				
		pH	обм. кисл. м-экв. на 100 г почвы	сумма погл. основ.	Al по Пейве	P_2O_5 подвижная
					мг на 100 г	
I. Почва с делянки без удобрения (обм. кисл. 1.7)						
Без удобрения	4.85	4.7	1.06	2.14	6.5	1.50
Фон (NK)	4.74	4.7	1.01	2.41	6.5	1.87
+люпин 2% от веса почвы	4.85	6.2	0.12	5.72	0.0	3.00
+$CaCO_3$ (1 гидрол. кисл.)	4.23	6.0	0.00	3.60	0.0	2.50
+$CaCO_3$ + люпин	6.20	6.2	0.00	7.30	0.0	5.00
II. Почва с делянки, удобрявшейся NPK (обм. кисл. 2.37)						
Без удобрения	7.68	4.5	1.92	1.65	10.60	12.50
Фон (NK)	10.25	4.6	1.55	1.55	9.7	13.00
+люпин 2%	13.25	6.0	0.21	5.70	0.0	13.25
+$CaCO_3$ (1 гидрол. кисл.)	16.75	6.0	0.09	3.10	0.0	12.50
+$CaCO_3$ + люпин	23.18	6.2	0.07	5.80	0.0	13.50

Примечание. Почва опыта дерново-среднеподзолистая связнопесчаная. Фоновые удобрения в сосуды вносились в виде KNO_3 и NH_4NO_3.
Зеленое удобрение вносилось в виде мелко нарезанных и высушенных листьев многолетнего люпина, непосредственно перед посевом. Известь вносилась в виде мела.

Что же касается действия люпина на почвенные свойства, то, как видно из результатов определения кислотности почвы, внесение люпина привело к устранению почвенной кислотности и подвижного алюминия, а также к значительному повышению суммы поглощенных оснований. В этом опыте влияние люпина на обменную кислотность было не меньше, чем влияние извести, внесенной по гидролитической кислотности почвы.

ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ 1948 г.

К вопросу о действии зеленого удобрения мы вернулись в 1948 г. Вегетационный опыт 1948 г. был заложен с меньшими дозами люпина по следующей схеме: 1) без удобрения, 2) люпин $^1/_4$ % от веса почвы, 3) люпин $^1/_2$%, 4) зола соответственно варианту 2, 5) зола соответственно варианту 3.

Зола соответственно вариантам 2 и 3 получена путем сжигания навесок люпина, равных тем, которые применялись в вариантах 2 и 3.

Вся схема опыта заложена в трех сериях: а) без фона других удобрений, б) по фону минеральных удобрений, в) по фону минеральных удобрений с известью.

Доза фоновых минеральных удобрений: N и K_2O по 0.6 г; а P_2O_5 по 0.75 г на сосуд (6.5 кг почвы) в форме аммиачной селитры, калийной селитры и преципитата; известь вносилась в форме $CaCO_3$.

Почва для вегетационного опыта взята с двух различно удобрявшихся делянок длительного полевого опыта на песчаной почве, где изучается эффективность минеральных удобрений в связи с применением извести и органических удобрений (поле № 172). В результате систематического применения минеральных удобрений, в том числе аммиачного азота,

в полевых условиях наблюдается увеличение обменной кислотности почвы и снижение урожая на делянках, удобренных NPK. Для нашего опыта была взята почва с делянки, систематически удобрявшейся NPK, и параллельно с ней с делянки, систематически удобрявшейся PK. Агрохимическая характеристика обеих почв вегетационного опыта такая:

	Почва делянки, удобрявшейся PK	Почва делянки, удобрявшейся NPK
pH солевой вытяжки	4.2	3.9
Обменная кислотность в м-экв.	1.2	2.0
Гидролитическая кислотность в м-экв.	3.2	4.1
P_2O_5 мг на 100 г почвы (по Кирсанову)	15.0	14.4
Влагоемкость полная, в %	24.0	24.0

Опыт поставлен с трехкратной повторностью, в сосудах емкостью в 6.5 кг почвы, при увлажнении до 80% от полной влагоемкости. Культура в вегетационном опыте — яровая пшеница, сорт Диамант, убрана на зерно.

Таблица 2

Действие воздушно-сухой массы люпина и золы на урожай пшеницы. Вегетационный опыт 1948 г.

№ п/п	Варианты вегетационного опыта	Дозы удобрений, г/сосуд	Почва с делянки, удобрявшейся PK: Общий урожай, в г	Прибавка, в г: общий урожай	зерно	Почва с делянки, удобрявшейся NPK: Общий урожай, в г	Прибавка, в г: общий урожай	зерно	pH солевой вытяжки	обменная кислотность, м-экв. на 100 г
1	Без удобрения	—	17.4	—	—	9.3	—	—	4.4	1.57
2	Люпин 1/4%	16	32.8	15.4	6.2	24.0	14.8	5.8	4.5	1.01
3	Люпин 1/2%	32	43.0	25.6	8.8	46.9	37.6	14.0	4.7	0.74
4	Зола, соотв. люпину 1/4%	1.5	21.9	4.5	3.8	17.9	8.7	4.7	4.3	0.91
5	Зола, соотв. люпину 1/2%	3.0	49.6	32.2	9.9	30.8	21.5	10.6	4.8	0.47
6	Ca, Mg, K, соотв. варианту 5	$CaCO_3$ 0.56 + $MgCO_3$ 0.16	19.1	1.71	2.0	11.6	2.3	0.5	4.3	1.42
7	Фон NPK	—	27.4	—	—	24.6	—	—	4.4	1.30
8	Люпин 1/4%	16	52.5	25.1	10.2	46.5	21.9	8.3	4.7	0.75
9	Люпин 1/2%	32	47.8	20.3	6.3	56.1	31.5	15.0	5.8	0.52
10	Зола, соотв. люпину 1/4%	1.5	47.5	20.1	10.7	42.6	20.0	9.0	4.8	0.70
11	Зола, соотв. люпину 1/2%	3.0	50.3	22.9	9.3	41.8	17.2	9.0	5.5	0.42
12	Фон NPK + Ca	—	43.1	—	—	45.2	—	—	7.5	Нет
13	Люпин 1/4%	16	37.2	—5.9	—5.9	45.1	—0.03	0.6	7.2	»
14	Люпин 1/2%	32	35.6	—7.5	—6.3	44.2	—1.0	—2.4	7.5	»
15	Зола, соотв. люпину 1/4%	1.5	41.2	1.9	—0.7	49.4	4.5	3.1	7.3	»
16	Зола, соотв. люпину 1/2%	3.0	46.9	3.8	2.5	49.6	4.5	1.2	7.3	»

Примечание. Зола люпина содержала CaO — 10.9%; MgO — 2.4%; K_2O — 16.3%. Дова в серии 3 (фон NPK Ca) для почвы делянки PK — 10.5 г $CaCO_3$, а для почвы делянки NPK — 13.45 г $CaCO_3$. В варианте 6 вносилось $CaCO_3$ — 0.56 г, $MgCO_3$ — 0.16 г на 1 кг почвы.

Результаты опыта представлены в табл. 2. Действие зеленого удобрения, выраженное в прибавках от урожая без удобрения, было выше на почве

с более кислой реакцией — на почве делянки NPK, чем на почве менее кислой — делянки PK. Действие удобрений в остальных вариантах той и другой серии опыта очень похоже и потому не требует отдельного рассмотрения.

Остановимся подробнее на изложении результатов опыта на почве делянки, удобрявшейся NPK, поскольку действие зеленого удобрения на этой почве более резко выражено и опыт сопровождался агрохимическими исследованиями почвы после уборки урожая.

Первая доза люпина (1/4% сухого вещества от веса почвы) в серии без удобрения увеличила урожай общей массы пшеницы в 2.5 раза, вторая доза в 5 раз по массе и в 6.5 раза по зерну. Таким образом по люпину, внесенному в дозе 1/2% от веса почвы, получен наибольший урожай в опыте.

Чтобы выяснить, не относится ли высокое действие люпина за счет азота, который поступил в почву в процессе разложения органического вещества, сопоставим урожай первой серии с урожаями второй серии, в которой вносился фон NPK. Наличие азота в фоне отнюдь не изменило положительного действия люпина. Прибавка от люпина, как массы урожая, так и зерна, во второй серии опыта была не меньше, чем в первой серии, без фона минеральных удобрений. В опыте оказалась меньше лишь разница между прибавками урожая от первой и второй доз люпина.

Полученный результат дает нам право утверждать, что причина высокого действия люпина в данном случае не в азоте или во всяком случае не только в азоте, так как азотом растения второй серии обеспечены достаточно и притом в легкорастворимой форме.

Сопоставление урожаев первой и второй серий с третьей серией по фону NPK + Ca, как нам кажется, разъясняет интересующий нас вопрос. В этой серии урожай без внесения люпина приблизительно такой же, как и в серии по фону NPK с люпином, но по извести действие люпина не сказывается ни на массе урожая, ни на зерне пшеницы. Следовательно, при внесении извести люпин был в условиях опыта излишним.

Результаты агрохимических исследований в момент уборки урожая, приведенные в табл. 2, показывают, что влияние зеленого удобрения как в первой, так и во второй сериях опыта сказалось прежде всего на обменной кислотности почвы. На почве делянки NPK обменная кислотность почвы при внесении 1/2% люпина снизилась почти в 2 и 2.5 раза; так, например, в сосудах без удобрения обменная кислотность была 1.57 м-экв. на 100 г, а по люпину 0.74 м-экв. Во всех вариантах опыта, где вносился люпин, снижалась обменная кислотность почвы.

Данные по определению кислотности почвы в различно удобренных сосудах подтверждают предположение о том, что существенное влияние, которое оказывает на почву внесение зеленого удобрения, заключается в снижении обменной кислотности почвы в процессе разложения люпина, а отсюда уменьшение или устранение токсического действия алюминия. Изменение потенциальной кислотности почвы в результате внесения зеленого удобрения хорошо отмечалось и определением величины pH (табл. 2).

Как указывалось, зола вносилась в опыте точно в том количестве, какое было получено при сжигании соответствующей навески зеленого удобрения (1/4% и 1/2% воздушно-сухой массы люпина). Анализ золы показал наличие в ней K_2O—16.3%, CaO—10.4%, MgO—2.4%. Несомненно, что щелочные и щелочноземельные основания в золе были только в форме карбонатов. Действие золы на почвах, имевшихся в нашем вегетационном опыте, было также очень высокое и приближалось к действию люпинового удобрения.

В некоторых вариантах действие золы люпина было даже выше, чем действие зеленого удобрения. Интересно отметить, что урожай пшеницы по золе, внесенной на фоне NPK, был таким же приблизительно, как и по извести, внесенной совместно с NPK. Чем может быть объяснено такое высокое действие золы на кислой почве на фоне полного удобрения? Предположение, что здесь оказывала свое действие зола вследствие содержания в ней легкоусвояемых фосфора и калия отпадает, так как зола действовала в вариантах, где фосфор и калий вносились в достаточном количестве и в полевом и в вегетационном опытах. Кальций золы составлял приблизительно только $^1/_{20}$ долю по сравнению с кальцием, вносимым при известковании почвы по гидролитической кислотности и, конечно, не мог устранить обменную кислотность почвы.

Объяснение высокого действия золы, видимо, надо искать в том, что в золе содержатся карбонаты не только кальция, но также калия (и натрия), которые реагировали с почвой. Такое подщелачивание почвы, хотя бы даже очагового характера, было достаточно, чтобы создать реакцию почвы, благоприятную для растений.

Для подтверждения этого мнения можно еще привести данные урожая вегетационного опыта в варианте 6, где вносились минеральные соли (Ca, Mg и K) по содержанию их в золе, но калий вносился не в виде карбоната, а в виде хлорида. Действие удобрений на урожай в этом варианте было ничтожным, а на свойствах почвы почти не сказалось.

Из нашего опыта видно, что положительное действие золы люпина объясняется отнюдь не большей доступностью оснований, а их щелочной и карбонатной формой.

Результаты опыта, конечно, не дают ни малейшего основания делать вывод о возможности замены органического удобрения золой, так как в опыте не выявлялось многостороннее действие люпина на биологические свойства почвы, усиление азотного питания и на содержание гумуса. Мы брали только одну сторону действия люпина и золы, которая действительно совпадает,— их подщелачивающее влияние в условиях кислой почвы; то и другое удобрение снижало обменную кислотность и благодаря этому повышало урожай растений, чувствительных к кислой реакции почвенной среды.

По вопросу сравнительной оценки действия люпина и золы на почве с высокой обменной кислотностью мы имели в 1948 г. еще один опыт с горчицей белой, в котором наряду с различными дозами люпина и эквивалентным им количеством золы, вносились различные дозы карбонатов кальция и магния в процентах от емкости поглощения почвы. Схема опыта и его результаты представлены в табл. 3.

При рассмотрении результатов опыта с горчицей следует учитывать динамику роста и развития горчицы.

Через три дня после появления всходов горчицы (13 августа) некоторые варианты опыта уже дали себя знать; в частности, положительно выделялись от контроля сосуды, в которых вносилась зола люпина. Вскоре уже было видно, что растения в сосудах без удобрения погибнут. В то же время в сосудах, удобренных известью и известью с дозой магния, не превышающей 25% от емкости поглощения, наблюдались здоровые всходы. Из всего опыта особенно выделялись всходы в сосудах, удобренных золой люпина, особенно в повышенных дозах.

Всходы в сосудах, удобренных зеленым удобрением, в начале опыта отстали в росте и развитии и не выделялись от контроля, но окрас всходов в отличие от контроля была зеленой и листья не имели признаков угнетения.

Таблица 3

Устранение депрессии от длительного применения минерального аммиачного удобрения внесением люпина и золы люпина.
Вегетационный опыт 1948 г. * Горчица белая

№ п/п.	Варианты вегетационного опыта	Урожай возд.-сухой массы, в г	pH—7/IX 1948		pH при уборке 7/X 1948 (водн.)	При уборке	
			водн.	солев.		Обменн. кисл. в м-экв. на 100 г почвы	Подвижн. P_2O_5 в мг на 100 г почвы
1	Без удобрения	0.0	5.4	4.7	5.4	1.94	4.1
2	Люпин 0.25% от веса почвы	0.50	5.4	4.7	—	—	—
3	Люпин 0.50% от веса почвы	0.80	5.6	4.7	5.75	—	—
4	Люпин 0.75% от веса почвы	1.08	5.7				
5	Люпин 1% от веса почвы	1.88	5.7	6.0	6.0	0.44	5.0
6	Зола, соотв. 0.25% люпина	0.36	5.6	4.7	—	—	—
7	Зола, соотв. 0.50% люпина	0.57	5.5	4.7	5.9	—	—
8	Зола, соотв. 0.75% люпина	1.09	5.6	5.6	—	—	—
9	Зола, соотв. 1% люпина	1.31	5.7	5.7	6.2	0.44	7.5
10	Ca + Mg, соотв. 4-й дозе золы	0.17	5.5	4.7	—	—	—
11	Ca 75% + Mg 25% от емкости	1.95	6.7	6.2	6.7	0.23	5.6

* Дозы люпина рассчитаны по сухому веществу от веса почвы, а доза Ca и Mg в % от емкости поглощения.

Фактически вносилось люпина: 4.5 г; 9 г; 13.5 г; 18 г; золы, соответствующей дозам люпина: 0.42 г; 0.84 г; 1.26 г; 1.68 г.

В варианте 11 вносились $CaCO_3$—2.16 г, $MgCO_3$ — 0.61 г. Почва опыта с делянки № 12 поля № 197 среднеподзолистая, связнопесчаная, систематически удобряемая NPK; обменная кислотность в м-экв. на 100 г почвы — 2.07; pH — 4.09; сумма (S) 0.86 м-экв. на 100 г почвы. Посев 9 августа, уборка 7 октября в состоянии цветения горчицы в лучших вариантах опыта.

20 сентября горчица в сосудах с золой люпина и в сосудах, удобренных известью и магнием, находилась в цветении, в сосудах с зеленым удобрением горчица сильно отстала в развитии; на растениях не было даже бутонизирующих экземпляров, но листья на растениях крупные, здоровые.

Ко времени уборки растений (7 октября) горчица в сосудах вариантов, удобренных золой и насыщенных Ca + Mg (75 + 25% от емкости), закончила цветение, а в вариантах, где вносилось зеленое удобрение, растения только начали бутонизировать, имея мощную зеленую массу, обеспечившую повышенный урожай.

Из результатов опыта было видно, что зола люпина проявила себя как быстро действующее средство, исправляя в благоприятную сторону реакцию почвы вскоре после внесения и обеспечивая этим урожай не меньший, чем в сосудах, удобренных известью и магнием. Зеленое удобрение действовало в том же направлении, но медленнее, позднее вызывая рост растений, и в конечном итоге дало больший урожай, чем по золе. Если бы уборку опыта можно было затянуть, то, несомненно, более высокий урожай по люпину выделился бы еще рельефнее.

Данные определений pH в опыте с горчицей, так же как и в ранее рассмотренных опытах, говорят о повышении pH в результате внесения как зеленого удобрения, так и золы, причем результат сказался на изменении реакции почвенного раствора и на изменении реакции солевой тяжки.

Опыт подтвердил высказанные ранее соображения, что при внесении еного удобрения и золы одинаково происходит изменение реакции

почвенной среды, но проявляется оно не одинаково быстро и по разным причинам. В одном случае изменение реакции связано с разложением органического вещества, а в другом случае с внесением легкоподвижных карбонатов, и, вероятно, прежде всего калия.

ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ 1949 г.

Для выяснения специфической роли зеленой массы бобовых растений, вносимых в качестве зеленого удобрения, в 1949 г. был поставлен специальный вегетационный опыт.

В этом опыте наряду с люпином в тех же дозах вносилось злаковое зеленое удобрение. При сопоставлении различных источников зеленого удобрения имелось в виду, что бобовое зеленое удобрение, в массе которого содержится больше белка, чем в злаковом зеленом удобрении, в процессе разложения даст больше аммиака, вызовет более резкое изменение реакции в сторону подщелачивания и вследствие этого окажет лучшее действие на урожай, чем злаковое зеленое удобрение.

Почва для нашего опыта, как и раньше, взята с делянки, длительно удобрявшейся минеральными удобрениями с участием аммиачного азота. Обменная кислотность почвы — 3.0 м-экв. на 100 г почвы. Без внесения извести на такой почве большинство культур расти не может вследствие высокой кислотности. В то же время это почва, обеспеченная подвижными фосфатами (P_2O_5 12—15 мг на 100 г почвы) и калием, имеет ресурсы азота в форме поглощенного аммония. Биологическая жизнь этой почвы крайне угнетена.

Как и в предыдущих опытах, в данном опыте введена серия с внесением в качестве фона — комбинации минеральных удобрений в форме азотнокислого аммония, суперфосфата и хлористого калия в дозе N и K_2O по 0.6 г, а P_2O_5 по 0.75 г на сосуд с объемом почвы 6.5 кг. Культура — ячмень, сорт Винер. Наряду с зеленым удобрением в схему введены также варианты с золой, соответствующие количеству зеленого удобрения.

Насколько наше предположение о возможном преимуществе бобового зеленого удобрения перед злаковым оправдалось, видно из результатов опыта, приведенных в табл. 4.

Опыт подтвердил результаты предыдущих исследований: а) зеленое удобрение оказывает высокую эффективность на почве с выраженной обменной кислотностью; б) внесение фона в виде минеральных удобрений не только не исключает действия зеленого удобрения, а наоборот, повышает его эффективность.

Сопоставление результатов действия злакового и бобового зеленого удобрения показало, что, как мы и предполагали, бобовое зеленое удобрение (листья люпина) оказалось эффективнее, чем злаковое зеленое удобрение (листья ржи), хотя удобрения были, конечно, выравнены по воздушно-сухой массе. Повышенное действие бобового зеленого удобрения объясняется нами главным образом увеличенным содержанием в них белкового азота и, следовательно, большим количеством аммиака, выделяемого в процессе разрушения белковых веществ, но не исключается и роль повышенного в бобовых содержания зольных элементов.

Действие золы бобовых на неудобренном фоне было равновелико действию золы злакового зеленого удобрения. Несколько непонятно отсутствие действия золы злаков на урожае зерна ячменя.

Таблица 4

Действие зеленого удобрения и золы на урожай ячменя. Вегетационный опыт 1949 г. Урожай в г/сосуд и в %

Варианты вегетационного опыта	Общий урожай		Урожай зерна		Прибавка в г		Определение 12/IX	
	г	%	г	%	общий урожай	зерно	pH солев.	Обмен. кисл. в м-экв. на 100 г почвы
I. Серия без минеральных удобрений								
Без минер. удобр.	9.2	100	3.72	100	. .	. .	4.8	8.6
Люпин 1/4% от веса почвы	21.4	231	9.15	246	12.1	5.4	5.2	4.0
Люпин 1/2% от веса почвы	24.3	262	11.27	303	15.0	7.6	5.6	3.6
Зелен. удобр. злаковое 1/4%	17.2	192	6.27	168	8.5	2.6	4.8	8.3
Зола люпина, соотв. зеленой массе в 1/4% от веса почвы	17.6	190	6.44	173	8.4	2.7	5.6	4.0
Зола злака, соотв. зеленой массе в 1/4% от веса почвы	18.2	197	7.33	197	8.9	3.6	5.0	5.0
II. Серия по фону минеральных удобрений (NPK)								
Фон	13.1	100	4.52	100	—	—	4.8	8.7
+люпин 1/4%	37.5	285	14.23	315	24.4	9.7	5.6	3.9
+зелен. удобр. злак. 1/4%	25.8	196	8.35	235	12.6	3.8	5.7	2.5
+зола люпина, соотв. зеленой массе в 1/4% от веса почвы	29.9	228	10.62	234	16.8	6.1	5.6	(1.6)
+зола злак. зелен. удобр., соотв. зеленой массе в 1/4% от веса почвы	17.8	135	4.22	93	4.7	—0.3	5.0	4.7

ОПЫТ С ПОЧВОЙ В ПАРУЮЩИХ СОСУДАХ

Для выяснения условий разложения органического вещества люпина и влияния его на реакцию почвы нами в 1948 г. были заложены специальные парующие сосуды, для которых использованы две те же самые почвы, что и в упомянутом выше вегетационном опыте с пшеницей. Парование почвы проводилось в эмалированных сосудах на 4 кг почвы, которая поддерживалась на время опыта в состоянии 60% увлажнения от полной влагоемкости и, покрытая стеклом, выдерживалась в лаборатории при комнатной температуре.

В серии парующих сосудов были приняты такие варианты: 1) контроль, 2) люпин 0.5% воздушно-сухой массы, 3) люпин 1%, 4) люпин + $CaCO_3$ 0.1%, 5) $CaCO_3$ — 0.1% от веса почвы.

В этих парующих сосудах, заложенных 10 сентября 1948 г., определены были водорастворимые формы азота и периодически определялась реакция почвы (pH). Результаты определений представлены в табл. 5. Внесение люпина привело к значительному изменению реакции почвенного раствора уже через две недели после внесения зеленого удобрения. Наряду с pH водной суспензии изменился также pH солевой суспензии. Из этих же данных следует, что действие вносимого зеленого удобрения уже через 15 дней привело pH почвы на один уровень с известковыми вариантами.

Сопоставление данных определения водорастворимых форм азота указывает, что реакция почвы, близкая к нейтральной, была в тех компостах, где обнаружено большое количество аммония.

Таблица 5

Динамика реакции парующей почвы с зеленым удобрением

Варианты вегетационного опыта	pH в вытяжках						Формы азота		
	Определение 25/IX		Определение 15/X		Определение 20/XI		в мг на 100 г почвы (25/X)		
	водн.	солев.	водн.	солев.	водн.	солев.	NO_3	NO_2	NH_4
Почва с делянки без удобрения									
Без орг. удобр. . . .	5.7	4.3	5.6	4.3	5.6	4.3	3.01 2.47	0.01 0.02	1.37 1.82
Люпин 1/2%	6.2	5.1	5.9	4.8	5.7	4.4	1.14	0.03	1.58
Люпин 1%	6.5	5.8	5.9	5.2	(5.4)	4.7	0.78	0.09	1.74
Люпин 1% + $CaCO_3$ 0.1%	6.8	6.5	6.6	6.5	6.5	6.1	1.16	0.10	2.55
$CaCO_3$ 0.1%	6.4	5.5	6.2	5.0	6.0	5.7	4.8	0.02	2.49
Почва с делянки NPK									
Без орг. удобр. . . .	5.4	4.4	5.1	4.4	5.2	4.0	2.26	0.05	2.16
Люпин 1/2%	5.8	4.7	5.8	4.3	5.6	4.1	1.92	Сл.	1.57
Люпин 1%	6.3	5.2	6.0	5.1	6.1	5.2	Сл.	Нет	0.83
Люпин 1% + $CaCO_3$ 0.1%	6.6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	0.59	0.1	1.49
$CaCO_3$ 0.1%	6.3	5.1	6.1	4.7	5.6	4.9	3.52	Сл.	1.33
Люпин (без почвы) . .	5.4	5.1	—	—	—	—	—	—	—

Дальнейшие наблюдения над pH показывают, что в почве парующих сосудов с люпином после двухмесячного разложения зеленой массы pH изменился в сторону подкисления по сравнению с первым определением и уже не сильно отличался от контрольных сосудов без удобрения. Следовательно, аммиак, выделяющийся при разложении органического вещества люпина, нейтрализовал кислую реакцию почвы; в дальнейшем, по мере нитрификации, реакция приняла исходное состояние — начала изменяться в сторону подкисления.

Нам не удалось достаточно подробно проследить ход нитрификации в парующих сосудах, но последующие определения (25 октября) указывают на задержку этого процесса в сосудах с люпином.

Конечно, нельзя проводить полной аналогии между биологическими процессами, происходящими в почве вегетационного сосуда и в поле, но направление процесса, по крайней мере в местах сосредоточения разлагающейся люпиновой массы, при достаточной влажности среды, может быть именно таким, каким мы его наблюдали в компостах.

Эти опыты убеждают нас в том, что наиболее благоприятные условия для проявления влияния зеленого удобрения на реакцию почвы в направлении ее подщелачивания могут быть созданы при осеннем внесении зеленого удобрения и при запашке его во влажную почву или при раннем весеннем внесении.

Высокое действие зеленого удобрения, которое мы наблюдали в полевых опытах при осеннем внесении зеленого удобрения на почве с высокой обменной кислотностью, особенно на растениях, чувствительных к реакции почвенной среды, мы объясняем нейтрализующим влиянием разлагающейся богатой белком органической массы, при задержке нитрификации.

В 1949 г. на почве, парующей в течение 8 месяцев, был заложен вегетационный опыт в маленьких сосудах, емкостью в 1 кг почвы. В качестве опытного растения взят клевер, как культура чувствительная к кислотности и уже показавшая высокую отзывчивость на зеленое удобрение. Никаких удобрений дополнительно в сосуды не вносилось. Оказалось, что восьмимесячное парование почвы с зеленым удобрением в условиях высокой влажности мало изменило действие внесенных удобрений по сравнению с предыдущими опытами (табл. 6).

Таблица 6

Действие люпина на урожай клевера после длительного парования. Урожай в г на сосуд и в %

Удобрения в компостах	Почва без удобрения			Почва, удобрявшаяся NPK		
	г	%	pH 1/VI	г	%	pH 1/VI
Без орг. удобр. . . .	0.37	14	4.6	0.31	8	4.5
Люпин листья 1/2% . .	1.14	42	4.8	1.45	40	4.8
» » 1% . .	2.05	76	5.2	1.60	42	5.7
$CaCO_3$ 0.1%	1.72	64	5.7	2.90	78	5.8
Люпин + $CaCO_3$	2.70	100	6.2	3.85	100	6.6

Люпин, внесенный в почву 8 месяцев тому назад, обеспечил возможность получения урожая клевера на почве, где без этого клевер совсем практически не развивался. Повышенная доза люпина оказывала лучшее действие на урожай. В этом же направлении действовала и известь. Комбинация люпина и извести была наиболее благоприятной для развития клевера. При определениях pH солевой вытяжки и обменной кислотности установлено изменение реакции не только под влиянием извести, но и под влиянием массы люпина однолетнего.

ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ 1949 г.

В 1949 г. на базе Соликамской опытной станции нами проведен специальный полевой опыт с использованием зеленого удобрения и одновременно золы под несколько полевых культур.

Почва опыта — дерново-среднеподзолистая супесчаная. pH солевой вытяжки этой почвы 4.6—4.8; обменная кислотность в м-экв. на 100 г 0.9—1.1; сумма поглощенных оснований 2.4 м-экв.

Опыт был размещен на участке, имевшем ранее одинаковую историю в отношении предшествующего удобрения и использования. В 1948 г. участок был разделен на три части в продольном направлении. На одной части в 1948 г. был посеян и запахан на месте люпин однолетний, а две другие части участка заняты были картофелем. В качестве удобрения по всему участку в 1948 г. внесен суперфосфат и хлористый калий из расчета по 60 кг/га питательного вещества. Урожай массы люпина однолетнего к моменту его запашки составлял, судя по пробному учету, 500 ц/га, урожай картофеля 140 ц/га. Люпин запахан в начале октября в фазе блестящих бобиков на полную глубину пахотного слоя. По аналогии с вегетационными опытами в схему полевого опыта также включена была зола, но только не люпиновая, а древесная.

Весной 1949 г. рядом с запаханным люпином на участке, занимавшемся картофелем, выделена такая же полоса для серии «без удобрения» и еще полоса, удобренная древесной золой из расчета 5 ц/га.

Поперек этих трех вытянутых участков были разбиты делянки и посеяны следующие культуры: ячмень, сорт — Винер; яровая пшеница, сорт — Диамант; овес, сорт — Золотой дождь; картофель, сорт — Ранняя роза; клевер красный одноукосный. Повторность опыта 3-кратная, размер учетной части делянок был 10 кв. м. Никаких удобрений, помимо люпина и золы, в опыте не вносилось. Количество золы приблизительно соответствовало содержанию ее в запаханном люпине.

По каждой из перечисленных культур в опыте были, следовательно, варианты: без удобрения, по люпину и по золе.

Осенью 1949 г. произведен учет урожая всех культур за исключением красного клевера, который в год посева не учитывался, и впечатление о действии на него удобрений может быть составлено только на основании визуальной оценки.

Полученный в опыте урожай и действие внесенных удобрений представлены в табл. 7.

Таблица 7

Действие зеленого удобрения и золы на урожай в полевом опыте. Урожай и прибавки в ц/га

Культуры	Вид продукции	Без удобрения	По люпину		По золе	
		урожай	урожай	прибавка	урожай	прибавка
Яровая пшеница	Зерно	12.4	30.8	+18.4	22.3	+9.9
	Солома	14.7	44.5		30.7	
Ячмень	Зерно	13.0	20.0	+ 7.0	17.7	+4.7
	Солома	12.3	26.0		22.1	
Овес	Зерно	17.5	25.3	+ 7.8	21.7	+4.2
	Солома	20.5	31.3		27.7	
Картофель	Клубни	58.6	133.8	+75.2	65.8	+7.2

Как видно из приведенных данных, в опыте проявилось исключительно высокое действие зеленого удобрения на всех культурах, особенно на яровой пшенице. Прибавка урожая зерна пшеницы от люпина выразилась в 18.4 ц/га, т. е. была в полтора раза выше, чем урожай контроля. На ячмене и овсе прибавка урожая превышает 50% от контроля или близка к этой цифре. Высоким было действие люпина и на картофеле.

В том же направлении, что и люпин однолетний, действовала и древесная зола, но прибавка от золы была ниже, чем прибавка от зеленого удобрения, особенно на картофеле.

Чтобы расшифровать действие люпина и золы, в нашем полевом опыте имеются определения некоторых показателей агрохимической характеристики почвы в разных вариантах опыта. Все определения сделаны по двум культурам на трех повторных делянках опыта перед учетом урожая. Средние данные приведены в табл. 8.

Из агрохимической характеристики почвы, относящейся к моменту уборки урожая, следует, что в результате применения зеленого удобрения реакция почвы заметно сдвинута в сторону подщелачивания. По люпину резко увеличилось также количество нитратов. Нет сомнения в том, что

Таблица 8

Агрохимическая характеристика почвы в опыте с применением зеленого удобрения и золы

	Без удобрения	По люпину	По золе
Делянка ячменя			
pH солевой вытяжки	4.6—4.8	4.7	4.9—5.1
Обм. кисл. в м-экв. на 100 г почвы	1.09	0.92	0.37
Сумма погл. основ. в м-экв. на 100 г почвы	2.42	2.44	2.9
Делянка клевера			
pH солевой вытяжки	4.6—4.7	4.9—5.0	4.9—5.1
Обм. кисл. в м-экв. на 100 г почвы	0.92	0.79	0.6
NO_3 мг на 100 г почвы	15.0	40.0	8.3
P_2O_5 (по Кирсанову)	2.25	1.75	3.8

наблюдаемая нами при уборке реакция не отражала состояние кислотности почвы в более ранней стадии разложения органического вещества, на более ранних фазах развития растений, когда сдвиг реакции от люпина, вероятно, был более сильным. В случае применения золы подщелачивание реакции было более отчетливо, возросла и сумма поглощенных оснований. Подвижная фосфорная кислота уменьшилась на делянках, занятых люпином, и возросла на делянках, удобренных золой, что вполне естественно, так как люпин использовал большое количество подвижных фосфатов для формирования урожая и превратил их в органическую форму, которая не отражена нашим определением.

Обобщая результаты полевого опыта и агрохимических исследований, с ним связанных, можно сделать вывод, что зеленое удобрение оказывает существенное влияние на урожай растений и на свойства почвы, именно на реакцию почвы. Несомненно, что эта роль зеленого удобрения, наряду с прямым его действием как источника азота, оказывалась весьма важной, особенно для культур, более чувствительных к кислотности.

В нашем полевом опыте, так же как и в вегетационных, выявлено высокое положительное действие золы на урожай. Золу мы не рассматриваем только как источник фосфора, калия и даже кальция. Количество вносимого с золой кальция небольшое, чтобы оно могло сильно изменить насыщенность почвы. Дело здесь, несомненно, в том, что щелочные основания в золе вносятся в форме карбонатов, а на такой малобуферной почве, какой является песчаная почва, они быстро сказываются на кислотности почвенного раствора и на потенциальной кислотности.

Влияние золы на урожай было тем бо́льшим, чем чувствительнее растение к почвенной кислотности. Так, например, пшеница и ячмень с их высокой чувствительностью к кислотности реагировали на золу сильнее, чем картофель, несмотря на большое потребление им калия.

На этом основании мы настойчиво рекомендуем применять древесную золу на дерново-подзолистых почвах не столько под так называемые «калелюбивые» культуры, а в первую очередь под культуры, чувствительные к кислотности почвы, какими являются пшеница, клевер.

Учета урожая клевера не производилось, но глазомерная оценка его состояния отчетливо показывает хорошее действие на клевере как люпина, так и древесной золы.

Оттеняя роль зеленого удобрения в уменьшении почвенной кислотности, мы, конечно, не сводим только к этому его действие. Накопление биологического азота и зольных элементов в виде органического вещества остается функцией зеленого удобрения; отмеченное нами влияние на почвенную кислотность повышает значение зеленого удобрения при использовании его на почвах дерново-подзолистой зоны.

ВЫВОДЫ

1. В полевых и вегетационных опытах, проводившихся автором на Соликамской сельскохозяйственной опытной станции, установлено высокое действие зеленого удобрения на дерново-подзолистых легких почвах, особенно при запашке его осенью под яровые культуры.

2. Наиболее высокое действие зеленого удобрения (до 18.4 ц/га зерна пшеницы) обнаружено на почвах с высокой обменной кислотностью, явившейся следствием развития подзолистого процесса или длительного внесения аммиачного азота.

3. При выяснении роли зеленого удобрения на почвах с высокой обменной кислотностью установлено, что зеленое удобрение действует не только вследствие накопления в почве биологического азота и зольных элементов, аккумулированных в органическом веществе, но и играет важную роль в уменьшении почвенной кислотности.

4. Нейтрализующее действие разлагающегося зеленого удобрения объясняется накоплением аммиака в процессе разрушения белков при задержке нитрификации; действие зеленого удобрения выше в случае использования растений, более богатых белком. Нейтрализующее значение имеет и высокое содержание зольных элементов в зеленом бобовом удобрении.

5. Выявившаяся в опытах нейтрализующая роль зеленого удобрения позволяет рекомендовать применение люпина на почвах с высокой потенциальной кислотностью, при условии осенней или ранней весенней (но не летней) его заделки в почву.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Е. К. Зеленое удобрение в СССР. Сельхозгиз, 1948.

Вильямс В. Р. Общее земледелие, ч. I. Книгоизд. студентов ПСХА, 1919.

Вильямс В. Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. Изд. 5-е. Сельхозгиз, 1947.

Кальнинып А. Минерализация люпинового зеленого удобрения и динамика почвенной микрофлоры. Изв. АН Латв. ССР, вып. 8. Рига, 1948.

Прокошев В. Н. Многолетний люпин как сидерат северного земледелия. Сб. «Современные вопросы сидерации». Сельхозгиз, 1936.

Прокошев В. Н. К вопросу использования люпина однолетнего в качестве зеленого удобрения в Северном Предуралье. Сов. агроп., № 9, 1939.

Прокошев В. Н. Зеленое удобрение в Предуралье. Изд. Солик. оп. ст., 1940.

Прокошев В. Н. Об эффективности фосфатов на почвах с высоким содержанием подвижного алюминия. Тр. Молот. с.-х. инст., т. IX, 1945.

Соколов А. В. Разложение в почве зеленого удобрения. Тр. Полесской оп. ст., т. II. Изд. Полесской ст. Киев, 1928.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

П. И. НИКИШКИНА

ВЛИЯНИЕ НАВОЗА НА ДИНАМИКУ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Кислая реакция и содержание в дерново-подзолистых почвах активного алюминия отрицательно влияют на урожай сельскохозяйственных культур. Известно, что систематическое применение физиологически кислых азотных удобрений приводит к сильному увеличению кислотности дерново-подзолистых почв; наоборот, применение томасшлака уменьшает кислотность почвы. О характере влияния навоза на реакцию почвы имеются противоречивые суждения.

А. В. Соколов (1929), изучая действие навоза на песчаных почвах Полесской станции, пришел к выводу, что навоз уменьшает как кислотность почвы, так и подкисление почвы, вызываемое внесением физиологически кислых азотистых удобрений.

По мнению Каппена (1934), в результате разложения навоза в почве образуются кислые продукты — азотная кислота и углекислота. Наблюдающееся при внесении навоза подщелачивание почвы носит временный характер и вызывается наличием в навозе углекислого аммония. Эта точка зрения неверна. В навозе содержатся основания, связанные с органическими кислотами, которые нейтрализуют образующуюся азотную кислоту. Изучение сильно унавоженных почв приусадебных участков показало почти полное отсутствие в них обменной кислотности почвы в результате внесения навоза (Н. П. Карпинский, 1940).

Задачей нашего исследования было установить, в какой мере навоз влияет на кислотность почвы при внесении его в обычных для полевых условий дозах, порядка 20—50 т навоза за севооборот. Действие навоза на приусадебных участках, где навоз вносился почти ежегодно и в больших дозах, конечно, не говорит еще о возможном действии навоза в обычных полевых условиях. Почти полное устранение обменной кислотности почвы на старых огородных, сильно унавоженных приусадебных участках нельзя приписывать полевым севооборотам, которые получают в несколько раз меньше навоза. Установление размера уменьшений кислотности почвы при внесении навоза в полевых травопольных севооборотах имеет значение для выявления потребности растений в извести в этих севооборотах, а также при решении вопроса о нейтрализации кислотности азотных удобрений. Изучение действия навоза, применяемого в определенных дозах в течение длительного времени, можно провести только в соответствующих полевых опытах, где имеются навозные и безнавозные варианты в севооборотах, прошедших по крайней мере две ротации. Возможность такого изучения

действия навоза на кислотность почвы была предоставлена нам на многолетних опытах Долгопрудной агрохимической опытной станции им. академика Д. Н. Прянишникова Научного института по удобрениям и инсектофунгисидам (НИУИФ), дирекции которой, а также оказывавшим нам содействие сотрудникам станции кандидатам с.-х. наук М. М. Ничику и Р. Ю. Бродской пользуемся случаем выразить свою признательность. Почвы Долгопрудной агрохимической опытной станции относятся к суглинистым дерново-подзолистым. Материнской породой является покровная глина, сильно пористая, однородная по своему механическому составу. Рельеф опытного поля волнистый. В нижних частях склонов и в микрозападинах встречаются почвы, переходные от подзолистых к полуболотным. По степени оподзоленности почвы Долгопрудной опытной станции разделяются на: 1) слабоподзолистые на повышенных элементах рельефа, 2) среднеподзолистые (основная почвенная разность опытного поля) и 3) почвы подзолистые со следами оглеения. Опытное поле состоит из ряда участков, в разное время поступивших под опыты.

Действие навоза на динамику почвенной кислотности изучалось в 4 различных опытах, размещенных в отдельных севооборотах, а именно:

1. Балластные и безбалластные удобрения.
2. Навоз и минеральные удобрения.
3. Дозы навоза на фоне извести.
4. Нитратный и аммиачный азот.

Опыт «балластные и безбалластные удобрения» заложен в 1933 г. в пятипольном севообороте со следующим чередованием культур: 1) картофель, 2) кормовая свекла, 3) овес с подсевом клевера и тимофеевки, 4) травы, 5) рожь. Участок опыта захватывает почвы дерново-среднеподзолистые и подзолистые со следами оглеения. До 1929 г. этот участок использовался под выгон; в 1929 г. он был распахан и засеян викой с овсом и овсом. Ни навоза, ни минеральных удобрений до закладки опыта участок не получал. С момента закладки опыта навоз вносился в количестве 50 т за ротацию севооборота: под картофель 25 т и под кормовую свеклу 25 т. Навоз вносился по фону извести и без извести. Известь вносилась в количестве 7—8 т/г $CaCO_3$ под свеклу. Повторность опыта 3-кратная. Из схемы опыта для наблюдения за кислотностью почвы были взяты следующие варианты: без удобрений, навоз, известь и известь + навоз. С этих вариантов опыта для исследования с каждой повторности почвенные образцы брались с травяного поля в 1944, 1945 и 1946 гг.; в 1947 г. с травяного и ржаного полей. К 1944—1945 гг. в поля данного севооборота было внесено с начала закладки опыта 100 т навоза на га. В 1946—1947 гг. с начала работ в поля севооборота внесено 150 т навоза на га.

Опыт «навоз и минеральные удобрения» был заложен в 1931 г. в четырехпольном севообороте с чередованием культур: 1) клевер + тимофеевка, 2) озимь, 3) пропашное, 4) овес с подсевом трав. Опыт заложен на старопахотной, сравнительно окультуренной почве. Навоз вносился из расчета 12 т/га под каждую культуру, кроме трав. За ротацию вносилось 36 т навоза на га. Варианты опыта следующие: без удобрений, навоз, минеральные удобрения + Са по навозу. Минеральные удобрения вносились в количестве, эквивалентном содержанию питательных веществ в навозе. Опыт проводился с 4-кратной повторностью. В исследования были включены все варианты опыта. Почвенные образцы брались в 1944, 1946 и 1947 гг. с травяного поля со всех четырех повторностей опыта. В 1947 г. началась пятая ротация севооборота. К 1947 г. в поля данного севооборота было внесено 144 т навоза на га с момента закладки опыта.

Опыт «дозы навоза на фоне извести» заложен на участке старого поля в 1923 г. в семипольном травопольном севообороте с чередованием культур: 1) пар, 2) рожь, 3) картофель, 4) овес с подсевом клевера и тимофеевки, 5) травы первого года пользования, 6) травы второго года пользования и 7) лен. Известь вносилась один раз в 1923—1926 гг. из расчета 9 т/га. Навоз вносился один раз в ротацию, в пару. Варианты опыта: без удобрений, $CaCO_3$ 9 т/га, $CaCO_3$ + навоз 18 т/га, $CaCO_3$ + навоз 36 т/га, $CaCO_3$ + навоз 54 т/га. В 1947 г. опыт прошел четыре ротации. За все время опыта было внесено 72 т навоза при дозе 18 т/га за севооборот, 144 т при дозе 36 т/га за севооборот и 216 т при дозе 54 т/га за севооборот. Опыт проводился в 4-кратной повторности. Почвенные образцы брались в 1947 г. с травяных полей первого и второго года пользования со всех четырех повторностей опыта на всех вариантах.

Опыт «нитратный и аммиачный азот» расположен на участке, распаханном в 1926—1927 гг. Ни навоза, ни минеральных удобрений до закладки опыта участок не получал. Почва данного участка отличается сильной потребностью в известковании и более отзывчива на внесение фосфора, чем участки других полей. Степень окультуренности участка значительно ниже, чем участка предыдущих опытов (Щерба, 1941).

Опыт «нитратный и аммиачный азот» был заложен в 1934 г. в шестипольном травопольном севообороте с чередованием культур: 1) картофель ранний, 2) рожь с подсевом клевера и тимофеевки, 3) травы, 4) лен, 5) свекла и 6) овес. Навоз вносится под картофель и свеклу из расчета по 20 т/га. В этом севообороте число полей под травами сокращено до одного.

Согласно указаниям В. Р. Вильямса, пользование травами в травопольном севообороте, начиная со второй ротации, может быть однолетним; так как чистый пар в травопольном севообороте имеет целью также и борьбу с сорняками, поэтому в этом севообороте удаление сорняков обеспечивалось заменой чистого пара ранним картофелем. Задачей этого опыта было выяснить сравнительную эффективность физиологически кислых и физиологически щелочных азотных удобрений на фоне навоза и без него, а также значение навоза как источника азота для растений и как нейтрализатора кислотности почвы и удобрений. Почвенные образцы брались в 1945, 1946 и 1947 гг. с травяного поля, а в 1947 г. и с ржаного со всех четырех повторностей. К 1945—1947 гг. со времени закладки опыта было внесено 60 т/га навоза в травяное поле. Ржаное поле 1947 г. получило 100 т/га навоза с момента закладки опыта. Для исследования были выбраны следующие варианты опыта: РК; РК + навоз — 40 т/га за севооборот; РК + $(NH_4)_2SO_4$ — 150 кг/га N за севооборот; РК + $(NH_4)_2SO_4$ — 150 кг/га N + навоз — 40 т/га за севооборот; РК + $NaNO_3$ — 60 кг/га N за севооборот; РК + $NaNO_3$ 60 кг/га N + навоз — 40 т/га за севооборот. Азот вносился в дозе 60 кг N на га в форме натриевой селитры и в дозе 150 кг N на га в форме сульфата аммония. Во взятых почвенных образцах определялась почвенная кислотность: гидролитическая по Каппену, обменная по Дайкухару, обменный Al по Соколову и pH в водной и солевой суспензии, электрометрическим методом в хингидронкаломельной цепи при отношении почвы к KCl и H_2O = 1 : 2.5.

В таблицах, характеризующих кислотность почвы и содержание в почве обменного алюминия по отдельным годам и полям опыта, приводятся данные по кислотности почвы, выраженные в миллилитрах 0.1 *n* NaOH на 100 г почвы без умножения на коэффициент 1.75.

В таблицах средних данных для всего опыта за время наблюдения определения кислотности почвы выражены в миллиэквивалентах на 100 г почвы с использованием коэффициента 1.75. Обменный алюминий во всех случаях приводится без умножения на какой-либо коэффициент. Нами

Таблица 1

Результаты математической обработки данных анализов

Тема опытов	Годы	Чем занято поле	Гидролитическая кислотность				Обменная кислотность				Обменный алюминий			
			M	±σ	% σ	m	M	±σ	%σ	m	M	±σ	% σ	m
Балластные и безбалластные удобрения	1944	Травы	15.3	1.81	11	1.05	1.7	0.308	18	0.17	1.7	0.92	54	0.53
	1945	»	16.1	1.81	11	1.05	2.0	0.93	46	0.53	1.0	0.92	92	0.53
	1946	»	17.6	2.74	21	1.58	2.8	0.84	30	0.48	2.2	0.83	37	0.48
	1947	»	23.4	3.20	13	1.85	4.0	2.00	50	1.15	2.8	1.84	55	1.06
	1947	Озимь	23.4	1.40	6	0.80	4.2	1.27	30	0.73	3.1	1.05	33	0.60
Нитратный и аммиачный азот	1945	Травы	24.2	2.04	8	1.02	3.9	0.99	25	0.49	2.4	0.86	35	0.43
	1946	»	23.7	3.15	13	1.57	6.9	1.35	19	0.67	5.8	1.28	22	0.64
	1947	»	28.6	2.50	8	1.25	6.7	1.58	23	0.79	5.8	1.45	25	0.72
	1947	Озимь	31.2	2.13	6	1.06	7.8	1.27	16	0.63	6.4	1.17	18	0.58
Навоз и минеральные удобрения	1944	Травы	28.7	3.97	17	1.98	6.13	1.66	27	0.83	5.23	1.50	28	0.75
	1946	»	31.23	3.29	10	1.64	5.0	0.74	14	0.37	3.76	0.66	18	0.33
	1947	»	28.83	2.85	9.8	1.42	7.4	0.97	15	0.48	6.0	0.85	14	0.42
Дозы навоза на фоне $CaCO_3$	1947	Травы	16.3	2.39	14	1.19	—	—	—	—	—	—	—	—
	1947	»	17.3	1.35	8	0.67	—	—	—	—	—	—	—	—

принято различное выражение данных кислотности почвы в таблицах исходных данных и в сводных таблицах вследствие наличия для первых показаний математической обработки. Математическая обработка проводилась для непосредственно полученных данных анализа, а не для условных величин, полученных в результате умножения на условный коэффициент 1.75, принятый для пересчета на возможную полноту вытеснения активного водорода и алюминия.

Прежде чем приступить к рассмотрению данных анализов по отдельным опытам, необходимо отметить, что результаты анализов показали заметные колебания в величинах гидролитической и обменной кислотности между повторными делянками одного варианта. Причины колебаний кроются главным образом в неоднородности почвенных участков, на которых расположены опыты. Чтобы выявить, с какими расхождениями определений в опыте мы встречаемся, нами была произведена математическая обработка полученных данных. Почвенные пробы брались для каждой делянки опыта, и каждая проба анализировалась отдельно, поэтому все данные, приведенные в исходных таблицах, являются средними для всех повторений. Имея данные анализов для каждого повторения, можно было математически обработать результаты опыта. Обработка производилась следующим образом: для каждого варианта устанавливались квадраты отклонений от его среднего, затем все квадраты отклонений для опыта в целом суммировались и основное отклонение σ вычислялось по формуле $\sigma = \pm\sqrt{\frac{\varepsilon d^2}{n-l}}$, где εd^2 — сумма квадратов отклонений для всего опыта, n — число делянок в опыте, l — число вариантов опыта. Вариационный коэффициент вычислялся по формуле: $\%\,\sigma = \frac{\sigma \cdot 100}{M}$. Ошибка одного варианта $m = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (Соколов, 1947). Результаты математической обработки приведены в табл. 1. Данные табл. 1 показывают, что пестрота поля наиболее сказывается на величине обменной кислотности и содержания в почве обменного алюминия. Если гидролитическая кислотность имеет вариационный коэффициент от 6 до 21%, в среднем около 10%, то обменная кислотность имеет вариационный коэффициент от 14 до 50%, в среднем около 25—30%; еще больший вариационный коэффициент получен для обменного алюминия. Данные анализов по годам также дают некоторые колебания; более высокие показания кислотности почв и содержания в них обменного алюминия получены в 1946—1947 гг. По метеорологическим условиям 1946—1947 гг. являются более засушливыми, осадков за вегетационный период выпало меньше, чем в 1944—1945 гг. Сухость почвы могла отразиться на величинах кислотности.

Аналитические данные, полученные по всем опытам, дают согласованные результаты. Во всех опытах навоз при многократном внесении действует в сторону уменьшения кислотности почвы.

Так, в опыте «балластные и безбалластные удобрения» все четыре года наблюдалось одинаковое влияние навоза на кислотность почвы, хотя данные за 1944—1945 гг. относились ко второй ротации севооборота, а 1946—1947 гг. к третьей ротации (табл. 3). Поэтому оказалось возможным вывести средние данные за все годы наблюдений, которые и приводятся в табл. 4. Вычисление ошибки наблюдений ($\pm m$) показывает, что для каждого года опыта и для каждого поля влияние навоза на изменение кислотности почвы и содержание в ней обменного алюминия превосходило ошибку опыта обычно не менее чем в два раза. При повторении этого явления в течение четырех лет можно считать действие навоза на уменьшение

Таблица 2

Осадки, в мм, и температура воздуха за вегетационный период 1944—1947 гг. на Долгопрудной агрохимической опытной станции

Годы	Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Сумма осадков	
	t°	осадки	t°	осадки	t°	осадки	t°	осадки	t°	осадки	t°	осадки	май—июнь	май—сентябрь
1944	0	14.5	11.1	82.8	19.3	53.9	17.4	5.2	16.1	51.7	11.7	54.4	136.7	318.0
1945	0	21.0	8.4	49.8	15.1	75.9	18.4	84.0	17.8	63.2	10.6	108.0	125.7	388.9
1946	4.1	11.6	11.0	78.8	19.9	16.2	—	76.15	—	57.2	7.5	75.7	95.0	304.1
1947	—	—	11.0	22.0	18.0	73.0	18.7	45.0	16.9	74.0	12.0	44.0	95.0	258.0

Таблица 3

Гидролитическая и обменная кислотность в мл 0.1 н NaOH на 100 г почвы и содержание в почве обменного алюминия в мг на 100 г почвы. Полевой опыт «балластные и безбалластные удобрения». Средние данные для трех повторностей

Варианты опыта	1944 Травяное поле			1945 Травяное поле			1946 Травяное поле			1947 Травяное поле			1947 Ржаное поле		
	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al
	гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная	
Без удобрений	23.8	4.0	3.4	24.9	4.1	2.3	26.3	5.6	4.7	29.1	8.3	6.6	28.3	8.5	6.8
Навоз 50 т/га за севооборот	21.6	2.3	1.8	24.1	3.2	1.7	21.6	4.2	3.4	30.8	6.0	4.4	29.1	6.4	4.9
$CaCO_3$ 8 т/га	6.7	0.3	0.1	7.3	0.3	Нет	16.5	1.0	0.5	19.1	1.1	0.3	20.1	1.6	0.8
$CaCO_3$ + навоз 50 т/га за севооборот	9.0	0.2	Нет	8.1	0.4	»	11.6	0.5	0.1	14.7	0.6	Нет	16.1	0.5	Нет
$\pm m$	1.05	0.17	0.53	1.05	0.53	0.53	1.58	0.48	0.48	1.85	1.15	1.06	0.80	0.73	0.60

кислотности почвы вполне достоверным. В остальных опытах действие навоза на кислотность почвы по отдельным годам превосходило тоже ошибки наблюдений; поэтому везде можно было вывести данные за ряд лет.

Средняя величина гидролитической кислотности за 4 года в опыте «балластные и безбалластные удобрения» по безнавозным делянкам равнялась 4.55 м-экв., обменная 0.86 м-экв. и обменный Al 4.3 мг на 100 г почвы; по навозным делянкам величина гидролитической кислотности равнялась 4.2 м-экв., обменной 0.68 м-экв. и обменного Al 2.8 мг на 100 г почвы. При известковании величина гидролитической кислотности уменьшается до 2.19 м-экв.; уменьшение наблюдается и в почве варианта известь + навоз до 1.92 м-экв. Обменная кислотность и обменный Al в почве при известковании исчезают почти полностью. На величину pH водной и солевой суспензии навоз не оказал заметного влияния. Уменьшение гидролитической кислотности под влиянием навоза произошло на 8%, обменной кислотности на 30% и содержание в почве обменного алюминия на 35%. Изменение гидролитической кислотности не может отразиться на агрохимических свойствах почвы; изменение же обменной кислотности и соответственное изменение содержания в почве обменного алюминия уже имеет существенное значение. По данным Н. И. Болотиной (1950), это изменение должно отразиться как на урожае клевера, так и на проценте клевера в составе травосмеси.

Изменение pH почвы под влиянием навоза почти незаметно. Это говорит о том, насколько определение этого показателя для характеристики потребности почвы в извести является ненадежным без определений титруемой обменной кислотности.

Таблица 4

Кислотность почвы и содержание в ней обменного алюминия. Полевой опыт «балластные и безбалластные удобрения». Средние данные за 1944—1947 гг.

Варианты опыта	Кислотность (в м-экв. на 100 г почвы)		Обменный Al в мг на 100 г почвы	pH суспензии		Кислотность в относительных величинах		
	гидролитическая	обменная		H_2O	KCl	гидролитическая	обменная	обменный Al
Без удобрений	4.55	0.86	4.3	5.47	4.37	100	100	100
Навоз 50 т/га за севооборот	4.20	0.68	2.8	5.44	4.48	92	70	65
$CaCO_3$	2.19	—	—	6.43	5.40	100	—	—
$CaCO_3$ + навоз 50 т/га за севооборот	1.92	—	—	6.55	5.54	87	—	—

В опыте «навоз и минеральные удобрения» данные по кислотности приведены за три года (табл. 5 и 6). По данному опыту также отмечены колебания в величинах гидролитической и обменной кислотности по годам. Но, несмотря на отдельные колебания, закономерность в действии навоза сохраняется. Средние данные за три года, так же как и данные по отдельным годам наблюдений, показывают уменьшение гидролитической и обменной кислотности, а также обменного алюминия на унавоженных делянках.

Если средняя величина гидролитической кислотности по безнавозной делянке выражалась в 5.42 м-экв., обменной 1.26 м-экв. и обменного Al 6.1 мг на 100 г почвы, то по унавоженным делянкам мы имели величину гидролитической кислотности равной 4.82 м-экв., обменной 0.70 м-экв. и обменного Al 3 мг на 100 г почвы. В этом опыте еще более резко, чем в предыдущем, видно, что при внесении навоза произошли несущественн-

Таблица 5

Гидролитическая и обменная кислотность в мл 0.1 н NaOH на 100 г почвы и содержание в почве обменного алюминия в мг на 100 г почвы.
Полевой опыт «навоз и минеральные удобрения».
Средние данные для четырех повторностей

Варианты опыта	1944			1946			1947		
	Травяное поле			Травяное поле			Травяное поле		
	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al
	гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная	
Без удобрений	30.5	8.1	7.0	32.8	6.0	4.7	29.9	8.2	6.8
Навоз 36 т/га за севооборот	27.9	4.8	4.0	28.5	2.6	1.6	26.9	4.6	3.6
NPK + Ca по их содержанию в навозе . . .	27.7	5.5	4.7	32.4	6.4	5.0	29.7	9.4	7.6
$\pm m$	1.98	0.83	0.75	1.64	0.37	0.33	1.42	0.48	0.42

Таблица 6

Кислотность почвы и содержание в ней обменного алюминия.
Полевой опыт «навоз и минеральные удобрения».
Средние данные за 1944—1947 гг.

Варианты опыта	Кислотность		Обменный Al в мг на 100 г почвы	pH суспензии		Кислотность в относительных величинах		
	гидролитическая	обменная		H_2O	KCl	гидролитическая	обменная	обменный Al
	в м-экв. на 100 г почвы							
Без удобрений	5.42	1.26	6.1	5.71	4.39	100	100	100
Навоз 36 т/га за севооборот	4.82	0.70	3.0	5.75	4.58	88	55	49
NPK + Ca по их содержанию в навозе	5.23	1.24	5.8	5.62	4.46	96	98	95

ные изменения гидролитической кислотности и весьма существенные обменной кислотности и обменного Al. Содержание последнего стало в 2 раза меньше. Следует отметить и вполне заметное (на 0.2 pH) изменение pH в суспензии KCl, величина которого зависит от количества вытесненного из почвы активного алюминия.

В опыте «нитратный и аммиачный азот» данные получены за 1945—1947 гг. Действие навоза на почвенную кислотность в этом опыте изучалось при внесении физиологически кислых и физиологически щелочных азотных удобрений. Данные по годам приведены в табл. 7.

В 1946 г. заметно сильное увеличение обменной кислотности почвы, по сравнению с данными 1945 г. В опыте «балластные и безбалластные удобрения» сильное повышение обменной кислотности тоже отмечено в 1946 г. В 1947 г. для обоих опытов данные гидролитической кислотности

Таблица 7

Гидролитическая и обменная кислотность в мл 0.1 н NaOH на 100 г почвы и содержание в почве обменного алюминия в мг на 100 г почвы.
Полевой опыт «нитратный и аммиачный азот».
Средние данные для четырех повторностей

Варианты опыта на фоне PK	1945			1946			1947			1947		
	Травяное поле			Травяное поле			Травяное поле			Ржаное поле		
	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al	Кислотность		Обменный Al
	гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная		гидролитическая	обменная	
Фон (PK)	24.3	3.7	2.1	23.1	6.9	5.7	27.6	6.3	4.9	29.9	7.6	6.1
PK + навоз 40 т/га за севооборот	22.6	2.3	1.5	21.7	6.0	4.9	27.2	4.8	3.6	29.2	5.2	4.0
PK + $(NH_4)_2SO_4$ 150 кг/га за севооборот	26.7	5.1	3.6	26.1	7.9	6.7	33.0	10.3	9.9	35.9	13.2	11.5
PK + $(NH_4)_2SO_4$ 150 кг/га N + навоз 40 т/га за севооборот	27.8	5.6	4.1	27.4	8.5	7.2	30.1	7.5	6.6	34.5	9.9	8.1
PK + $NaNO_3$ 60 кг/га N за севооборот	22.9	3.8	2.5	23.3	6.7	5.5	27.4	6.9	6.1	27.6	5.6	4.6
PK + $NaNO_3$ 60 кг/га N + навоз 40 т/га за севооборот	21.1	2.2	0.9	21.0	5.5	4.8	26.5	4.8	4.2	30.2	5.3	4.0
$\pm m$	1.02	0.49	0.43	1.57	0.67	0.64	1.25	0.79	0.72	1.06	0.63	0.58

и обменной кислотности увеличиваются. Возможно, что эти изменения связаны с метеорологическими условиями года, большой сухостью почвы. Несмотря на расхождения по отдельным годам, во всех случаях внесение навоза дало уменьшение почвенной кислотности.

Так, если величина гидролитической кислотности, средняя за три года по PK, равняется 4.42 м-экв., обменная 1.015 м-экв. и обменный алюминий 4.4 мг на 100 г почвы, то в случае добавления навоза к PK мы имели величину гидролитической кислотности 4.21 м-экв., обменной 0.77 м-экв. и обменного алюминия 3.4 мг на 100 г почвы (табл. 8).

По вариантам PK + $(NH_4)_2SO_4$ 150 кг/га N величина обменной равнялась 1.435 м-экв. и обменного Al 7.0 мг на 100 г почвы, по вариантам PK + $(NH_4)_2SO_4$ 150 кг/га N + навоз мы имели величину обменной кислотности 1.33 м-экв. и обменного Al 6.2 мг на 100 г почвы. В том же направлении действовал навоз и по натронной селитре; так, по PK + + $NaNO_3$ величина гидролитической кислотности выразилась 4.3 м-экв., обменной 0.98 м-экв. и обменного Al 4.4 мг на 100 г почвы; по PK + + $NaNO_3$ + навоз величина гидролитической кислотности равнялась 4.09 м-экв., обменной кислотности 0.735 м-экв. и обменного Al 3.2 мг на 100 г почвы.

Уменьшение гидролитической кислотности под влиянием навоза произошло на 5%, обменной на 25% и обменного алюминия на 23%. По вариантам сульфата аммония не произошло уменьшения гидролитической кислотности, обменная кислотность уменьшилась на 8%, обменный алюминий на 12%. По натронной селитре гидролитическая уменьшилась на 5%, обменная на 25% и обменный алюминий на 28%.

Таблица 8

Кислотность почвы и содержание в ней обменного Al. Полевой опыт «нитратный и аммиачный азот». Средние данные за 1945—1947 гг.

Варианты опыта на фоне РК	Кислотность: гидролитическая (в м-экв. на 100 г почвы)	Кислотность: обменная (в м-экв. на 100 г почвы)	Обменный Al в мг на 100 г почвы	pH суспензии: H_2O	pH суспензии: KCl	Кислотность в относительных величинах: гидролитическая	Кислотность в относительных величинах: обменная	Кислотность в относительных величинах: обменный Al
Фон (РК)	4.42	1.02	4.4	5.72	4.63	100	100	100
РК + навоз 40 т/га за севооборот	4.21	0.77	3.4	5.68	4.57	95	75	77
РК + $(NH_4)_2SO_4$ 150 кг/га N за севооборот	5.09	1.44	7.0	5.50	4.32	100	100	100
РК + $(NH_4)_2SO_4$ 150 кг/га N + навоз 40 т/га за севооборот	5.09	1.33	6.2	5.53	4.50	100	92	88
РК + $NaNO_3$ 60 кг/га N за севооборот	4.30	0.98	4.4	5.68	4.40	100	100	100
РК + $NaNO_3$ 60 кг/га N + навоз 40 т/га за севооборот	4.09	0.74	3.2	5.80	4.56	95	75	72

Данные этого опыта, поставленного в травопольном севообороте с посевом клеверотимофеечной травосмеси на кислой почве, говорят за то, что внесение навоза в количествах 40 т/га за ротацию севооборота не может обеспечить полное устранение кислотности почвы и требует обязательного внесения извести. Подкисляющее действие сульфата аммония сильнее, чем нейтрализующее действие навоза. Применение кислых азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах в травопольных севооборотах, несмотря на внесение навоза в количестве 40 т/га, требует все же применения нейтрализаторов для устранения вредного подкисления почвы. При внесении навоза и сульфата аммония содержание активного алюминия в почве высокое, неблагоприятное для развития клевера, свеклы, пшеницы.

В опыте «дозы навоза на фоне извести» почвенная кислотность была устранена внесением извести; правда, известь в этом опыте вносилась в 1923 г., но нейтрализующее действие ее все еще сохранялось. Навоз в дозе 18 т/га за севооборот уменьшил величину гидролитической кислотности с 2,9 м-экв. по $CaCO_3$ до 2.5 м-экв. по $CaCO_3$ + навоз 18 т/га, что составляет 13%. Увеличение дозы навоза не сказалось на дальнейшем уменьшении гидролитической кислотности. Данные по кислотности почвы приведены в табл. 9 и 10.

Чтобы показать, что изменение кислотности почвы под влиянием навоза имеет существенное значение для растений, нами были поставлены вегетационные опыты на почвах двух севооборотов «балластные и безбалластные удобрения» и «навоз и минеральные удобрения». Культурой для опыта был взят ячмень «Винер», как растение чувствительное к кислотности почвы. Данные анализа почвы вегетационного опыта приведены в табл. 11.

Опыт проводился на фоне полного минерального удобрения в дозах N — 0.66 г, P_2O_5 — 0.75 г и K_2O — 1.0 г на сосуд емкостью 4225 г абсо-

Таблица 9

Гидролитическая и обменная кислотность в мл 0.1 н NaOH на 100 г почвы и содержание в почве обменного алюминия в мг на 100 г почвы. Полевой опыт «дозы навоза на фоне $CaCO_3$». Средние данные для четырех повторностей

Варианты опыта	1947, Травы I года, Кислотность: гидролитическая	обменная	обменный Al	1947, Травы II года, Кислотность: гидролитическая	обменная	обменный Al
Без удобрений	25.7	2.8	2.9	24.0	2.6	1.6
$CaCO_3$ 9 т/га	15.6	0.6	Нет	16.9	0.8	Нет
$CaCO_3$ + навоз 18 т/га за севооборот	13.1	0.6	»	15.4	0.6	»
$CaCO_3$ + навоз 36 т/га за севооборот	13.9	0.6	»	15.3	0.5	»
$CaCO_3$ + навоз 54 т/га за севооборот	13.5	0.6	»	15.0	0.6	»
$\pm m$	1.19	—	—	0.67	—	—

Таблица 10

Кислотность почвы и содержание в ней обменного алюминия. Полевой опыт «дозы навоза на фоне извести». Средние данные по двум полям севооборота за 1947 г.

Варианты опыта	Кислотность: гидролитическая (в м-экв. на 100 г почвы)	Кислотность: обменная (в м-экв. на 100 г почвы)	Обменный Al в мг на 100 г почвы	pH суспензии: H_2O	pH суспензии: KCl	Кислотность в относительных величинах: гидролитическая	Кислотность в относительных величинах: обменная	Кислотность в относительных величинах: обменный Al
Без удобрений	4.34	0.47	2.2	5.96	4.90	—	—	—
$CaCO_3$	2.85	0.12	Нет	6.6	5.48	100	100	100
$CaCO_3$ + 18 т/га навоза за севооборот	2.50	0.10	»	6.7	5.57	87	85	—
$CaCO_3$ + 36 т/га навоза за севооборот	2.55	0.08	»	6.7	5.70	89	71	—
$CaCO_3$ + 54 т/га навоза за севооборот	2.48	0.08	»	6.70	5.80	87	71	—

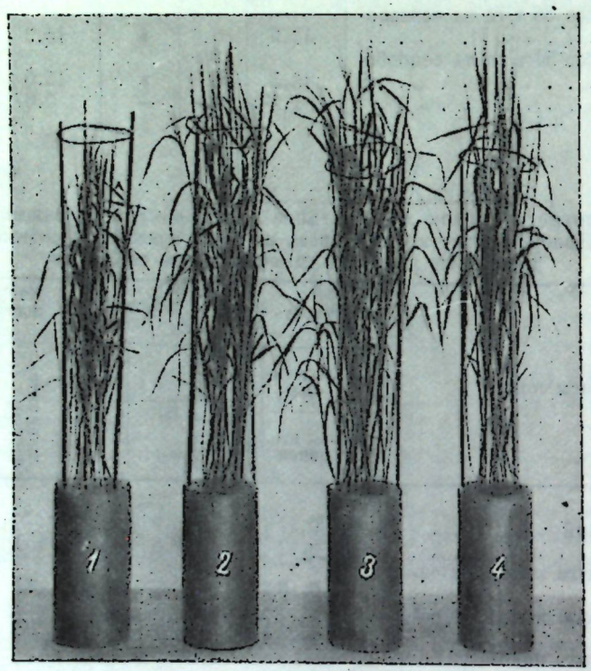
Таблица 11

Кислотность почвы и содержание в ней обменного Al в почвах вегетационного опыта 1949 г.

Полевой опыт	Варианты опыта	Кислотность: гидролитическая (в м-экв. на 100 г почвы)	Кислотность: обменная (в м-экв. на 100 г почвы)	Обменный Al в мг на 100 г почвы
Балластные и безбалластные удобрения	Без удобрений	5.49	2.34	9.9
	Навоз	5.58	1.48	5.5

лютно сухой почвы, на почвах полевого опыта «балластные и безбалластные удобрения» и в дозах N, P_2O_5 и K_2O по 0.5 г на сосуд емкостью 2.7 кг почвы в опыте «навоз и минеральные удобрения». Минеральные удобрения вносились в форме N — KNO_3 и NH_4NO_3, P_2O_5 — $Ca(H_2PO_4)_2$ и K_2O — KNO_3. Минеральные удобрения, внесенные в форме этих соединений, не вызывают изменения реакции почвы.

Большие дозы удобрений полностью обеспечивали развитие растений. Накопление в унавоженной почве азота, фосфора и калия не могло отразиться на результатах опыта, так как, как показали параллельные опыты без внесения удобрений, это накопление в унавоженных делянках во много раз меньше внесенных нами удобрений. В течение всего вегетационного периода растения находились в условиях оптимальной влажности почвы. Развитие ячменя в течение всего вегетационного периода



Действие навоза на развитие ячменя по фону NPK (почва из полевого опыта «балластные и безбалластные удобрения»).

1 — почва, не удобрявшаяся навозом; *2* — почва, удобренная навозом; *3* — почва известкованная, неудобренная навозом; *4* — почва известкованная, удобренная навозом.

как на почве опыта «балластные и безбалластные удобрения», так и на почве опыта «навоз и минеральные удобрения» отставало на почвах, не удобрявшихся навозом (см. рис.). На фоне $CaCO_3$, где почвенная кислотность устранена внесением извести, растения развивались одинаково как на почве безнавозной, так и на почве, получившей навоз. Урожайные данные по опытам приведены в табл. 12.

Таблица 12

Вегетационный опыт на почвах, взятых с унавоженных и неунавоженных делянок полевых опытов. Опытное растение — ячмень. Во все сосуды при набивке внесено NPK

Полевые опыты	Варианты полевого опыта	Урожай в г		Прибавки урожая от унавоживания почвы в полевом опыте	
		общий	верно	общий	верно
I. Балластные и безбалластные удобрения	Без удобрений	17.5	6.4	—	—
	Навоз	24.2	8.8	6.7	2.4
	$CaCO_3$	28.7	12.0	—	—
	$CaCO_3$ + навоз	28.7	12.3	0.0	0.3
II. Навоз и минеральные удобрения	Без удобрений	12.8	5.1	—	—
	Навоз	15.3	5.1	2.5	—

Урожайные данные показывают положительное действие навоза на развитие ячменя. Прибавка урожая на унавоженной почве выразилась в опыте «балластные и безбалластные удобрения» в +6.7 г на сосуд и в опыте «навоз и минеральные удобрения» в +2.5 г. При полной обеспеченности растений питательными веществами лучший рост ячменя по унавоженным делянкам главным образом был связан с меньшей величиной почвенной кислотности.

ВЫВОДЫ

1. Внесение навоза в дозах, реальных для хозяйственных условий полевой культуры (36—50 т/га за севооборот), оказывает заметное влияние на кислотность почвы и содержание в ней обменного алюминия.

2. Уменьшение гидролитической кислотности почвы при систематическом применении навоза в течение нескольких ротаций севооборота достигало 13%, обменная кислотность уменьшалась на 15—45% и количество обменного алюминия на 28—51%. Таким образом, систематическое внесение навоза определенно уменьшало вредное для растений содержание в почве обменной кислотности и обменного алюминия.

3. Уменьшение кислотности почвы при внесении навоза, однако, ни в одном опыте не было таким значительным, как при известковании почвы.

4. Внесение навоза уменьшало подкисление почвы, вызываемое применением сульфата аммония в дозе 150 кг/га N за шестипольный севооборот, но не могло устранить это подкисление полностью.

5. Наиболее чувствительным показателем для учета влияния навоза и других удобрений на кислотность почвы является обменная кислотность почвы и обменный алюминий.

6. Пестрота почвенных условий более сильно сказывается на обменной кислотности и обменном алюминии, вариационный коэффициент которых в 2—3 раза больше, чем для гидролитической кислотности.

7. Вегетационные опыты с ячменем подтвердили данные полевых исследований; при полной обеспеченности растений минеральными веществами ячмень на унавоженной почве развивался лучше, чем на почве, не удобрявшейся навозом.

ЛИТЕРАТУРА

Болотина Н. И. Почвенные условия для роста красного клевера (в настоящем томе).
Вильямс В. Р. Основы земледелия. Сельхозгиз, 1945.
Каппен Г. Почвенная кислотность. Сельхозгиз, 1934.
Карпинский Н. П. Характеристика почв и почвенное районирование дерново-подзолистой зоны в связи с химизацией. Вестн. с.-х. науки. Агротехника, вып. 5, 1940.
Соколов А. В. Об азотных удобрениях для песчаных почв. Тр. Полесской с.-х. оп. ст., т. III. Киев, 1929.
Соколов А. В. Составление схем полевых и вегетационных опытов и установление точности опытов. В кн.: Совр. агрохимические методы исследования почв, т. V, вып. 2, 1947. АН СССР.
Щерба С. В. Условия проведения и основные итоги опытов. Действие форм минеральных удобрений при их систематическом применении. Тр. НИУИФ, вып. 148. Сельхозгиз, 1941.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

И. Г. ВАЖЕНИН

О ПРИЧИНАХ РАЗЛИЧНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЛЕГКИХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

ВВЕДЕНИЕ

Калийные удобрения стали в настоящее время одним из мощных средств повышения урожайности всех основных сельскохозяйственных культур. Получение высоких урожаев хлопка на сероземах, цитрусовых и чая на красноземах, сахарной свеклы на черноземах, льна, картофеля и зерновых хлебов на подзолистых почвах невозможно без применения калийных удобрений.

Можно считать в основном решенным также и вопрос о наиболее эффективных формах калийных удобрений под различные культуры. Так, признано (Прянишников, 1940), что для большинства сельскохозяйственных культур концентрированные формы калийных удобрений (хлоркалий, нитрат калия, сульфат калия) эффективнее, чем сырые соли (сильвинит, карналлит и каинит) и 30—40% соли, изготовленные из хлоркалия и сырых солей. Только под некоторые корнеплоды, особенно под сахарную свеклу, установлена большая эффективность низкопроцентных солей. Из концентрированных форм калийных удобрений под некоторые растения, как то — табак, клевер, люпин, более эффективным оказывается сульфат калия.

Однако при критическом подходе к имеющимся в литературе материалам по сравнительной эффективности различных форм калийных удобрений нельзя не признать, что проблема эта далеко еще не решена — много остается еще невыясненного, а иногда и противоречивого.

Противоречивость имеющихся литературных данных может быть иллюстрирована хотя бы на примере с картофелем — культуре, имеющей большое народнохозяйственное значение и вместе с тем весьма нуждающейся в калии и весьма эффективно его использующей.

В большинстве работ указывается на преимущество сульфата калия перед хлоркалием и на неблагоприятное действие на урожай картофеля сырых солей.

Д. Н. Прянишников (1940) пишет: «Картофель чувствителен к форме калийных удобрений — он обнаруживает снижение крахмалистости от хлористых солей, поэтому применение низкопроцентных солей (как карналлита, каинита и сильвинита), содержащих большую примесь NaCl, является нежелательным для картофеля».

Бер (1947), основываясь на американских материалах, говорит: «Чаще всего применяются хлориды калия, которые, в общем, оказываются более эффективными в повышении урожая, чем другие калийные соли. Однако для некоторых культур, например, для табака, сахарной свеклы, картофеля, они нежелательны. При культуре свеклы большое количество хлора понижает процессы образования сахара, а при культуре картофеля — крахмала». У Таммана (1947) мы читаем: «...на легких почвах сульфат калия чаще эффективнее хлоркалия... В настоящее время можно утверждать, что сильвинит, как удобрение под картофель, является совершенно непригодным» (стр. 31). Также и Певзнер (1938) утверждает, что на тяжелом подзолистом суглинке «лучшей формой калийного удобрения под картофель, при длительном систематическом внесении, является сульфат калия и самыми худшими — сильвинит и карналлит».

На основании результатов 8—10-летних опытов Соликамской опытной станции на легких подзолистых почвах В. Н. Прокошев (1940) писал: «Под продовольственный и кормовой картофель с расчетом на одинаковую эффективность можно вносить как хлористый калий, так и 40% калийную соль (но не сильвинит)».

В ряде других работ, наоборот, отрицается преимущество сульфата калия перед хлоридами и доказывается высокая эффективность сырых солей. Так, например, Афанасьев (1937), обобщая материал опытов с картофелем (изучались хлориды различной концентрации K_2O), пишет: «Лучшей формой калия под картофель следует считать 40% калийную соль».

На основании опытов (НИУ) на различных почвах Васильков (1933) пишет: «...для льна и картофеля сильвинит занимает второе место после хлоркалия» и далее: «...можно сульфат калия считать равноценным с сильвинитом».

Согласно результатам опытов сети опытных станций (сводная работа Левицкого и Балашова, 1928) устанавливается, что «из форм на первом месте для клевера — сульфат калия, для большинства культур (в том числе и для картофеля.— *И. В.*) — калийная соль и зола». На песчаных почвах Новозыбковской опытной станции (Евстафьева, 1932) отмечено, что «сильвинит нисколько не уступает импортной калийной соли». И, наконец, Д. Н. Прянишников в своем курсе «Агрохимия» на стр. 361 приводит следующие средние цифры прироста урожая картофеля (на фоне NP) из опытов НИУ, показывающие значительное преимущество сырой соли (сильвинита) на подзолистых почвах (ц/га):

	KCl	K_2SO_4	40% соль	Сильвинит
Подзолы	17.5	16.6	19.3	26.1
Черноземы	14.3	13.8	14.5	10.7
Болотные почвы	68.5	53.7	—	31.6

Эффективность различных форм варьирует в зависимости от фона. *Так, в одногодичном* опыте Люберецкого опытного поля на песчаной дерново-*подзолистой* почве «сильвинит на кислом азотно-фосфорном фоне *действовал* на картофель хуже хлоркалия. На нейтральном фоне эффективность сильвинита приближалась к действию хлоркалия. По извести, *при* удобрении почвы органическим веществом, прибавки по сильвиниту *выше*, чем по хлоркалию» (Р. Ю. Бродская, 1941).

Аналогичное действие разных форм калийного удобрения отмечается *на* песчаной почве Полесской опытной станции в опыте 1933 г. На кислом *азотно*-фосфорном фоне эффективность отдельных форм выразилась возрастающим рядом: сильвинит — калийная соль — сульфат калия; на щелочном фоне, наоборот: сульфат калия — калийная соль — сильвинит.

В работе Рожалина и Киреи (1936) по отношению к почвам той же Полесской опытной станции доказывается обратное, т. е.; что сильвинит высоко эффективен на кислом NP фоне, а на щелочном фоне оказывает даже депрессивное действие.

Выводы, сделанные различными авторами об эффективности одних и тех же форм калийных удобрений, верны лишь для данных конкретных условий опыта. Ограниченность этих выводов обусловлена тремя основными причинами: во-первых, сложностью самой проблемы, во-вторых, краткосрочностью опытов и, в-третьих, ограниченностью сопутствующих методов исследования. Полевой опыт в лучшем случае сопровождался лишь простейшими агрохимическими исследованиями.

Трудность исследований зависит, в частности, от сложности химического состава удобрений, особенно сырых солей, в связи с рядом особенностей, возникающих при взаимодействии этих удобрений с почвой; отсюда еще более запутанная картина взаимодействия изучаемых удобрений с растением через почву. Картина взаимодействия: калийное удобрение — почва — растение усложняется еще более при учете других элементов агротехнического комплекса.

Для успешного решения задачи установления сравнительной эффективности различных форм калийных удобрений надлежит итти двумя путями: 1) изучать частные вопросы, т. е. расчленить проблему на отдельные вопросы, и 2) изучать проблему в целом, во взаимодействии всех элементов агротехнического комплекса, изучать динамическую систему удобрение — почва — растение.

Работ, в которых делается попытка расчленить изучаемые факторы эффективности различных форм калийных удобрений, пока еще очень немного.

Ниже мы остановимся вкратце на отечественных работах, посвященных данной проблеме.

Наиболее полно изучены вопросы о влиянии форм калия и отдельных компонентов калийных удобрений непосредственно на растение, в условиях вегетационного опыта. В этом отношении большая работа проведена лабораторией Д. Н. Прянишникова или под его руководством в других научно-исследовательских учреждениях. Однако эти исследования проведены главным образом с сахарной свеклой. Для этой культуры в значительной мере ясен вопрос: о значении натрия для урожая корней и накопления углеводов (Д. В. Дружинин, 1935; С. П. Молчанов, 1936; Д. М. Головко, 1938; В. Г. Швыденков, 1940); о влиянии магния (М. А. Егоров, 1936; И. С. Киселев, 1939; А. В. Владимиров, 1940) и анионов хлора и серной кислоты (А. Г. Шестаков, 1934; С. С. Баславская, 1936; В. Г. Швыденков, 1940); о значении соотношения катионов калия, натрия, магния и кальция в составе питательной смеси (А. Г. Шестаков, 1945; Н. С. Туркова, 1945); о влиянии формы азотистого фона на эффективность калийного удобрения (А. В. Владимиров, 1934 и 1944; Ф. В. Турчин, 1936). Основательно изучен вопрос о физиологической кислотности калийных солей (В. В. Буткевич, 1930; Д. Н. Прянишников, 1932; Б. А. Голубев, 1940). В монографических работах Турчина (1938), Щербакова (1938) и Владимирова (1948) дано обобщение исследований по физиологическому действию различных компонентов калийных удобрений на растения и сделаны практические выводы относительно использования калийных удобрений в сельском хозяйстве.

Совсем мало затронут изучением вопрос о влиянии различных калийных удобрений на почву. Кроме классических работ К. К. Гедройца (1929, 1932, 1933), посвященных влиянию на свойства почв и растений поглощенных оснований, в том числе натрия и калия, имеется всего лишь несколько работ по изучению влияния калийных удобрений на состав и состояние почвенного поглощающего комплекса (Е. А. Жориков, 1934; И. Г. Важенин, 1936; Л. В. Рожалин, 1936; К. Н. Керефов, 1936; А. А. Пчелин, 1941; Н. И. Горбунов, 1948) и на некоторые физические свойства почвы (Е. Н. Ратнер, 1935; И. Г. Важенин, 1938).

Совершенно не изучен вопрос о влиянии различных калийных удобрений на микробиологическую деятельность в почве. В. Р. Вильямс писал: «Никогда не следует упускать из виду, что мы обязаны посредством удобрений изменять реакцию почвы в сторону, благоприятную для культурных растений, создавать в почве условия, благоприятствующие жизни и деятельности полезных почвенных микроорганизмов, и подавлять деятельность вредных микроорганизмов» (Основы земледелия, стр. 196).

Расчлененное изучение проблемы дало возможность установить некоторые изменения физических, химических и биологических свойств почвы под влиянием удобрений и понять некоторые особенности питания ряда сельскохозяйственных культур.

Однако один аналитический метод тут недостаточен. Необходимо правильное сочетание аналитического и синтетического методов. В основу последнего должен быть положен полевой опыт, сопровождаемый комплексным исследованием, лабораторными и вегетационными методами.

Изучение эффективности удобрений в полевых условиях, процесса взаимодействия между удобрением, почвой, растением достигнет цели лишь в том случае, если, кроме учета урожая, процесс взаимодействия будет изучаться с точки зрения физиологии растений, биохимии, агрохимии и почвенной микробиологии.

Насколько нам известно, единственной попыткой такого комплексного изучения эффективности различных форм калийных удобрений является работа, проведенная на Соликамской сельскохозяйственной опытной станции. Настоящая статья посвящена изложению и обобщению результатов этой работы.

Ввиду чрезвычайной сложности такого исследования оно проводилось, по необходимости, в несколько упрощенном виде, а именно: на основе полевого опыта с картофелем на песчаной дерново-подзолистой почве. Особенностью опыта является то, что под бессменные с 1933 г. посадки картофеля ежегодно на одни и те же делянки вносятся одни и те же калийные удобрения, причем всегда в одинаковых формах и дозах.

В сельскохозяйственной практике монокультура картофеля не должна иметь места: «Непрерывная культура картофеля даже на высокоплодородных приусадебных землях, которые в течение многих лет получали большое количество навоза, неспособна обеспечить высокий уровень урожаев картофеля» (Якушкин, стр. 318). В то же время именно при монокультуре, при интенсивном и одностороннем взаимодействии в пределах ряда: удобрения — почва — растение наиболее полно и быстро могут быть выявлены особенности изучаемых удобрений.

В. Р. Вильямс (1941) писал: «В понятие об опытах включается исследование процесса при непременном требовании, чтобы все условия, при которых протекает исследуемый процесс, оставались неизменными, кроме одного, влияние которого на ход процесса исследуется, и чтобы все, что может мешать проявлению эффекта изучаемого условия, было устранено» (стр. 26).

В. Р. Вильямс отмечал далее, что создание таких условий затруднительно даже при вегетационном опыте. Тем более трудно выполнить это в условиях полевого опыта. Наш опыт поэтому является лишь максимально приближенным к подобного рода условиям.

Постоянно сопутствующими условиями опыта являются:

1) однообразная агротехника обработки почвы и ухода за растениями;

2) постоянный фон (форм и доз) азотистых и фосфорных удобрений;

3) одна и та же культура во все годы опыта (картофель);

4) песчаная почва,—очень бедная всеми питательными веществами и с ограниченным запасом почвенной влаги.

В полевых условиях реакция растения на изучаемые удобрения в конечном счете обусловлена не воздействием на растение определенных групп ионов удобрения, а алгебраической суммой разнообразнейших взаимодействий в пределах ряда: удобрение — почва — растение. Растение в полевом опыте является не только реагентом на воздействие удобрений, а также частью всей изучаемой системы.

В исследовании взаимодействия форм калийных удобрений с почвой и растением нами, кроме влияния удобрений на урожайность картофеля, изучалось:

1) влияние удобрений на физические, физико-химические и химические свойства почвы;

2) влияние удобрений на микробиологическую деятельность в почве;

3) влияние удобрений на химический состав картофеля и на углеводный и белковый обмен в растении;

4) влияние отдельных компонентов калийных удобрений, в том числе микроэлементов (бор, бром, иод, литий и др.), на рост и развитие растения;

5) влияние удобрений на активность ферментов в растении.

Изучение проблемы, таким образом, велось комплексно, с использованием методов почвоведения, агрохимии, физиологии растений и почвенной микробиологии.

Такое изучение, несмотря на ограниченность некоторых использованных методов исследования (мало изучена микробиологическая деятельность) и ряд методических отступлений (см. ниже), все же позволило сделать ряд весьма интересных и важных выводов.

В частности, в описываемом нами опыте на протяжении 17 лет отчетливо отражено изменение эффективности калийных удобрений. Концентрированные формы удобрений, высоко эффективные в первый год опыта, в последние годы уступили место сырым солям. На протяжении нескольких лет произошло изменение эффективности сульфата калия: выявилось резкое преимущество его перед хлоридами в первые годы опыта, одинаковая его эффективность через 5—10 лет опыта и, наконец, очень низкая эффективность в последние годы опыта.

Сопутствующими исследованиями установлена недопустимость перенесения выводов, основанных на результатах взаимодействия: удобрение — почва, на более сложную динамическую систему: удобрение — почва — растение. Так, например, наблюдающееся резко отрицательное действие сырых калийных удобрений на физические и физико-химические свойства почвы, снижающее ее плодородие, может не проявиться под растением, если суммарное взаимодействие всей системы в целом обеспечивает хорошее развитие растения.

Уже первое предварительное исследование микробиологии почвы показало, что при систематическом внесении в почву минеральных удобрений

не только изменяется количество микроорганизмов, но резко изменяется также качественный состав микрофлоры и микрофауны.

Таким образом, результаты проведенной работы подтверждают указание В. Р. Вильямса на необходимость изучения плодородия почвы комплексным методом и в неразрывной связи с растением.

Общие условия постановки полевого опыта

Полевой опыт заложен в 1933 г. Соликамской сельскохозяйственной опытной станцией. В опыте изучались следующие формы калийных удобрений: хлористый калий соликамский (59—62% K_2O), нитрат калия (46—48% K_2O), соликамский сильвинит (12—13% K_2O), 40% калийная соль на сильвините и карналлите, «электролит»[1] (42—47% K_2O) и хлористый натрий, вносимый в почву эквивалентно хлористому калию.

Средний химический состав удобрений представлен в табл. 1. Почва опыта — песчаная дерново-среднеподзолистая на флювиогляциальном песке. Подобные почвы широко распространены в подзолистой зоне.

Таблица 1

Средний химический состав и нормы внесения удобрений

Удобрения	Вносится кг/га в почву при дозе $N^{90}P^{90}K^{90}$					
	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	SO_4	Cl
Хлористый калий (61% K_2O) . . .	60	3	Очень	мало	—	50
40% соль на сильвините (40% K_2O)	60	25	Десятые доли		кг	80
Сильвинит (13% K_2O)	60	200	< 1	3	6	270
40% соль на карналлите (40% K_2O)	60	6	5	Десятые доли кг		90
Электролит (45% K_2O)	60	12	8	2	< 1	90
Карналлит (13% K_2O)	60	65	50	3	4	230
Хлористый натрий (экв. KCl) . . .	—	40	< 1	1	< 1	45
Нитрат калия (47% K_2O)	60	—	—	—	—	—
Сульфат калия (50% K_2O)	60	—	—	—	65	—
Суперфосфат (20% P_2O_5)	—	—	3	120	115	—
Известняк (45% CaO, 5% MgO)* .	—	—	10	90	2	—

* Молотый известняк или гашеная известь вносится эквивалентно аммиачной селитре.

Физические свойства почвы: высокая скважность и водопроницаемость, малая влагоемкость и гигроскопичность, слабая водоподъемная и водоудерживающая способность.

Физико-химические свойства: малая емкость поглощения и низкая насыщенность основаниями, очень малая буферность и относительно высокая кислотность; крайняя бедность всеми питательными веществами (N, P, K, Ca, Mg), как в почвенном растворе, так и в поглощенном состоянии, и высокая динамичность их в течение вегетационного периода.

[1] «Электролит» — отход магниевого производства, солевой остаток в ваннах после электролитического извлечения магния из расплава карналлита ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot H_2O$).

Агрохимические анализы почвы (залежь):

Гумус валовой . . . 0.917%; азот валовой 0.048%

Поглощенные основания (в м-экв. на 1 кг почвы):

Емкость поглощения . . .	29.9		
Кальций	13.2	Гидролитическая кислотность	25.0
Магний	2.9	Обменная кислотность	7.5
Калий	1.9	pH (KCl)	4.8
Натрий	1.4	Фосфорная кислота по Кирсанову . . .	1.3

Все эти свойства предопределяют относительно быстрое проявление результатов систематического воздействия вносимых минеральных удобрений на почву.

Выбор растения (картофеля) определялся тем, что картофель среди культур полевого севооборота обладает наибольшим выносом калия, с одной стороны, значительной чувствительностью к анионному составу удобрения, с другой. Поэтому на этой культуре скорее, чем на какой-нибудь другой, должно было проявиться различие реакции на изучаемые отдельные формы удобрений.

Азотно-фосфорный фон в процессе опыта был несколько изменен. До 1937 г. в качестве фона вносились суперфосфат и сульфат аммония в количестве 60 кг/га P_2O_5 и N, а с 1938 г.— суперфосфат и нейтрализованная известью амселитра в дозе 90 кг/га питательного вещества. Изменение азотного фона (амселитра вместо сульфата аммония) имело своей целью возможно более упростить условия опыта. При внесении аммиачного фона — сульфата аммония, благодаря различному действию вносимых калийных удобрений на нитрификационную деятельность, в почве создается неравенство условий в отношении образовавшихся в почве нитратов по различным формам калия, а поэтому применение аммиачно-нитратной формы азотистого удобрения (аммиачная селитра) являлось методически более правильным. Эта же цель — предупредить значительные изменения свойств почвы при внесении удобрений — преследовалась обязательным «известкованием» аммиачной селитры. Этим устранялось проявление физиологической кислотности амселитры (Д. Н. Прянишников, 1924; А. В. Владимиров, 1934; И. Г. Дикусар, 1934; Ф. В. Турчин, 1936) и, кроме того, вносился в почву кальций — катион, необходимый для нормального развития растений (М. К. Домонтович, 1923) и легко вымываемый из песчаных почв в результате декальцинирования поглощающего комплекса (И. Г. Важенин, 1936). Кроме азота и фосфора, в составе удобрений фона вносилось ежегодно около 120 кг SO_4 и до 15 кг/га магния.

Время внесения удобрений — весной, под вспашку, за 5—15 дней до посадки. Во всех руководствах (Д. Н. Прянишников, 1940; Е. Ф. Бер, 1947) постоянно подчеркивается, что сырые соли под картофель должны вноситься как можно раньше до посадки, желательно даже с осени. Внесение сырых солей перед посадкой влечет за собой не только резкое снижение процента крахмала, но обычно также и снижение урожая клубней. В нашем опыте внесением удобрений за несколько дней до посадки преследовалась цель поставить молодые растения в условия большего различия в солевом составе почвенного раствора, чем это было бы при внесении удобрений, например, с осени.

Агротехника в опыте. Зяблевая вспашка и весенняя перепашка с заделкой удобрений. Посадка картофеля под лопату по маркеру. Площадь питания 60×50 см. Сорт — до 1938 г. «Кореневский», а с 1939 г.— «Лорх». Норма посадки 1.9—2.0 т/га клубней при среднем весе клубня около 50 г. В большинстве лет посадка производилась яровизированными клубнями.

зированным картофелем. Уход заключался в 2-кратном рыхлении междурядий и 2-кратном же (вдоль и поперек поля) окучивании. Общая площадь делянки 75 м². Повторность 4-кратная. Контроль (NP) через две опытные делянки.

Методические отступления в опыте. До 1935 г. включительно вместо нитрата калия вносился калий «электролит», вместо вариантов сульфата калия и «электролита» вносился шламм (8—15% K_2O), а вместо хлористого натрия вносились шламм и отходы химической фабрики. Это предшествующее удобрение имеет существенное значение для вариантов с нитратом и сульфатом калия, что и будет учтено нами при изложении результатов опыта. Замена сорта «Кореневского» на «Лорх» не оказала существенного влияния на дальнейшие результаты опыта, так как оба эти сорта по реакции на калийные удобрения довольно близки между собою (А. Тамман, 1940). Замена сульфата аммония аммиачной селитрой и известкование тука также не изменили, во всяком случае не обострили реакции картофеля на изучаемые формы удобрений. Отметим также, что принятое в опыте соотношение доз питательных элементов N : P : K = 3 : 3 : 2 для картофеля следует считать неудачным. При дозах 90 : 90 : 60 кг/га действующего начала фосфора вносится излишнее количество, а в отношении калия растение выдерживается на «голодном пайке». Эта повышенная потребность в калии должна вести к нивелированию влияния отдельных форм удобрения, а также различий в эффективности.

Результаты многолетнего взаимодействия калийных удобрений с почвой

Систематическое внесение минеральных удобрений в песчаную подзолистую почву в количестве до 10 м-экв. солей на 1 кг почвы слоя 0—10 см ежегодно должно оказать определенное влияние на условия плодородия почвы, т. е. на физические свойства почвы; на структуру и состав почвенного поглощающего комплекса, на концентрацию и ионный состав почвенного раствора и, несомненно, в какой-то мере на энергию жизнедеятельности и групповой состав микроорганизмов в почве. Эти вопросы были нами подробно разобраны ранее (1936, 1939). В настоящей статье мы приводим лишь некоторые дополнительные относящиеся сюда аналитические материалы.

Физические свойства песчаных почв под воздействием калийных удобрений изменяются (по отношению к фону NP) в направлении:

а) Увеличения дисперсности почвенных микроагрегатов. В первые годы внесения удобрения, в особенности сырых солей, увеличивается количество частиц <0.01 мм. В последующие годы количество таких частиц в почве (по фону сырых солей) становится даже меньше при одновременном возрастании количества более мелких частиц (<0.001 мм) в пахотном слое. При господстве нисходящих токов влаги в песчаных почвах диспергирование влечет за собой обеднение пахотного слоя коллоидами.

б) Резкого уменьшения водопроницаемости в первые годы после внесения калийных солей. Определение водопроницаемости, произведенное на делянках разбираемого опыта на 15-й год внесения удобрений, показало вновь снижение водопроницаемости после внесения калийных солей всех видов.

в) Снижения воздухопроницаемости в пахотном слое почв в результате многолетнего внесения калийных солей. В последние годы опыта

сколько-нибудь значительных различий в отношении воздухопроницаемости после внесения различных форм калийных удобрений не отмечено.

г) По калийным удобрениям, особенно по сырым солям, влажность почвы и все виды влагоемкости несколько выше, чем по фону.

Установленные изменения физических свойств песчаных почв в результате систематического внесения калийных удобрений, особенно сырых солей, не имеют существенного влияния на водно-воздушный режим, в условиях которого развивается культура растения, но эти изменения могут очень сильно сказаться на микробиологической деятельности. Диспергирование микроагрегатов и вынос коллоидных частиц из пахотного горизонта представляют собой явление разрушения почвенного поглощающего комплекса. Но если по сырым солям получаются более высокие урожаи растений, чем по концентратам, т. е. если в почве образуется значительное количество корневых остатков, то в действительности мы по таким солям не наблюдаем ухудшения условий плодородия почвы, в том числе снижения емкости поглощения, в сравнении с тем, что мы видим в случае внесения концентрированных форм калийных удобрений.

Многолетнее внесение минеральных удобрений (NPK) значительно ухудшило физические свойства почв по сравнению с тем, что наблюдалось в целинной почве: снизилась молекулярная и полная влагоемкость, уменьшились воздухопроницаемость и водопроницаемость.

Физико-химические свойства иллюстрируются табл. 2, в которой приведены результаты определения поглощенных оснований в смешанных образцах почв с делянок полевого опыта.

Пробы почвы взяты 8 сентября 1946 г., т. е. через 14 лет после закладки полевого опыта (табл. 2).

В результате многолетнего землепользования без внесения органических удобрений резко снижается насыщенность почвы поглощенными основаниями, особенно магнием.

Следует иметь в виду, что содержание поглощенных оснований в пахотном слое почвы, помимо явления выветривания, зависит также от: 1) внесения этих катионов в составе удобрения, 2) выноса их из почвы растением, 3) вымывания осадками в глубину, 4) поднятия этих катионов в почвенном растворе и 5) обогащения пахотного слоя при разложении корней растений.

Из материала, приведенного в табл. 2, усматривается следующее.

1. При применении концентрированных калийных солей определяется поглощенного калия в верхних горизонтах больше по хлориду и меньше по сульфату калия, причем в нижних горизонтах картина обратная. По сырым солям, в целом по профилю, особенно при внесении карналлита, содержание поглощенного калия выше, чем по концентратам. Наибольшее обеднение верхних слоев калием наблюдается по хлористому натрию. Содержание поглощенного калия по отдельным вариантам опыта, как увидим далее, вполне соответствует получаемому урожаю картофеля и выносу калия этим урожаем.

2. Почва теряет кальций по всему профилю, причем больше всего она теряет по нитрату и меньше всего по сульфату калия; по сырым солям и хлористому натрию потеря кальция несколько меньше, чем по KCl и KNO_3, но все же значительно больше, чем по сульфату калия. Большее содержание в почве поглощенного кальция по сырым солям, чем по концентратам, кажется невероятным, так как известно, что декальцинирующее действие сырых солей (при одинаковой дозе K_2O) значительно выше, чем такое же действие концентратов.

Влияние калийных удобрений на катионный

(м-экв. на

Варианты \ Горизонты, см	Калий					
	0–10	15–25	30–40	50–60	80–90	110–120
Без калия (NP)	0.94	0.85	0.88	0.75	1.05	1.01
Хлорнатрий	0.61	0.53	0.62	0.72	0.82	—
Хлоркалий	1.40	0.81	0.64	0.89	0.41	0.41
Нитрат калия	1.62	1.19	0.60	0.73	0.83	0.59
Сульфат калия	1.18	0.77	0.57	0.56	1.00	0.80
Сильвинит	1.50	0.88	1.02	0.86	1.06	1.21
Карналлит	0.97	1.00	0.80	1.20	0.96	1.09
Без удобрения	0.97	0.90	0.88	0.79	1.12	0.92

Влияние калийных удобрений

(Обменная и гидролитическая

Варианты \ Горизонты, см	pH (KCl)					
	0–10	15–25	30–40	50–60	70–80	110–120
Без калия (NP)	4.5	4.6	4.7	4.8	4.7	4.6
Хлорнатрий	4.6	4.6	4.8	4.8	4.6	4.6
Хлоркалий	4.7	4.6	4.8	4.8	4.6	4.6
Нитрат калия	4.7	4.6	4.8	—	—	—
Сульфат калия	4.7	4.6	5.0	4.9	4.7	4.6
Сильвинит	4.7	4.6	5.0	4.8	4.7	4.6
Карналлит	4.7	4.6	5.0	4.8	4.7	4.6
Без удобрения	4.7	4.8	4.8	4.8	4.6	4.6

Относительно фона лишь по KCl, KNO_3 и карналлиту для слоя 15—25 и 30—40 см отмечается большее декальцинирование. В варианте «без удобрения» декальцинирование почвы наименьшее.

3. Содержание магния по всему профилю выше по сульфату калия и наименьшее по хлористому калию. Наибольшая же обедненность магнием — верхнего слоя почвы — по фону NP, а нижнего — по хлористому натрию. Обращает внимание относительно высокое содержание магния (наименьшие потери) по варианту «без удобрения».

К. К. Гедройц (1932) придавал большое значение отношению Ca : Mg для растений, считая, что «для максимального эффекта содержание обменного магния должно быть... примерно 20—40 единиц на 100 единиц обменного кальция».

Не приводя в таблице данных по поглощенному натрию вследствие общей малой достоверности проведенных анализов, все же отмечаем наибольшую обедненность поглощенным натрием верхних слоев почвы по варианту «без удобрения», а нижних по фону NP. По сырым солям отмечается значительное обогащение натрием по всему профилю и особенно по карналлиту (до 1.5 и 2.0 м-экв. в нижних горизонтах).

Таблица 2

состав почвенного поглощающего комплекса

1000 г почвы)

Кальций						Магний					
0–10	15–25	30–40	50–60	80–90	110–120	0–10	15–25	30–40	50–60	80–90	110–120
7.9	6.7	4.8	3.3	6.8	5.4	0.41	0.53	0.60	1.00	0.80	0.73
9.7	6.3	3.3	6.5	8.7	7.9	0.65	0.78	0.42	0.31	0.46	0.52
9.2	4.2	2.2	5.6	7.1	6.9	0.40	0.53	0.50	0.70	0.90	0.67
8.9	3.7	2.3	5.0	7.0	5.1	0.83	0.65	0.76	0.79	0.42	0.99
12.4	8.0	9.1	8.6	9.6	6.6	0.93	0.64	0.60	1.20	1.51	1.32
11.3	6.6	7.4	6.9	8.6	6.3	—	—	—	—	—	—
8.3	4.9	3.8	4.7	7.8	6.2	—	—	—	—	—	—
10.4	9.3	5.5	3.7	4.7	4.6	0.60	0.85	1.50	1.60	1.95	2.20

Таблица 3

на кислотность почвы

кислотность в м-экв. на 1000 г почвы)

Обменная кислотность						Гидролитическая кислотность					
0–10	15–25	30–40	50–60	70–80	110–120	0–10	15–25	30–40	50–60	70–80	110–120
11.0	10.5	4.2	3.9	6.9	18.3	27.5	27.1	17.9	17.1	19.9	27.0
11.4	10.3	8.4	4.0	12.7	14.5	25.1	26.1	22.6	18.5	23.8	23.6
8.6	10.3	6.5	3.7	9.1	15.8	24.7	26.0	19.2	15.7	19.0	23.6
9.0	11.1	4.2	—	—	—	28.0	29.2	20.1	—	—	—
7.8	9.9	2.1	2.8	5.9	16.8	24.8	26.2	16.6	16.3	21.2	25.7
5.9	7.6	2.7	4.3	7.8	14.9	23.3	23.9	17.1	16.7	20.9	24.4
7.2	9.1	2.8	5.5	9.3	15.8	24.1	25.2	17.6	17.5	21.0	23.2
7.2	4.5	4.3	6.0	15.5	21.7	24.3	22.7	18.9	18.7	26.9	30.4

В результате 15-летнего систематического внесения минеральных удобрений катионный состав почвенного поглощающего комплекса в различных вариантах опыта сильно изменился. Наиболее разнообразный состав поглощенных катионов оказался по сырым солям, т. е., как это принято считать, по наименее желательной форме калийных удобрений для легких подзолистых почв. Кажущееся противоречие между полученными аналитическими результатами и общеизвестными представлениями о взаимодействии форм калийных удобрений с почвой объясняется тем, что в данном случае это взаимодействие изучалось не изолированно: удобрение — почва, а в динамической системе: удобрение — почва — растение. Результаты анализов, как это мы увидим ниже, стоят в тесной связи с урожаями картофеля.

В этих же образцах почв определена кислотность (табл. 3).

Относительно фона сырые соли и сульфат калия несколько снизили обменную и гидролитическую кислотность. Хлористый калий и еще более азотнокислый калий несколько повысили величину кислотности. В первые годы опыта картина была иная: значительное увеличение кислотности по сульфату калия и небольшое повышение по сырым солям.

Микробиологическая деятельность. Средний групповой состав микроорганизмов в дерново-подзолистой песчаной почве (целина), согласно анализам, произведенным Институтом микробиологии АН СССР в 1946 г., следующий (в тыс. на 1 г почвы):

Бактерии		Актиномицеты		Плесневые грибы		Всего	
17 мая	10 авг.	17 мая	10 авг.	17 мая	10 авг.	17 мая	10 авг.
264	210	410	360	17	10	791	580

Отсюда видно, что песчаная почва очень бедна микроорганизмами. При компостировании в лабораторных условиях микроорганизмы такой почвы развивают по сравнению со связными почвами слабую деятельность. Аммонификаторы, нитрификаторы и целлюлозоразлагающие бактерии, как показали анализы, находятся в подавленном состоянии. Термофилы и азотобактер отсутствуют (Мишустин и Прокошев, 1949).

При длительном применении минеральных удобрений (NPK) происходит уменьшение неспороносных форм бактерий и актиномицетов и значительное увеличение количества грибов. Это явление, несомненно, связано с наблюдаемым в этом случае увеличением почвенной кислотности и подвижных форм алюминия, бедностью почвы энергетическим материалом и грубостью механического состава.

Систематическое внесение одних и тех же форм калийных удобрений, различных по своему составу, должно в какой-то мере также сказаться на составе и активности различных групп микроорганизмов. Это тем более вероятно, что различные формы удобрений оказывают различное влияние не только на физические и физико-химические свойства почвы, но, как мы увидим, на развитие растений. Развитие же подземной и надземной частей растения оказывает очень большое влияние на количественный групповой состав микроорганизмов (В. Чесноков, 1934; Н. А. Красильников, 1941).

Исследованиями, произведенными нами в 1949 г., установлено, что деятельность аммонификаторов и целлюлозоразлагающих бактерий, как и общая микробиологическая активность, определяемая по количеству продуцируемой почвой углекислоты, значительно выше на делянках, удобряемых сырыми солями, особенно карналлитом.

Более обширными материалами мы располагаем в отношении изучения влияния форм калийных удобрений на нитрификационную и аммонификационную деятельность в почве в лабораторных условиях.

Литература и по этому вопросу бедна. Из прежних работ известно (Г. Кулик, 1931; Ф. В. Турчин, 1931), что особенно сильно подавляют нитрификационную способность высокие дозы хлоридов. Токсическое действие хлора, согласно этим данным, значительно сильнее, чем иона SO_4. В наших исследованиях по определению нитрификационной способности (по Ваксману) для песчаных почв характерным является значительное снижение количества нитратов при систематическом внесении аммиачного азота. Очевидно, вследствие незначительной емкости поглощения большое количество аммония оказывается в этом случае в составе почвенного раствора. Свободный аммоний и активированный удобрениями алюминий, как известно (Д. Н. Прянишников, 1924; Н. Н. Худяков, 1926; Э. Д. Рессель, 1936), оказывают неблагоприятное действие на нитрификацию.

Влияние разных калийных удобрений характеризуется, в основном, следующими моментами:

1. Сырые калийные соли в год их внесения оказывают отрицательное действие на нитрификацию и аммонификацию азота в почве. Это отрицательное действие сказывается сильнее всего непосредственно после внесения этих удобрений и ослабевает с течением времени.

2. Из компонентов сырых солей наибольшей токсичностью обладает хлористый магний, меньшей — хлористый калий и почти не оказывает токсического действия хлористый натрий.

3. Неблагоприятное действие на нитрификацию различных анионов, что имеет место при высоких дозах солей, выражается в возрастающем ряде: $Cl < SO_4 < HCO_3$.

4. Через год — два и более после внесения калийных удобрений аммонификация и нитрификация протекают энергичнее на делянках, удобренных ранее сырыми калийными удобрениями.

Резюмируя изложенное выше, мы приходим к выводу, что минеральные удобрения при систематическом многолетнем их внесении действуют на физические и физико-химические свойства почвы, а также на микробиологическую деятельность в ней в общем неблагоприятно.

Результат изучения взаимодействия разных форм калийных удобрений с почвой будет совершенно различным в зависимости от того, изучается ли это взаимодействие в почве без растения или в почве под растением. В первом случае сырые соли особенно отрицательно влияют на изучаемые свойства, а во втором — физические и физико-химические свойства почвы и микробиологическая деятельность в ней по сырым солям оказываются даже лучшими, чем по концентрированным формам калийных удобрений.

Таблица 4

Химический состав ботвы картофеля с делянок опыта поля № 45

(в % на воздушно-сухую массу)

Урожай 1946 г.

Варианты	Удобрение								
	N	P_2O_5	SO_4	Cl	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3
Без удобрения . . .	0.82	0.16	0.14	0.11	0.62	0.04	0.91	0.09	0.03
NP — фон	1.74	0.45	0.10	0.12	1.04	0.08	1.32	0.20	0.07
Хлоркалий	1.05	0.40	0.15	0.39	2.69	0.09	2.44	0.06	0.05
Нитрат калия . . .	1.64	0.29	0.10	0.10	2.27	0.12	1.71	0.07	0.03
Сульфат калия . . .	1.07	0.32	0.39	0.13	2.79	0.13	0.99	0.12	0.04
Сильвинит	1.15	0.43	0.18	0.75	1.95	0.63	2.84	0.17	0.07
Карналлит	1.17	0.40	0.19	0.67	2.13	0.23	1.73	0.77	0.05
Хлорнатрий	1.18	0.42	0.13	0.29	1.57	0.28	2.61	0.14	0.04

В табл. 4 приведен химический состав ботвы (смесь листьев, стеблей и корней) картофеля урожая 1946 г. Растения были сняты в августе. Из таблицы следует, что химический состав ботвы в значительной мере отражает химический состав удобрения и находится в определенной связи с составом ионов в почвенном поглощающем комплексе. Содержание

Достоверность прибавок клубней карто

Варианты	1933		1934		1935	
	приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m
Хлорнатрий	(19.0)	4.5	(56.1)	13.9	(88.5)	11.4
Хлоркалий	19.8	12.0	35.7	12.1	68.2	1.1
40% кал. соль на сильвинит	— 1.2	7.7	28.3	10.6	62.6	20.8
Сильвинит	2.1	1.6	45.0	18.0	87.2	14.1
40% соль на карналлит	9.1	5.2	49.8	12.1	69.3	12.8
Электролит	14.7	7.7	58.7	16.3	87.6	6.3
Карналлит	2.7	3.7	45.8	13.8	93.4	5.5
Нитрат калия	(17.5)	9.7	—	—	(85.3)	9.4
Сульфат калия	(20.7)	6.3	(62.3)	4.1	87.9	16.2
Без удобрения	—43.3	7.7	—43.2	8.4	—54	15.5
Средняя прибавка от калия	10.7	—	46.4	—	80.2	—
То же в % к фону	5.5	—	47.0	—	55	—

Варианты	1941		1942		1943	
	приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m
Хлорнатрий	37.9	5.8	78.0	33.0	18.5	13.3
Хлоркалий	9.3	5.4	28.3	14.9	27.1	6.4
40% кал. соль на сильвинит	32.2	12.4	18.6	7.1	39.2	30.2
Сильвинит	38.2	15.6	55.9	15.2	70.6	18.4
40% соль на карналлит	39.9	15.9	34.4	6.8	51.3	32.4
Электролит	42.6	6.1	110.0	36.6	106.5	24.0
Карналлит	42.7	13.1	143.7	23.5	115.9	12.3
Нитрат калия	48.5	6.5	106.5	1.7	98.1	16.8
Сульфат калия	64.3	9.4	169.7	20.2	118.9	9.7
Без удобрения	—13.5	9.5	—14.9	7.0	—10.7	9.4
Средняя прибавка от калия	39.7	—	83.3	—	78.4	—
То же в % к фону	96	—	169	—	144	—

анионов Cl, N, SO_4 и PO_4 тем выше, чем больше их содержится в составе удобрения. Несмотря на то, что в состав суперфосфата (фона) вносится большое количество серной кислоты в форме гипса, содержание SO_4 в ботве по сульфату калия в 2—3 раза выше, чем по другим вариантам калийных удобрений. В данном случае, следовательно, имеет значение не только общее количество внесенной SO_4, но и сопряженность иона SO_4 с тем или иным катионом. В сочетании с калием, катионом, в котором очень высока потребность растения (по фону NP), ион SO_4 поступает в растение быстрее и больше. Содержание калия в ботве по сырым солям несколько ниже, чем по концентратам; содержание натрия, магния и железа, наоборот, выше. Обращает на себя внимание чрезвычайно низкое содержание магния по хлористому калию и нитрату калия. Несомненно, растения в этих вариантах и в меньшей мере в других, кроме карналлита, находятся в состоянии магниевого голодания.

Таблица 5

феля в полевом опыте поля № 45 (ц/га)

1936		1937		1938		1939		1940	
приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m
16.5	5.8	21.0	4.8	15.9	5.9	20.0	2.5	11.8	5.7
29.7	5.7	51.1	11.2	34.4	8.0	51.1	22.6	57.8	14.3
41.7	6.3	74.1	14.8	52.2	11.7	93.6	13.3	42.1	8.1
39.2	13.2	63.9	3.4	66.6	23.1	114.0	11.7	59.9	15.1
41.7	6.3	73.5	14.2	57.6	24.4	94.7	15.2	52.6	16.5
43.2	6.4	93.5	11.0	55.7	8.6	137.6	15.7	59.4	6.4
28.9	11.8	77.1	7.6	52.9	9.9	130.3	11.9	58.8	9.2
61.2	11.0	76.5	4.5	63.6	12.2	132.4	6.4	80.8	9.4
75.3	14.4	105.1	9.3	76.4	9.2	159.9	7.3	97.0	17.8
5.1	4.4	—24.8	5.8	—3.1	3.3	—22.2	9.1	—6.5	3.2
45.1	—	76.8	—	57.4	—	114.1	—	63.6	
87	—	85	—	116	—	156	—	149	—
									—

Таблица 5 (продолжение)

1944		1945		1946		1947		1948	
приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m	приб.	± m
18.7	9.3	20.6	5.0	19.1	4.9	12.8	3.2	5.3	2.4
—18.7	3.2	33.8	7.7	—3.1	2.2	12.1	10.2	6.6	6.2
9.4	30.2	49.4	34.5	25.4	17.3	33.0	20.9	7.1	17.7
—24.3	13.2	93.2	19.9	75.3	12.6	54.3	12.4	53.0	7.2
— 5.8	4.6	48.8	29.4	113.0	25.9	90.9	22.0	89.2	10.3
53.2	23.4	107.4	14.2	116.7	16.5	72.6	16.0	43.4	16.3
50.6	26.5	98.4	19.5	141.1	7.6	94.5	8.4	116.0	4.6
25.2	9.4	59.0	12.9	37.5	21.2	20.0	7.3	—5.0	13.9
68.2	16.7	108.5	20.3	59.2	7.2	46.7	5.5	34.1	7.5
—11.6	6.5	—15.1	5.8	—9.6	9.6	10.0	2.7	—23.7	1.0
26.0	—	74.8	—	70.6	—	53.0	—	43.0	—
63	—	157	—	148	—	239	—	82	—

Сравнительное действие форм калийных удобрений на урожай картофеля

Результаты учета урожая клубней картофеля за 16 лет опыта приведены в табл. 6. Урожаи вычислены по прибавкам от калийных удобрений по отношению к контролю. Урожай фона — средний по всему опыту.

Прежде чем перейти к оценке действия различных форм калийных удобрений, мы в табл. 5 приводим квадратические ошибки прибавок урожая, вычисленные по формуле:

$$\pm m = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}},$$

где m — квадратическая ошибка прибавок урожая клубней; Σv^2 — сумма квадратов от среднего по варианту; n — число повторностей в опыте.

Влияние форм калийных удобрений

Варианты	Урожай клубней в ц/га									Урожай за 16 лет		
	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	Сумма за 16 лет	Средний ц/га	Средний %
Без калия (NP)	194.4	97.8	144.3	51.9	89.4	49.2	73.9	42.6	40.8	49.2	54.5	41.3	41.7	47.7	22.2	52.5	1093	68.3	100
Хлорнатрий	213.4	153.9	232.8	68.4	110.4	65.1	93.9	54.4	78.7	127.2	73.0	60.0	62.3	66.8	35.0	57.8	1553	97.0	142
Хлоркалий	214.2	133.5	212.5	81.6	140.5	83.6	125.0	100.4	50.1	77.5	81.6	22.6	75.5	44.6	34.3	59.1	1537	96.0	140
40% соль на сильвините	193.2	126.1	206.9	93.6	163.5	101.4	167.5	84.7	73.0	67.8	93.7	50.7	91.1	73.1	55.2	52.5	1694	105.9	155
Сильвинит	196.5	142.8	231.5	91.1	153.3	115.8	187.9	102.5	79.0	105.1	125.1	—	134.9	123.0	76.5	105.5	1970	131.3	192
40% соль на карналлите	203.5	147.6	213.6	93.6	162.9	106.8	168.6	95.2	80.7	83.6	105.8	35.5	90.5	160.7	113.1	141.7	2003	125.2	183
Электролит	209.1	156.5	231.9	95.1	182.9	104.9	211.5	102.0	83.4	159.2	161.0	94.5	149.1	164.4	94.8	95.9	2296	143.5	211
Карналлит	197.1	143.6	237.7	80.8	166.5	102.1	204.2	101.4	83.5	192.9	170.4	91.9	140.1	188.8	116.7	168.5	2386	149.1	218
Азотнокислый калий	211.9	—	229.6	113.1	165.9	112.8	206.3	123.4	89.3	155.7	152.6	66.5	100.7	85.2	42.2	47.5	1903	126.9	186
Сернокислый калий	215.1	160.1	232.2	127.2	194.5	125.6	233.8	139.6	105.1	218.9	173.4	109.5	150.2	106.9	68.9	86.6	2448	153.0	224
Без удобрения	151.1	54.6	90.3	57.0	64.6	18.2	51.7	36.1	27.3	34.3	43.8	29.7	26.6	38.1	32.2	28.8	784	49.0	72

Для полевого опыта можно принять, что достоверность полученной прибавки урожая M доказана, если она превышает величину m по меньшей мере в два раза, т. е. $M : m > 2$.

В некоторых вариантах опыта, как это видно из табл., 5 достоверность получаемых прибавок является сомнительной. Это обусловлено, в основном, значительной микропестротой плодородия почвы поля. Поле это расположено на верхней трети склона в ЮЗ направлении. Угол наклона до 10—15°. В верхней части поля глубина залегания водонепроницаемого суглинка 2.0—2.5 м, а в нижней части 1.10—1.20 м. Таким образом, водно-воздушный режим на делянках нижней части поля при близком механическом составе значительно лучше, чем в верхней. Поэтому за все годы опыта средняя урожайность на делянках нижней части поля оказалась значительно выше, чем на верхней.

Так как все варианты опыта находятся по отношению к установленной пестроте плодородия почвы и метеорологическим факторам в одинаковых условиях, то полученные цифры урожаев вполне сравнимы.

Значительную пестроту вносят в урожайность метеорологические условия. В некоторые годы, как, например, в 1944 г., выделяющемся очень большим количеством осадков за вегетационный период, при относительно низкой средней температуре, средние прибавки урожая от калийных удобрений были крайне низки. Во все остальные годы урожайность картофеля очень хорошо коррелирует с количеством осадков за вегетационный период и, еще более, с гидротермическим коэффициентом.

Отчетливо выражена большая пестрота урожайности картофеля в военные годы (1941—1945), что связано главным образом с резко ухудшившейся агротехникой.

Имеется указание (Н. В. Маврицкий, 1936), что отдельные сорта картофеля реагируют на удобрение по-разному. Это подтверждается также и работой госсортоучастка при Соликамской сельскохозяйственной опытной станции. Но по отношению к формам калия эти различия (реакция различных сортов картофеля на удобрение), повидимому, незначительны. В описываемом опыте картина эффективности различных форм калийных удобрений в отношении различных сортов картофеля одинаковая.

Таблица 6

на урожай клубней картофеля

В табл. 5 очень рельефно выражено значение формы удобрений на устойчивость получаемых прибавок. Так, по сульфату калия за все годы опыта прибавки картофеля вполне достоверны. Лишь в последние 3 года мало достоверными оказываются прибавки от нитрата калия. По карналлиту достоверность прибавок в последние годы даже возросла. Наконец, наименее достоверны прибавки на протяжении всех лет опыта по хлористому калию и 40% соли на сильвините. Сильвинит и высокопроцентные соли на карналлите занимают среднее положение между указанными выше двумя группами удобрений.

Для удобства анализа материала ниже (на рис. 2, 3 и 4), мы рассматриваем результаты опыта по отдельным группам калийных удобрений: 1) концентраты: KCl, KNO_3 и K_2SO_4; 2) натрийсодержащие удобрения и 3) магнийсодержащие удобрения. Кроме того, чтобы несколько сгладить пестроту урожаев, вызванную в основном метеорологическими условиями, мы будем пользоваться средними данными за два года.

На рис. 1 представлены урожаи по вариантам: NP — фон, «без удобрения» и средний урожай по всем формам калийных удобрений. Абсолютные урожаи, как видим, на протяжении опыта снижаются. По фону и «без удобрений» на 7 — 8-й год опыта урожаи упали до своего минимума. Получается четко выраженная вогнутая кривая урожайности, которая мало изменяется в дальнейшем. Отсутствие калия снизило урожаи по фону почти до уровня урожая неудобренного варианта. Снижение урожаев по NPK идет значительно медленнее. Вследствие этого по отношению к фону (график справа) прибавки урожая клубней от калия с 20—50% в первые годы опыта увеличиваются, начиная с 7 — 8-го года, до 100—150%.

Но суммарный урожай по NPK, показывая очень высокую эффективность калийных удобрений на песчаной почве, вместе с тем заслоняет собой факт совершенно различной эффективности изучаемых отдельных форм калийных удобрений.

По всем формам концентратов калийных удобрений (рис. 2) наблюдается непрерывное снижение урожая. Но в результате того, что, начиная с 7—8-го года опыта, урожаи по фону «стабилизируются», а по NPK продолжают снижаться, кривая относительных урожаев (в % к фону),

оказывается выпуклой. Различие между формами калийных удобрений заключается, как видим, в уровне этой кривой, определяемом абсолютной величиной урожая. Из графика (рис. 2) с очевидностью следует, что в ближайшие годы урожаи по нитрату калия, а позднее и по сульфату калия снизятся до уровня урожаев по хлористому калию в настоящее время, т. е.

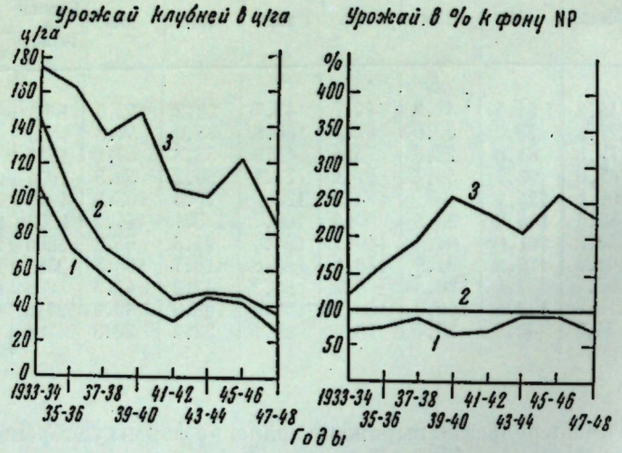


Рис. 1. Эффективность минеральных удобрений при бессменной культуре картофеля

1 — без удобрения (о); *2* — фон NP (Ф); *3* — NP + K.

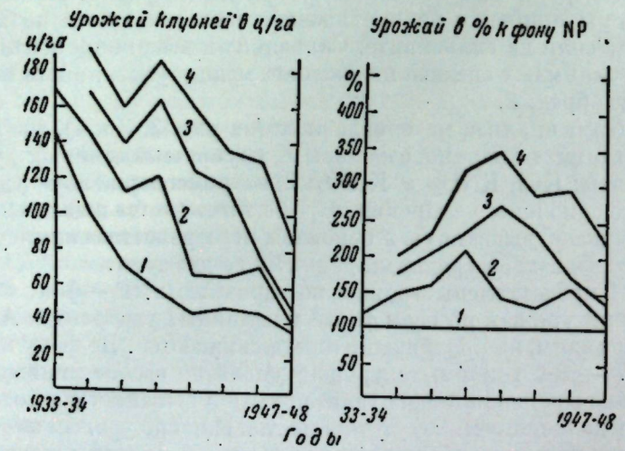


Рис. 2. Эффективность концентрированных калийных удобрений на картофеле

1 — фон NP (Ф); *2* — хлористый калий (x); *3* — нитрат калия (N); сульфат калия (S).

не только исчезнет положительное действие калийных удобрений, но и появится депрессивное влияние их на урожай. На урожае по хлористому калию это последнее сказалось раньше, потому что уровень абсолютных урожаев по нему был наименьшим, а также еще и потому, что нитрат и сульфат калия вносились в опыте тремя годами позже (см. выше).

Чем объясняется различный уровень урожая по трем изучаемым формам калийных удобрений? Различия в примененных формах заключаются

в отсутствии хлора по нитрату и сульфату калия. Отсюда следует сделать тот вывод, что хлор даже в небольших количествах является нежелательным элементом для картофеля. Рессель (1936) отмечает: «В более значительных количествах, однако, ион хлора становится вредным для всех культур, в особенности для картофеля...» (стр. 97). А. В. Соколов (1937), на основании работ Д. Н. Прянишникова и других ученых, говоря о неблагоприятном действии хлора на некоторые чувствительные к нему растения (лен, картофель, гречиха и др.), констатирует ряд отрицательных явлений: усиленное поступление в растение хлора и сопряженных с ним оснований, особенно аммония и кальция, а в связи с этим — повышение осмотического давления клеточного сока; уменьшение образования органических кислот и связывание их в нерастворимые соли (с кальцием); изменение набухаемости и проницаемости плазмы; снижение содержания органических кислот, приводящее к уменьшению сопротивляемости растений к вредному действию избытка аммония.

Отличие варианта с нитратом калия заключается в уменьшении примерно на 10 кг/га количества вносимого аммония. Большого значения для урожая картофеля это, очевидно, не имеет. Преимущество перед хлористым калием объясняется, очевидно, отсутствием хлора в удобрении. Преимущество же сульфата перед нитратом калия скорее может быть отнесено на счет положительного действия, сопряженного с калием иона серной кислоты (Прокошев, 1941). Это положительное действие сказалось и непосредственно на самом растении, обусловив высокое содержимое в нем иона SO_4 (табл. 4), и на результате взаимодействия его с почвой, снизив, например, потерю последней щелочноземельных оснований.

Из результатов полевого опыта следует, что 1) хлор является совершенно нежелательным компонентом удобрения под картофель; 2) лучшей формой калийных удобрений под картофель является сульфат калия, а затем нитрат калия.

Чем, однако, объяснить непрерывное снижение урожаев клубней картофеля по всем формам концентратов калийных удобрений? Причины могут быть тут двоякого рода: либо в результате систематического внесения минеральных удобрений ухудшились почвенные условия произрастания растения (ухудшение водно-воздушных свойств, изменение в неблагоприятную сторону реакции среды, угнетение микробиологической деятельности и т. п.), либо на протяжении опыта нарастал дефицит растений в тех или иных факторах развития и роста их.

Из сказанного ранее следует, что в результате взаимодействия концентрированных форм калийных удобрений с почвой существенного ухудшения основных свойств почвы не произошло.

Прежде чем попытаться объяснить это явление, рассмотрим результаты опытов с другими формами калия. На рис. 3 приведены графики урожаев по различным хлоридам. Прежде всего обращает на себя внимание кривая урожая по сильвиниту. Урожаи за первые 6—7 лет опыта с картофелем по этому удобрению были на уровне урожаев его по хлористому калию. Но в дальнейшем отчетливо выступило преимущество сильвинита не только перед хлористым калием, но даже перед сернокислым калием.

Лучшее действие сильвинита по сравнению с хлористым калием было отмечено за последние годы также и на песчаной почве Люберецкого опытного поля НИУИФ.

Чем объяснить это явление? В составе сильвинита в почву вносится хлора в 4.5 раза больше, чем с хлористым калием, и кроме того значительное количество натрия. Систематическое внесение сильвинита, как мы уже отметили выше, не оказывает благоприятного действия на основные

свойства почвы (И. Г. Важенин, 1936), а большое количество поступающего в растение хлора является уже безусловно отрицательным фактором. Поэтому приходится допустить, что сильвинит оказывает на растение какое-то положительное действие, помимо оказываемого содержащимся в нем калием. Это положительное действие настолько значительно, что оно пересиливает суммарное действие отрицательных факторов (главным образом хлора).

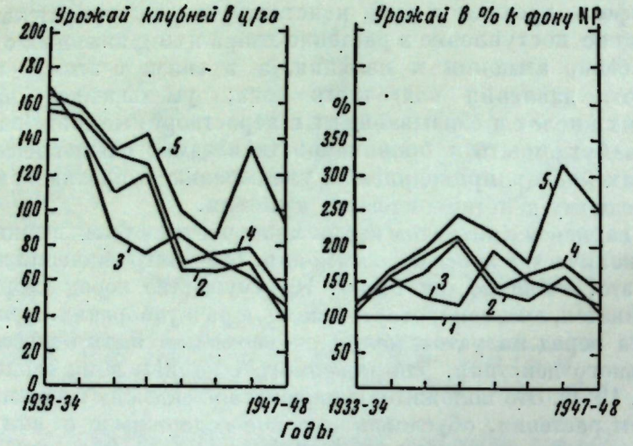


Рис. 3. Эффективность хлоридов калия на картофеле

1 — фон NP (ф); *2* — хлоркалий (х); *3* — хлорнатрий (н); *4* — 40% соль на сильвините (хс); *5* — сильвинит (с).

Спрашивается, не обусловлено ли положительное влияние сильвинита содержащимся в нем натрием? Из результатов опыта видно (табл. 6), что действие хлористого натрия по своей эффективности близко к действию хлористого калия, а в последние годы даже выше его. Положительная роль вносимого натрия, следовательно, очевидна. Еще в опытах 1912 г. И. В. Якушкин установил благоприятное действие на урожайность проса и льна сульфата натрия, вносимого в виде дополнения к нормальной питательной смеси при выращивании означенных культур на песчаных почвах. Многочисленными опытами доказано несомненное положительное значение частичной замены калия натрием для урожая сахарной свеклы (М. А. Егоров, 1923 и 1936; Д. В. Дружинин, 1935; А. В. Владимиров, 1940). С. П. Молчанов (1936) считает, что и для льна «натрий играет в метаболизме... самостоятельную роль, независимо от калия, и выполняет какие-то, пока нам неизвестные функции, которых калий выполнять не может» (стр. 10). Все же большинство исследователей считает, что «натрий обнаруживает полезное косвенное действие» (Д. Н. Прянишников, 1940, стр. 78), главным образом обеспечивая более производительное использование калия растением. Поэтому принято считать, что «соли натрия можно с большим успехом употреблять в качестве удобрения всюду, где в почве наблюдается недостаток калия» (Э. Д. Рессель, 1936, стр. 90).

Вегетационный опыт по изучению влияния на урожай картофеля частичной замены калия натрием был проведен нами в 1948 г. Железные сосуды, емкостью 32 кг почвы, были набиты песчаной почвой, взятой с опытных делянок «без удобрений». Опыт проведен по двум сериям: фон азота аммиачный (мочевина) и нитратный (азотнокислый кальций). Фосфор в виде $Ca(H_2PO_4)_2$. Калий в двух формах KCl и K_2SO_4. Кроме N, P и K, внесен еще и магний в форме $MgCO_3$. Дозы удобрений на сосуд:

по 3 г N и P_2O_5, 4.5 г K_2O и 1.0 г MgO. По схеме опыта вместе с хлористым калием внесен хлористый натрий эквивалентно $^1/_4$, $^1/_2$ и $^3/_4$ от суммы хлорида. Сульфат калия был заменен сульфатом натрия только в одном варианте — в отношении 1 : 2. В опыте введен вариант смеси хлористого калия и сильвинита в эквивалентах $^1/_2 + ^1/_2$. Удобрения (N и P в растворах, K и Mg в сухих солях) перед набивкой были тщательно перемешаны с 25 кг почвы. После набивки почвы с удобрениями в сосуды было внесено дополнительно еще по 3 кг исходной почвы без удобрений. В эту неудобренную почву произведена посадка 3 экземпляров рассады картофеля. Рассада выращивалась из этиолированных ростков, снятых с крупных клубней картофеля сорта «Лорх» в ящиках с песком. Высадка была произведена, когда рассада достигла длины 6—8 см и на верхушках растений появилась розетка из маленьких листочков. В дальнейшем, по мере роста растений, два раза производилась донабивка сосудов: один раз 2 кг исходной почвы и один раз 2 кг песка. Полив производился простой водой до 60—70% от полной влагоемкости почвы. Повторность 3-кратная. Высадка рассады произведена 11 июня, уборка 13 сентября. Через 6 дней после закладки опыта реакция среды (pH почвы) была: по аммиачной серии 7.2—7.6, а по нитратной 6.2—6.5.

Наблюдения за подопытными растениями показали различные рост и развитие ботвы картофеля в отдельных сериях опыта. Высота растений и облиственность куста в фазах бутонизации и цветения в аммиачной серии были значительно большими, чем в серии нитратной. Цветение наступило раньше в аммиачной серии. Окраска листьев по хлоридам в серии аммиачной — желто-зеленая, а в нитратной — нормально зеленая. При этом чем большей была доза натрия в смеси, тем в аммиачной серии более интенсивной была желтая окраска листьев. В серии нитратного азота, с увеличением дозы натрия, цвет зелени даже становился несколько интенсивнее. Окраска листьев по сульфатам в обеих сериях густозеленая, причем в аммиачной серии даже интенсивнее, чем в нитратной. Различия по вариантам опыта в развитии куста в аммиачной серии значительные, а в нитратной — небольшие. К концу цветения в аммиачной серии в варианте $KCl^1/_4 + NaCl^3/_4$ получилась своеобразная пигментация листьев — лиловый цвет по периферии долек верхних листьев. В нитратной серии в варианте с сильвинитом наблюдается «мозаичность»: дольки верхних листьев более мелки, а половинки долек сближены относительно срединной жилки и образуют «лодочку». В дальнейших наблюдениях (25 августа) отмечено сильное заболевание растений аммиачной серии, особенно при замене половины сульфата калия сульфатом натрия и на $^3/_4$ хлористого калия хлористым натрием; то же, но в меньшей степени, имело место в отношении картофеля по сульфату калия и хлориду при замене половины калия натрием. По сульфатным вариантам опыта в верхнем ярусе в это время уже не было зеленых листьев. Фон цвета листьев — желто-зеленый. Большинство листьев среднего яруса засохло. Характер заболевания — «черная крапчатость»: на зеленой пластинке листа около жилок появляются темные пятна неправильной формы. При распространении пятна на жилку лист скручивается и засыхает, иногда еще оставаясь зеленым. Другая болезнь, получившая большее распространение в опыте,— общее пожелтение и засыхание пластинки. «Черной крапчатостью» были поражены растения и в других вариантах, но в значительно меньшей степени, чем по сульфату. По хлоридам засыхание и потеря листьев уменьшаются с увеличением количества калия в смеси. В варианте хлористый калий + сильвинит растения имели более здоровый вид по цвету, чем по эквивалентной смеси реактивных химически чистых солей (KCl + NaCl).

По нитратному фону растения имели нормальный, здоровый вид. К моменту уборки по аммиачной серии зеленых листьев оставалось 30—35% лишь в вариантах KCl 1/1, KCl 3/4 и K_2SO_4. В остальных вариантах зеленых листьев было 5—10%. В нитратной серии во всех сосудах, кроме NP, растения были облиственны не менее чем на 60%.

В табл. 7 приводим результаты учета урожая описываемого опыта.

Таблица 7

Влияние замены калия натрием на урожай картофеля

Варианты	Фон N — аммиачный					Фон N — нитратный				
	Клубни		Крахмал		% крахмала в клубнях	Клубни		Крахмал		% крахмала в клубнях
	г на сосуд	%	г на сосуд	%		г на сосуд	%	г на сосуд	%	
NPKMgCa(фон) .	228	100	29	100	12.7	204	100	23	100	11.6
+ KCl 1/1 . .	602	264	88	304	14.6	463	227	69	296	16.0
+ KCl 3/4 + + NaCl 1/4	553	243	87	300	15.7	440	216	69	296	15.6
+ KCl 1/2 + + NaCl 1/2	533	234	82	283	15.3	439	216	67	292	15.2
+ KCl 1/4 + + NaCl 3/4	404	177	55	190	13.5	382	188	60	261	15.8
+ KCl 1/2 + + NaCl 1/2 (сильвинит)	586	257	92	317	15.7	517	253	76	330	14.8
+ K_2SO_4 1/1	573	251	93	300	16.3	564	277	81	352	14.4
+ K_2SO_4 1/2 + + Na_2SO_4 1/2	536	235	80	296	14.9	496	243	71	308	14.3

В опыте прежде всего отчетливо проявилось влияние азотистого фона на урожай клубней: более высокие урожаи получены по аммиачному азотистому фону. Несомненно, если бы в аммиачной серии растения сохранили свои листья к моменту уборки или если бы уборка была произведена, скажем, месяцем раньше, то относительное преимущество аммиачной серии сказалось бы еще резче.

Не имея возможности останавливаться подробно на результатах этого опыта и на изложении целого ряда сопутствующих исследований, отмечаем лишь следующие главнейшие выводы, непосредственно связанные с темой настоящей статьи.

1. Замена части хлористого и сернокислого калия натрием имела своим следствием снижение урожаев клубней картофеля против урожаев, полученных при полной дозе калия.

2. По нитратному фону замена части калия натрием не изменила содержания крахмала в клубнях, а по аммиачному фону снизила его по сульфатам и при замене 3/4 калия — по хлоридам.

3. Урожай клубней по эквивалентной смеси на сильвините был выше, чем по смеси реактивных солей KCl и NaCl.

Следует иметь в виду, что если бы листья в аммиачной серии в период после цветения не засохли, то результаты опыта были бы несколько иными, а именно, снижение урожая клубней при увеличении дозы хлористого натрия было бы меньшим.

К сожалению, в опыте отсутствуют варианты с одним хлористым натрием и уменьшающимися дозами калия без натрия, что затрудняет вывод об эффективности последнего.

Из приведенных нами данных вегетационного опыта следует, что при недостатке калия внесение в питательную смесь натрия оказывает положительное действие на урожай картофеля, а отсюда становится понятным положительное действие хлористого натрия в полевом опыте. Если исходить из того, что доза в 60 кг/га K_2O под картофель является недостаточной, особенно после нескольких лет непрерывного выращивания картофеля, в результате чего усвояемый калий самой почвы в значительной мере был уже исчерпан, то большие урожаи по 40% соли и сильвиниту, в сравнении с урожаями по хлористому калию, можно объяснить дополнительным к калию внесением натрия.

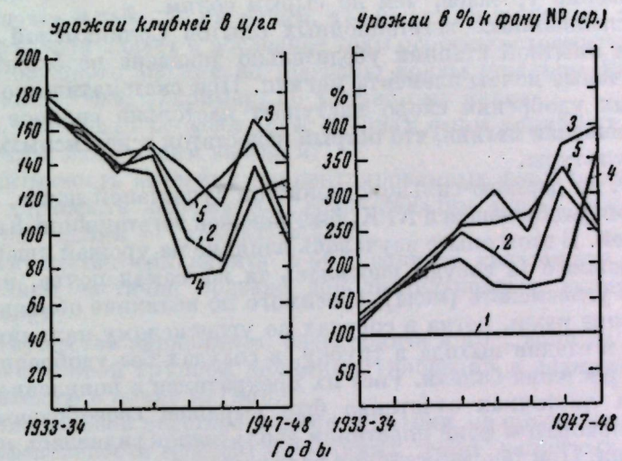


Рис. 4. Эффективность Mg-содержащих хлоридов на картофеле.

1 — фон NP (ф); *2* — сильвинит (с); *3* — карналлит (к); *4* — 40% соль на карналлите (Кн); *5* — электролит (э).

И все же влиянием хлористого натрия наблюдавшуюся выше картину действия форм хлоридов объяснить нельзя. Если натрий играет тут самостоятельную положительную роль, то следовало бы ожидать наибольших урожаев все же не по сильвиниту, а, например, по 40% соли, в которой натрия вносится вполне достаточно (25 кг/га), а хлора 80 кг/га. Увеличение дозы натрия в сильвините до 200 кг/га, при одновременном внесении 270 кг/га хлора, для картофеля безусловно ненужно и даже вредно. Однако по сильвиниту мы получаем, особенно в последние годы, высокие и достоверные прибавки урожаев клубней. Таким образом, преимущество сильвинита и хлористого натрия перед хлористым калием в последние годы опыта все же пока еще остается необъясненным.

Магний. На рис. 4 даны графики урожая клубней картофеля по хлоридам, содержащим в своем составе магний. Магнийсодержащие формы калийных удобрений обладают бо́льшей эффективностью, чем хлористый калий и сильвинит.

Последние 3 года урожаи картофеля и по калийной соли стали выше, чем по сильвиниту. Обращает особое внимание очень высокая эффективность низкопроцентной соли — карналлита. В первые 8—9 лет опыта карналлит по своей эффективности мало отличался от сильвинита и прочих хлористых

калийных удобрений. Но в 1939 г., а с 1942 г. уже постоянно, карналлит оказывается лучшей формой калийного удобрения. На всем протяжении опыта, за исключением последних двух лет, близко к карналлиту в отношении эффективности стоит электролит. Если в первые годы карналлит значительно уступал сульфату калия, то во вторую половину опыта, особенно с 1946 г., когда урожаи по сульфату калия стали особенно быстро снижаться, прибавки урожая клубней по карналлиту превысили прибавки по сильвиниту и сульфату калия более чем вдвое.

На основании приведенного выше материала может быть сделан тот вывод, что преимущество карналлита, электролита и 40% калийной соли на карналлите объясняется положительным действием содержащегося в них магния. Необеспеченностью растений магнием (табл. 2) объясняется тот факт, что по концентратам калийных удобрений отмечено более резкое снижение урожаев, чем по сырым солям.

Рядом специальных вегетационных опытов Соликамской сельскохозяйственной опытной станции убедительно доказана необходимость внесения в песчаные почвы элемента магния. При систематическом внесении минеральных удобрений скоро наступает настолько сильное истощение почвы в отношении магния, что острый недостаток в нем испытывают даже зерновые культуры.

В 1947 г. на дерново-сильноподзолистой супесчаной почве, продолжительное время удобрявшейся NPK, был заложен вегетационный опыт с яровой пшеницей. В этом опыте изучалось влияние на урожай пшеницы кальция поглощенного (в сосуды вносилась та же самая почва, насыщенная кальцием) и углекислого (мела), вносимого по величине обменной кислотности. В конце июля, когда в сосудах по углекислому кальцию растения находились в стадии выхода в трубку, в сосудах без удобрения и поглощенного Ca растения болели. Рост их прекратился с появлением 3—4 листочков. На листочках отчетливо был выражен своеобразный хлороз: на желто-зеленоватом фоне пластинки вдоль жилок виднелась пунктирная зеленая линия. При таком состоянии растений нами в половину параллельных сосудов был внесен раствор хлористого магния из расчета 10% от емкости поглощения почвы. Благотворное влияние магния можно было наблюдать уже через несколько дней. Появившиеся молодые листья имели уже нормальную зеленую окраску и продолжали развиваться нормально. Ко времени уборки растения в этих вариантах достигли фазы колошения. Нормально развивавшиеся растения с самого начала опыта в вариантах с $CaCO_3$ к этому времени достигли уже полной зрелости. Приводим результаты учета урожая пшеницы.

	Общая масса (г)	Зерно (г)
Без удобрения	2.08	
$MgCl_2$ 10% емкости	11.50	
Ca поглощ.	4.05	
Ca поглощ. + $MgCl_2$	15.22	
$CaCO_3$	29.01	6.84
$CaCO_3$ + $MgCl_2$	37.14	12.02

Интенсивное положительное действие магния в этом опыте бесспорно; оно сказалось бы особенно сильно на урожае зерна, если бы растения могли быть доведены до стадии созревания. По фону $CaCO_3$ внесение $MgCl_2$, несколько увеличив урожай общей массы растений, урожай зерна увеличило вдвое.

Однако факт несомненного положительного действия магния еще не вполне объясняет резкое преимущество карналлита перед другими формами

калийных удобрений. Во-первых, в полевом опыте магний ежегодно вносился в количестве до 14 кг/га MgO в составе фона (табл. 1). Во-вторых, растению вовсе не требуется столько магния, сколько вносится его в составе карналлита (до 50 кг/га). Магния, вносимого в составе фона и, например, в составе 40% соли на карналлите, вполне достаточно для удовлетворения потребности картофеля в магнии. В то же время по содержанию хлора 40% соль значительно благоприятнее карналлита. Однако урожай картофеля по этой соли оказался не только ниже, чем по карналлиту, но даже (и притом намного) ниже, чем по сильвиниту. Следует обратить внимание и на то, что в последние 3 года (табл. 6) высоко эффективная форма калийного удобрения — электролит, содержащий магния в 2 раза больше, чем 40% соль, по своему положительному действию оказался позади 40% соли.

Возвращаясь к табл. 2, мы видим, что по сульфату калия, по которому урожай картофеля падает в последние годы особенно стремительно, содержание поглощенного магния по профилю почвы (анализы 1946 г.) даже несколько выше, чем, например, по хлористому калию.

Обобщая материал по всем трем группам форм калийных удобрений, мы приходим к следующим выводам:

1. Эффективность внесения концентрированных форм калийных удобрений под картофель выражается возрастающим рядом: хлористый калий — нитрат калия — сульфат калия.

2. Преимущество сильвинита и 40% соли на сильвините перед хлористым калием частично обязано дополнительному к калию внесению в почву натрия.

3. Преимущество карналлита, электролита и 40% соли на карналлите перед сильвинитовой группой калийных удобрений в значительной мере обязано внесению в почву магния.

Но положительное действие магния и натрия не объясняет ни резкого падения эффективности концентрированных форм калийных удобрений, начинающееся на 7—8-й годы опыта, ни разительного преимущества сырых солей (карналлита и сильвинита) перед концентрированными формами удобрений.

Отмеченные явления станут понятными, если мы проследим рост и развитие куста картофеля в течение вегетационного периода.

На продолжительность жизни растения большое влияние оказывают различные удобрения. Азотистые удобрения, как известно, оказывают омолаживающее действие на растения, а фосфаты, наоборот, ускоряют созревание. Это действие удобрений сказывается на морфологических, физиологических и биологических свойствах растения.

Наши наблюдения показывают, что, во-первых, калийные удобрения, как и азотистые и фосфорные, оказывают очень значительное воздействие на характер развития и продолжительность жизни растения, и во-вторых, что это воздействие бывает очень различно, в зависимости от применяемых форм калийных удобрений.

В первые годы опыта внешние различия растений в различных вариантах опыта заключались в неодинаковой высоте куста и окраске листьев и стеблей. В вариантах фона (NP) по хлористому натрию и без удобрения получались низкорослые растения, причем по хлористому натрию получился приземистый куст, хорошо облиственный, а в варианте «без удобрения» — стебли прямые с листочками, устремленными вверх. По калийным удобрениям в первые годы существенных различий в формировании кустами не отмечено. Зато в окраске листьев различия были отчетливо выражены в первые же годы. По сырым солям окраска у растений была желто-зеленая,

по хлористому калию, хлористому натрию и без удобрения — зеленая, по сульфату и нитрату калия — густозеленая и по фону (NP) — сине-зеленая. На 5 — 6-й годы опыта отчетливо выступили различия в эффекте внесения отдельных форм удобрений по отношению к росту и развитию растения. По хлористому калию с первых же недель начинал отставать в росте куст, на делянках же, удобренных сульфатом калия и карналлитом, растения получили особенно хорошее развитие. В настоящее время различия эти стали еще большими и выражаются в следующем:

1. Фаза появления всходов. Всходы появляются раньше всего по карналлиту и сильвиниту. На извлеченных из почвы клубнях развитие ростков и корешков наиболее слабое по концентратам калийных удобрений и в варианте без калия.

2. Фаза бутонизации. Высота куста и облиственность по всем формам калийных удобрений почти одинаковы. Наиболее равномерно развитие растений по сульфату, нитрату калия и карналлиту. Вдвое ниже куст по фону и еще ниже по хлористому натрию и без удобрения. По фону и хлористому натрию куст приземистый, хорошо облиственный, темнозеленый. Без удобрения облиственность малая, листья круто подняты вверх, цвет зелено-желтоватый.

3. Фаза цветения. На этой стадии широко распространена пораженность ботвы (M. Klinkowcki, 1935; T. Wallace, 1944). По концентратам калийных удобрений наблюдается завядание, опадение листьев нижнего и среднего яруса и оголение стебля. По фону, хлористому калию, а в последние годы и по хлористому натрию вслед за засыханием листьев наступает засыхание всего куста. По концентратам к окончанию цветения бо́льшая половина ботвы засыхает.

4. Ко времени у б о р к и на делянках фона и хлористого натрия ботва почти полностью засохшая. По концентратам калийных солей и 40% солям более половины кустов с засохшей ботвой. На оставшихся растениях жизнедеятельные листья сохранились лишь на вершине растения. Жизнедеятельная ботва сохраняется лишь в варианте без удобрения и с внесением карналлита.

Заболевание растений начинается уже в фазе бутонизации. Возрастающий ряд степени заболевания: без удобрения < карналлит < хлористый натрий < электролит < фон < 40% соли < сульфат калия < нитрат калия < хлористый калий. Поражение растений не грибное, а функциональное, как следствие нарушения нормального течения физиологических процессов. Болезнь не переходит с пораженных растений на соседние рядки варианта со здоровыми растениями. Больные растения имеют поражение, по внешнему виду аналогичное с поражением фитофторой. Возможно, что имеет место заболевание растений и этим грибком, но это уже вторичное явление. Здоровые растения, находящиеся рядом с пораженными растениями соседней делянки, и в этом случае остаются здоровыми. Внешние симптомы болезни в отдельных вариантах опыта неодинаковы, так как тут действуют различные причины. Общим для всех случаев является одно: подсыхание и скручивание долек листа и опадение листьев, начинающееся с нижнего яруса. В стадии бутонизации опадение листьев отмечено на делянках, удобренных хлористым калием, и в меньшей степени на делянках, удобренных сульфатом и нитратом калия. В последние 2—3 года количество засохших кустов по сульфату калия стало не меньшим, чем по хлористому калию. На сохранившихся растениях листья остались лишь на самой верхушке стебля. Ботва сильно поражена в эти годы также и по 40% солям и даже по сильвиниту. Наиболее мощная и здоровая ботва

по карналлиту и несколько слабее по электролиту. Почти совершенно здоровые растения в варианте «без удобрений».

Вполне понятно, что преждевременная старость растений — потеря ими листовой поверхности — влечет за собой снижение урожая клубней.

В. Н. Любименко (1935) пишет, что величина урожая «будет находиться в зависимости от величины рабочей площади листьев, продолжительности их работы и более или менее благоприятного сочетания внешних условий».

В. В. Арнаутов (1947) считает, что для сорта «Лорх» урожай клубней «приближенно эквивалентен весу ботвы». А. Г. Лорх (1947) в своих обстоятельных исследованиях констатирует также тесную зависимость урожая клубней от урожая ботвы. Величина отношения ботва: клубни при максимальных урожаях колеблется в пределах от 0.8 до 1.3, в зависимости от метеорологических условий, от фона агротехники и удобрения.

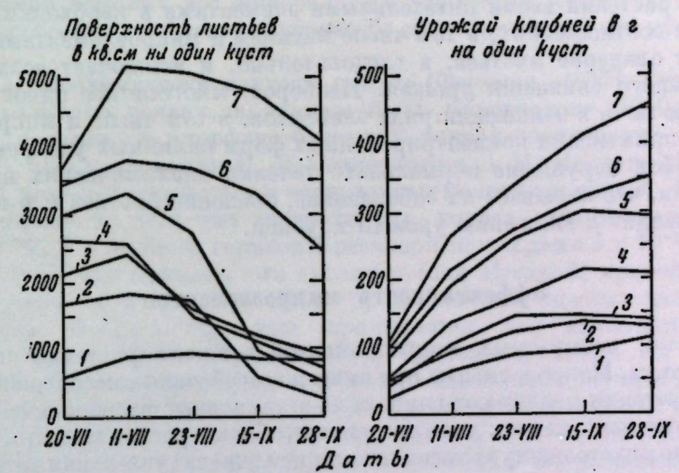


Рис. 5. Влияние площади листовой поверхности куста картофеля на урожай клубней

1 — без удобрений (о); *2* — фон NP (ф); *3* — хлоркалий (х); *4* — нитрат калия (N); *5* — сульфат калия (S); *6* — сильвинит (с); *7* — карналлит (к).

В вегетационный период 1946 г. нами произведен периодический дробный учет урожая клубней, ботвы и отдельно зеленых листьев (веса и поверхности) в каждом из вариантов описываемого опыта. Первый срок учета — 20 июля — фаза бутонизации и начала цветения отдельных кустов; последний срок учета 28 сентября — время уборки картофеля. К этому времени во всех вариантах, за исключением варианта без удобрения, с карналлитом и сильвинитом почти все кусты на делянках уже засохли.

К 15 сентября во всех вариантах опыта, за исключением варианта с карналлитом, электролитом, сильвинитом и без удобрения, вследствие потери растением рабочего листа, накопление урожая клубней уже прекратилось. Чем длительнее период от этого момента до уборки, тем больше увеличивается разница в урожае клубней в пользу сырых солей (особенно карналлита) в сравнении с концентратами.

Именно этой причиной — п о т е р е й з е л е н ы х л и с т ь е в растениями, посаженными по концентрированным калийным удобрениям, и объясняется столь неожиданный результат полевого опыта в последние годы опыта.

Следовательно, величина урожая клубней картофеля в условиях нашего опыта определяется прежде всего величиной рабочей поверхности зеленого листа в период наибольшего крахмалонакопления (цветение — уборка). Чем продолжительнее этот период, тем больше разница в урожае клубней в пользу сырых солей в сравнении с концентратами.

В чем заключается причина потери листьев и засыхания кустов картофеля при посадке его по концентрированным калийным удобрениям? Если это связано с так называемым «почвоутомлением» в результате продолжительного возделывания картофеля (Н. А. Красильников, 1941; И. В. Якушкин, 1947), то почему не наблюдается того же по карналлиту.

Возможно было предположить, что эффективность сырых калийных солей на песчаных подзолистых почвах объясняется положительным действием микроэлементов, содержащихся в этих солях. Обеспеченность растений всеми питательными элементами в необходимых количествах и соотношениях, в том числе магнием и микроэлементами, предупреждает опадение листьев, а следовательно, и исключает возможность значительного снижения урожая. Наоборот, многолетнее одностороннее истощение почв в отношении ряда элементов, в том числе и микроэлементов, при применении концентрированных форм калийных удобрений, влечет за собой нарушение нормального течения биохимических процессов в растении, что вызывает их заболевание, опадение листьев и в конечном счете приводит к снижению урожая клубней.

Эффективность микроэлементов

Роль так называемых микроэлементов в жизни растений исключительно велика. Микроэлементы при ничтожном абсолютном содержании их в органах растения оказывают влияние на все основные физиологические процессы в организме, как то: дыхание, синтез, обмен и распад веществ. Несмотря на то, что к настоящему времени накопилась уже значительная литература, посвященная микроэлементам (А. А. Хализев, 1934; М. Я. Школьник, 1947; И. А. Поспелов, 1947), характер воздействия их на растения изучен пока еще совершенно недостаточно, а потому не найдены еще и пути наиболее эффективного их использования для повышения урожаев сельскохозяйственных растений.

Ниже мы приводим результаты некоторых исследований, относящихся к микроэлементам, в связи с обсуждением эффективности калийных удобрений под картофель.

Микроэлементы в растении. В химический состав картофеля, как и всех других растений, входит обширная группа так называемых микроэлементов. Количественное содержание их по данным различных авторов (С. М. Прокошев, 1934 и др.) примерно следующее (в мг на 1000 г сырого вещества):

Медь	16.50	Кобальт	0.015
Марганец	3.50	Рубидий[4]	5.0
Алюминий	1.05	Бор[5]	13.0
Цинк[1]	3.0	Бром[2]	0.1
Никель[2]	0.026	Иод[3]	0.020
Молибден[2]	0.026	Мышьяк	0.080

При среднем урожае в 200 ц/га клубней картофеля из почвы будет из-

[1] А. А. Хализев, 1934; [2] L. H. Lampitt, 1940; [3] М. А. Драгомирова, 1944; [4] Т. Ф. Боровик-Романова, 1945; [5] М. В. Каталымов, 1948.

влечено всего лишь несколько граммов иода, кобальта и мышьяка, несколько десятков граммов других микроэлементов, а вынос меди составит около 300 г.

Микроэлементы в почве. Источником для удовлетворения потребности растений в микроэлементах является почва. Поскольку имеется уже немалое количество исследований, которыми доказывается высокая эффективность ряда микроэлементов, например меди, цинка, кобальта, никеля, можно предположить, что содержание этих элементов в почве или совершенно ничтожно, или они находятся в неусвояемом для растения состоянии. Содержание же других микроэлементов, например железа и марганца, как правило, в почве весьма значительно, причем в некоторых работах доказывается высокая эффективность солей этих элементов. Содержание подвижного алюминия, особенно на подзолистых почвах, при внесении высоких доз минеральных удобрений, столь значительно, что даже способно оказывать токсическое действие на многие культурные растения.

Медь «геохимически изучена плохо» (Ферсман, 1937). Содержание меди в различных почвах, по данным А. П. Виноградова (1940), 1—5 $\times$ $\times 10^{-3}$% и выше, а в торфяно-болотных почвах значительно ниже, до 2×10^{-4}%. По материалам И. Д. Седлецкого и Д. Н. Иванова (1944), содержание меди в подзолистых и черноземных почвах порядка 3—6 $\times 10^{-3}$% в торфянистых и песчаных подзолистых почвах значительно ниже: 1—3 $\times 10^{-3}$%, а в нижнем горизонте песчаной почвы даже 3×10^{-4}%. Д. П. Малюга (1944) для подзолистого суглинка (под Москвой) приводит меньшую величину, а именно $7{:}3 \times 10^{-4}$%. На почвах, содержащих медь в количествах 1—2 $\times 10^{-3}$%, уже проявляется так называемая «болезнь обработки» (Д. Н. Иванов и И. Д. Седлецкий, 1946). На осушенных болотах применение медных удобрений позволяет получать нормальные урожаи зерновых хлебов (увеличение урожая зерна в 5—10 раз), значительное повышение урожаев бобовых культур и конопли (Н. Г. Шевчук, 1937). «Страдание картофеля замечено лишь в искусственных условиях», как отмечает Д. Н. Прянишников (1943). По профилю почвы нашего полевого опыта содержание меди[1] до глубины 205 см составляет около 1×10^{-3}%. При таком содержании меди в торфянистых почвах уже проявляется «болезнь обработки». Для минеральных почв такое содержание меди также является минимальным из известных данных анализов почв на медь.

Цинк «с геохимической точки зрения изучен очень плохо» (Ферсман, 1937). В сравнении с другими металлами — микроэлементами (например железо, алюминий, марганец и медь) «цинк значительно менее распространен в почвах». Многочисленными опытами доказано, что «цинк совершенно необходим для всех растений» (Хализев, 1934). Ничтожные количества цинка в питательном растворе оказывают стимулирующее действие на микробиологическую деятельность, в частности, на фиксацию азота и нитрификацию; в то же время весьма незначительные количества могут оказать токсическое действие.

Рубидий весьма распространен в растительном царстве (Н. Леонтьев, 1947) и в то же время наименее изучен в физиологическом отношении. Отличием его от других микроэлементов является его радиоактивность (β-лучи). Ферсманом отмечается «некоторое избирательное поглощение почвами и организмами» рубидия. Боровик-Романова (1945)

[1] Анализы почв профиля поля № 45 любезно произведены Д. Н. Ивановым в Спектральной лаборатории Почвенного института АН СССР.

устанавливает, что все растения суши, пресноводные и морские, имеют абсолютное содержание Rb одного и того же порядка $n \times 10^{-4}$ %, несмотря на различия окружающей среды.

Бор изучен сравнительно лучше других микроэлементов. В настоящее время уже определены условия эффективности борных удобрений для ряда культур в полевых условиях (Н. Г. Шевчук, 1937; И. А. Поспелов, 1947; М. В. Каталымов, 1948). С. И. Синякова (1939), определив содержание бора в 15 почвах, взятых примерно по 40-му меридиану Союза, установила, что по мере продвижения от тундр к югу содержание бора увеличивается. Для подзолистых суглинистых почв общее содержание бора равно 4.7 и 6.6×10^{-4}%, а водорастворимого — 1.90 и 1.95×10^{-5}%. С. Г. Цейтлин (1939) показала, что «разные почвы содержат бора от $n \times 10^{-4}$ до $m \times 10^{-3}$% в верхних слоях и от $n \times 10^{-4}$ до $m \times 10^{-2}$% в нижних». Но для подзолистых почв ею же отмечается, наоборот, уменьшение содержания бора с глубиной. Е. В. Бобко (1944) привел анализы пахотного слоя люберецкой песчаной почвы (1.25×10^{-4}% B_2O_3) и тяжелого суглинка Долгопрудной опытной станции (1.66×10^{-4}% B_2O_3). Мы принимаем, что содержание бора в соликамской песчаной подзолистой почве примерно того же порядка.

«Геохимия брома не только не изучена, но и совершенно неизвестна», отмечал Ферсман в 1939 г. Лишь в последние годы Биогеохимической лабораторией АН СССР получены некоторые материалы по геохимии этого элемента. Л. С. Селиванов (1940) пишет, что «количество брома в почвах по крайней мере в четыре, а в торфах по крайней мере в двадцать раз выше содержания брома в породах. Почти весь этот бром связан с органическим веществом почв, торфов и т. п.». Содержание брома в древесных породах 9.4×10^{-5} на живое вещество, в злаках 3.3×10^{-4} и в сложноцветных 2.2×10^{-4}% (Л. С. Селиванов, 1946).

Для иода характерна «исключительная дисперсность, частичное накопление лишь в конечных фазах геохимических процессов, постоянный переход в дисперсное или даже ионизированное состояние» (Ферсман, 1937). Содержание иода в почвах по В. И. Вернадскому (1934) $n \times 10^{-4}$. Селиванов (1939) отмечает высокую концентрацию иода в торфах — до $n \times 10^{-3}$, т. е. в сто раз выше, чем в растениях, и значительно выше, чем в окружающих почвах. Установлена связь между недостатком иода в питьевых водах и продуктах питания с распространенностью зоба.

Опытов по изучению влияния иода и брома на растения в условиях почвенных культур, а не водных и песчаных, проведено очень мало. Полученные результаты, например, у А. З. Ламбина (1938), недостаточно убедительны. Это дало основание Е. В. Бобко (1944) заключить, что «иод легко поступает в растение, однако еще не установлено, чтобы под влиянием этого элемента повышалась урожайность каких-либо сельскохозяйственных культур» (стр. 129).

Микроэлементы в удобрении. В табл. 8 показано среднее содержание ряда микроэлементов в соликамских карналлитах и сильвините — сырых калийных удобрениях, в хлористом калии и хлористом натрии («отвал» химической фабрики), в пищевой соли «пермянка» и солевом рассоле, из которого путем кристаллизации получается эта пищевая соль.

Приведенные данные по брому, иоду, бору и рубидию вычислены нами как средние из ряда работ (Ю. В. Морачевский, 1932, 1935; Е. С. Буркер, 1935) и наших (контрольных) анализов. Распределение этих микроэлементов в различных солях находится в полном соответствии с законами выкристаллизовывания (Ферсман, 1937;

Таблица 8

Содержание микроэлементов в калийных удобрениях

Наименование соли	мг на 100 г соли				г/га при 100 кг K_2O			
	B_2O_3	Br	J	Rb	B_2O_3	Br	J	Rb
Карналлит	3—5	100—300	1—5	10—90	25—50	800—2500	10—40	50—700
Сильвинит	до 1	25—40	>1	1—5	5—10	200—500	5—10	5—50
Хлоркалий	Нет	2—5	Нет	—	—	3—7	—	—
Хлорнатрий	>1	10—25	1—10	—	1—3	12—30	2—12	—
Рассол (23—25% NaCl)	2—5	20—50	<1	—	—	—	—	—

Берг, 1937): больше всего их содержится в конечных фазах кристаллизации рапы — в карналлитах. Ряд авторов (М. Г. Валяшко и Т. В. Мандрышкин, 1948; М. Г. Валяшко и М. Г. Спирягин, 1948; Ю. В. Морачевский, 1935) отмечает, что чем больше в составе сырой соли нерастворимого остатка, тем выше содержание брома и особенно бора. Обращаем особое внимание на содержание микроэлементов в пищевой соли (хлористый натрий): оно значительно выше, чем в хлористом калии. Дело в том, что поваренная соль получается путем выпаривания соляных рассолов, извлекаемых из-под земли. Поэтому все те микроэлементы, которые содержались в растворе при выпаривании, выкристаллизовываются с солью. В данном случае неизбежна лишь частичная потеря иода. Технология же получения хлористого калия заключается в выкристаллизовывании хлористого калия из насыщенных им горячих «щелоков» при резком охлаждении. В данном случае микроэлементы остаются в составе «щелоков». Именно эти сильвинитовые и карналлитовые щелока являются сырьем для получения брома одним из цехов Соликамского калийного комбината. Поэтому в хлористом калии содержание микроэлементов ничтожно мало в сравнении с сырыми солями.

Какие-либо литературные материалы по вопросу о содержании в соликамских солях меди и цинка нам неизвестны. Но некоторые наблюдения над развитием растений, выращиваемых по сырым солям, дают основание предполагать, что в соликамских сильвинитах и карналлитах должны содержаться и эти элементы. Близость ионных радиусов этих элементов к натрию и магнию, их большая рассеянность, неизбежность включения их в круговорот веществ суша — море делают эти предположения вполне обоснованными. У Берга (1937) имеется даже указание на то, что в стасфуртских калийных солях содержится до 0.00005% меди.

Может ли иметь существенное значение для растений такое незначительное содержание микроэлементов в калийных солях? Если мы сопоставим вынос из почвы микроэлементов получаемыми урожаями (М. В. Каталымов, 1946 и 1948; С. М. Прокошев, 1934), то увидим, что количество микроэлементов (бора, брома и иода), вносимых с сырыми солями, особенно с карналлитом, значительно превосходит вынос их урожаями картофеля.

При изучении эффективности сырых калийных солей следует иметь в виду также и то, что эти соли обнаруживают радиоактивность (β- и γ-лучи) несколько бо́льшую, чем та, которая соответствовала бы содержанию в них солей калия. Повидимому, эта дополнительная радиоактивность обусловлена обнаруженными в солях следами радия, тория и гелия (Буркер,

1935). Даже ничтожные количества радиоактивных элементов, как известно (А. А. Дробков, 1939; J. Stoklasa, 1931), способны оказывать благотворное действие на урожай растений.

Влияние микроэлементов на урожай растений

Переходим к опытам по изучению эффективности микроэлементов на песчаной подзолистой почве. В разные годы с различными культурами в условиях вегетационного опыта изучались бор, медь, марганец и др.

Б о р. На песчаной дерново-подзолистой почве полевого опыта в 1935 г. был проведен вегетационный опыт с горчицей. По фону аммиачной селитры (0.52 г N), преципитата (0.26 г P_2O_5) и хлоркалия (0.26 г K_2O) вносился бор в количестве 6 и 12 мг на сосуд емкостью в 6 г почвы. Результаты опыта следующие (в г урожая на сосуд воздушно-сухой массы):

NPK—фон	8.9 г	100%
+ B (1)	9.9	109
+ B (2)	11.0	122
$CaCO_3$	13.8	154
Ca + B (1)	20.5	228

М е д ь. В том же году на той же песчаной почве и в тех же условиях проведен опыт по изучению действия меди на ячмень сорта «Винер». Фон тот же. Медь вносилась в виде $CuSO_4$ в дозах 0.10 и 0.20 г соли на сосуд и в виде пиритных огарков в количестве 0.01 г Cu на сосуд (0.6 г огарков). Результаты опыта следующие:

	Урожай			
	Общая масса		Зерно	
	г	%	г	%
NPK — фон	30.4	100	8.1	100
+ $CuSO_4$ (1)	36.4	120	11.0	136
+ $CuSO_4$ (2)	46.0	151	16.5	204
+ Огарки	42.1	138	13.9	172

Первым основанием для заключения о большом значении для ряда растений микроэлементов, содержащихся в сырых солях, послужил результат следующего вегетационного опыта. На почве, взятой с фоновых (NP) делянок полевого опыта, весной 1946 г. был заложен опыт со льном на тему: «Хлориды калия по фону микроэлементов». В одной серии хлористый калий, 13% сильвинит и 12% карналлит (в сухом виде по 0.50 г K_2O на сосуд) вносились по фону $Ca(NO_3)_2 + NH_4H_2PO_4$ (0.75 г N и P_2O_5 в растворе); во второй серии — хлориды вносились по фону NP + микроэлементы. Состав смеси микроэлементов: $MnSO_4$ (7.5 мг Mn) + + $Na_2B_4O_7$ (3 мг B) + $CuSO_4$ (1 мг Cu) + $ZnSO_4$ (3 мг Zn). Микроэлементы вносились после тщательного растирания солей и при перемешивании их с сухой почвой (в навеске 5 г почвы). Емкость сосудов — 6.5 кг почвы. Количество растений — 25. Полив дистиллированной водой до 60% от полной влагоемкости. Посев льна 2 июня, уборка 5 октября в состоянии цветения.

Наблюдениями было установлено, что в серии «без микроэлементов» развитие растений было крайне подавленное, особенно по фону и хлористому калию. Когда растения достигли высоты 10—12 см, верхние листочки начали терять зеленые пигменты и желтеть. Далее пожелтение распространилось на все растение, и началось засыхание верхушки. Подсаженные в эти сосуды молодые растения также начинали желтеть

и засыхать. Когда лен в серии «с микроэлементами» был уже в фазе начала выбрасывания соцветия, в сосуды обеих серий была внесена суспензия $Ca(OH)_2$. Суспензия (известковое молоко) готовилась из «пушонки», полученной путем обжига мергелистого известняка. «Известкование» оказало весьма положительное действие на растения серии «без микроэлементов» и мало сказалось на растениях серии «с микроэлементами». Результаты учета урожая общей массы соломки льна следующие (в г на сосуд воздушно-сухой массы):

NP—фон без микроэлементов	1.58	с микроэлементами	10.83
+ хлористый калий	1.83	»	12.90
+ сильвинит	7.30	»	12.18
+ карналлит	11.29	»	10.18

Результаты опыта говорят о том, что на почве, истощенной в отношении микроэлементов, эффективность калийных удобрений проявилась, в зависимости от содержания в них микроэлементов, рядом: хлористый калий — сильвинит — карналлит. Вероятно и то, что этот ряд в какой-то мере обусловлен содержанием натрия в сильвините и натрия и магния в карналлите. Каков был эффект «известкования»? «Без известкования» по вариантам NP и NP + хлористый калий в серии без микроэлементов растения выпадали полностью. «Известкование» в данном случае могло оказать разностороннее действие: устранить кислотность и подвижный алюминий, внести в питательный раствор магний и дополнительно кальций, а также, вполне вероятно, некоторое количество микроэлементов. Однако «известкование» не устранило различия форм хлоридов в серии без микроэлементов. Внесение фона микроэлементов создало условия нормального развития растений, которые могли более успешно противостоять неблагоприятной реакции среды и полнее использовать имеющиеся в почве питательные вещества.

Повторенные по этой схеме, но по фону NPMg, опыты со льном в 1947 и 1948 гг., в общем, повторили картину 1946 г., причем при внесении в составе фона магния различия по формам не были столь резкими, как в 1946 г. В опыте 1947 г. с картофелем микроэлементы (смесь) оказали даже некоторое депрессивное действие, а эффективность калийных удобрений по обоим фонам (NPMg и NPMg + микроэлементы) выразилась рядом: карналлит > хлористый калий > сильвинит.

В 1947 и 1948 гг. были проведены вегетационные опыты с картофелем по расчлененному изучению действия микроэлементов: в 1947 г. изучались бром, бор, иод, рубидий и медь, а в 1948 г.—бром, иод, бор, медь и цинк.

У с л о в и я з а к л а д к и и проведения опыта были следующие. Для опыта использовались железные сосуды емкостью 32 кг сухой почвы. При закладке опыта в сосуды набивалось сначала 25 кг почвы, с которой перемешивались все удобрения. Затем добавлялось еще 3 кг исходной почвы (без внесения удобрений), в которую производилась посадка картофельной рассады (по 3 растения). В дальнейшем, по мере развития растений, в сосуды 2 раза производилась подсыпка («окучивание») по 2 кг исходной почвы (в 1948 г. вторая подсыпка производилась песком). Удобрения фона: NH_4NO_3 и $Ca(H_2PO_4)_2$ по 3 г N и P_2O_5; KCl в количестве 4.5 г K_2O и $MgSO_4$ в количестве 1.0 г MgO на сосуд. Микроэлементы: 10 мг Br (KBr), 2 мг J (KJ), 5 мг B ($Na_2B_4O_7$), 2 мг Cu ($CuSO_4$), 2 мг Rb (Rb_2CO_3) и 2 мг Zn ($ZnSO_4$). В 1947 г. все удобрения вносились в сухом виде примешанными к 50 г почвы (20 доз микроэлементов

перемешивались с 1000 г сухой почвы). В 1948 г. все удобрения вносились в растворах. Полив растений до 60—70% от полной влагоемкости почвы дестиллированной и дождевой водой. Повторность опыта — 3-кратная. В 1947 г. почва была взята с делянок фона (NP), а в 1948 г. с делянок NP + K_2SO_4. Вследствие очень поздней закладки опыта 1947 г.— 27 июня уборка произведена рано, еще в стадии конца цветения (30 сентября). Содержание крахмала в этом опыте не определялось, поэтому мы сочли более наглядным дать в таблице по данному опыту урожай сухой массы (клубней). В опыте 1948 г. нами вычислена квадратическая ошибка ($\pm m$) прибавок урожая клубней.

Таблица 9

Эффективность микроэлементов на картофеле

Варианты	Опыт 1947 г. Урожай (возд.-сухая масса)				Опыт 1948 г.									
	Клубни		Листья		Клубни			Крахмал			% крахмала в клубнях	Ботва (возд.-сух.)		
	г на сосуд	%	г на сосуд	%	Урожай, г на сосуд	Прибавка $M \pm m$	%	Урожай, г на сосуд	Прибавка $M \pm m$	%		г на сосуд	%	
NPKMg — фон	64	100	15	100	415	—	100	48	—	100	11.6	48	100	
+ бор . . .	117	183	16	107	707	292 ± 63	170	111	63 ± 21	230	15.7	52	105	
+ бром . . .	79	124	15	100	494	79 ± 21	119	73	25 ± 11	151	14.8	42	88	
+ иод . . .	82	128	16	107	494	79 ± 25	119	86	38 ± 13	179	17.5	44	91	
+ медь . .	68	106	15	100	546	131 ± 24	132	81	33 ± 17	166	14.8	43	90	
+ рубидий	75	117	17	119	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+ цинк .	—	—	—	—	507	92 ± 14	122	70	22 ± 9	145	13.8	38	80	

Картофель в опыте 1947 г. был убран, когда ботва, особенно по бору, была еще вполне жизнедеятельной. Наибольшая потеря зеленых листьев к моменту уборки была по меди; в этом варианте наблюдалось пожелтение и подсыхание листьев нижнего и среднего яруса. Опытом 1947 г. установлена с несомненностью высокая эффективность бора и достаточно достоверное положительное действие брома, иода и рубидия. Отсутствие эффекта от меди, возможно, объясняется тем, что медь содержалась в воде, так как перегонный куб (медный) был плохо пролужен. Опыт 1948 г. был убран рано (13 сентября), но для некоторых вариантов продолжение опыта было бы бесполезным: к моменту уборки урожая по цинку и иоду количество зеленых листьев составляло не более 15%. Остальная масса листьев пожелтела и частью уже засохла. Наиболее свежий вид у зелени перед уборкой был по бору, меди и брому. Если бы опыт был продолжен, то урожай в этих вариантах был бы еще больше. Омолаживающее действие бора на растение несомненно.

Оценивая результаты опыта по урожаю клубней и особенно по урожаю крахмала, мы должны констатировать высокую эффективность микроэлементов при возделывании картофеля. На основании учета урожая и наблюдений за развитием растений мы устанавливаем следующий возрастающий ряд эффективности микроэлементов: Zn < Rb < Cu, Br, J < B. Разумеется, этот ряд соответствует лишь условиям и дозам микроэлементов, примененным в нашем опыте. При других дозах микроэлементов этот ряд может быть иным. Определить «оптимальную» дозу микроэлементов особенно трудно.

В 1947 г. на песчаной дерново-среднеподзолистой почве, сходной с почвой поля № 45, заложен полевой опыт на тему: «Влияние извести и микроэлементов на эффективность калийных удобрений». Участок до закладки опыта находился в хозяйственном землепользовании. Два предшествующих года на этом поле возделывался картофель, под который в 1945 г. было внесено 500 кг золы, 125 кг сульфата аммония, 250 кг суперфосфата и 125 кг калийной соли; в 1946 г. внесены аммиачная селитра (60 кг/га N) и хлористый калий (60 кг/га K_2O). В опыте в 1947 г. учтен картофель сорта «Лорх», а в 1948 г.— яровая пшеница сорта «Диамант». Под картофель внесены: аммиачная селитра и суперфосфат в количестве 90 кг/га N и P_2O_5, хлористый калий в количестве 120 кг/га K_2O, гашеная известь (обожженный мергелистый известняк) в соответствии со схемой из расчета двойной обменной кислотности и микроэлементы (в кг/га): 0.25 B (бура), 0.5 Br (KBr), 0.5 J (KJ) и 0.5 Cu ($CuSO_4$). Навески солей микроэлементов растирались в тонкий порошок и перемешивались с 500 г сухой почвы. Почва, содержащая микроэлементы, перед внесением перемешивалась с навеской удобрений, вносимых на данную делянку. В вариантах «без удобрения» микроэлементы (навески 500 г) перемешивались перед внесением с 5 кг почвы. Под яровую пшеницу вносились $N_{50}P_{50}$ в тех же формах и микроэлементы в тех же дозах. Калий и известь под пшеницу не вносились.

Таблица 10

Эффективность внесения микроэлементов на картофеле и яровой пшенице

Варианты	1947 г. — клубни картофеля				1948 г. — зерно яровой пшеницы			
	Урожай и прибавки от микроэлементов в ц/га и %							
	Без микроэлем.	Фон микроэлем.	Прибавка от микроэлем.		Без микроэлем.	Фон микроэлем.	Прибавка от микроэлем.	
			ц/га	%			$M \pm m$	%
Без удобрения	51	63	12	23	5.9	7.5	1.6 ± 0.7	27
Известь	81	77	— 4	—	8.9	10.3	1.4 ± 1.8	16
NP	105	116	11	10	12.9	15.4	2.5 ± 1.3	20
NP + известь	136	135	— 1	—	18.6	20.1	1.5 ± 1.3	8
NPK	126	116	—10	—	13.9	16.5	2.6 ± 1.3	20
NPK + известь	163	149	—14	—	18.6	19.8	1.2 ± 0.9	7

Несмотря на значительную пестроту урожаев обеих культур в данном опыте (табл. 10), мы считаем, что полученные результаты учета опыта позволяют сделать вывод о влиянии внесенных микроэлементов на развитие и урожай картофеля и пшеницы. Чем менее обеспечено растение питательными веществами, тем отчетливее сказывается положительное действие микроэлементов. Если на картофеле по NPK намечается даже некоторая депрессия урожая от внесения микроэлементов, то на пшенице

Влияние калийных удобрений на содер

Варианты	% крахмала					
	1933	1934	1935	1936	1937	1938
Без калия (фон NP)	12.0	16.1	19.5	18.4	20.4	19.5
Хлорнатрий	(11.4)	(14.4)	18.6	17.1	20.0	18.7
Хлоркалий	10.9	15.1	19.0	16.4	20.5	19.2
40% соль на сильвините	10.8	15.2	18.6	15.6	19.4	18.2
Сильвинит	12.0	14.7	17.0	15.1	18.4	17.0
40% соль на карналлите	11.6	14.8	18.2	15.6	19.4	18.3
Электролит	11.7	15.2	19.1	16.5	19.0	17.9
Карналлит	10.2	14.4	17.6	15.1	17.9	16.9
Азотнокислый калий	(11.6)	(14.7)	(18.7)	18.0	23.2	20.4
Сернокислый калий	(10.9)	(14.2)	(17.6)	17.3	23.4	21.1
Без удобрения	14.2	15.1	20.1	19.0	22.2	20.5

в этом же варианте (калий под пшеницу не вносился) отмечается вполне достоверная прибавка урожая зерна. Величина прибавки без фона извести во всех случаях в два раза выше квадратической ошибки ($\pm m$). По фону извести для обеих культур микроэлементы во всех вариантах не оказали положительного действия. Сильное положительное действие извести в данном опыте, так же как и в выше рассматриваемом вегетационном опыте со льном, обусловлено, в основном, устранением кислотности почвы. В вегетационных опытах с картофелем, как мы видели, наибольшее повышение урожая клубней получено по бору. Отсюда можно предположить, что и в смеси микроэлементов основная положительная роль принадлежит бору. Не находится ли это в противоречии с тем известным фактом, что борные удобрения более всего эффективны на сильно известкованных почвах? В наших же опытах известкование как бы мешает положительному действию микроэлементов. Однако это противоречие только кажущееся. Высокая эффективность борных удобрений на известкованных почвах объясняется тем, что в результате известкования имеющийся в почве бор переводится в трудноусвояемую форму (Бобко и др., 1937; Соколов, 1941; Каталымов, 1948). Но что будет, если в данной почве и в условиях кислой реакции содержание бора ничтожно? В этом случае внесение бора и в неизвесткованную почву должно быть весьма эффективным. Следует учесть также, что в составе известковых пород вносится некоторое количество бора (М. В. Каталымов, 1948). Вместе с тем есть основания предполагать, что микроэлементы — б р о м и и о д эффективнее в условиях слабокислой среды.

На основании описанных выше опытов и других, имеющихся в нашем распоряжении соответствующих материалов (главным образом по льну), б о́ л ь ш у ю э ф ф е к т и в н о с т ь с ы р ы х с о л е й в с р а в н е н и и с к о н ц е н т р а т а м и м о ж н о о б ъ я с н и т ь п о л о ж и т е л ь н ы м д е й с т в и е м содержащихся в первых магния и натрия, а также м и к р о э л е м е н т о в, в том числе прежде всего бора. В условиях непрерывной культуры картофеля, сильно истощающего почву в отношении магния и микроэлементов, положительное действие «примесей» сырых калийных удобрений на урожай картофеля сильнее, чем отрицательное влияние на картофель высоких доз хлора. В результате этого в нашем опыте урожаи картофеля по карналлиту до сих пор про-

Таблица 11

жание крахмала в клубнях картофеля

в сыром веществе клубня											
1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	Средний %
16.0	18.6	15.3	17.5	16.1	14.0	15.2	14.4	16.3	14.9	16.3
15.9	17.2	14.9	15.2	16.0	13.4	14.9	14.3	16.2	14.3	15.6
16.0	18.0	11.9	17.1	15.7	14.1	14.1	13.8	15.0	13.5	15.7
15.1	17.0	14.5	15.6	15.2	15.3	14.3	12.3	14.7	13.6	15.3
15.1	16.4	12.9	16.4	14.6	14.4	14.5	13.3	14.3	14.6	15.1
15.3	17.3	14.5	18.0	14.2	14.7	13.7	13.6	14.4	16.0	15.2
16.0	17.2	13.9	20.9	16.2	15.2	15.5	15.0	14.3	15.6	15.9
14.2	16.0	12.5	17.7	15.4	14.7	14.3	13.7	13.3	15.9	15.0
18.3	20.0	13.4	18.2	17.8	15.1	15.5	14.1	16.1	12.9	17.2
18.5	20.0	14.9	19.6	16.5	16.4	16.1	14.6	16.4	15.4	17.7
17.0	19.2	14.9	19.2	16.6	17.0	18.2	17.3	18.5	19.2	17.5

должают оставаться на довольно высоком уровне, а по концентратам, начиная с 6—7-го года опыта, урожаи клубней стремительно падают, так как наступает так называемое «почвоутомление».

В истории русской агрономии сходное явление впервые привлекло внимание сельских хозяев в конце прошлого столетия. При многолетнем возделывании клевера на одних и тех же полях было отмечено прогрессирующее снижение урожаев. Причина «клевероутомления» исчерпывающе была объяснена крупнейшим русским ученым П. С. Коссовичем (1905); она заключалась в одностороннем истощении почвы в отношении питательных веществ и прежде всего фосфора. Причина «картофелеутомления» в нашем опыте при внесении в почву полного минерального удобрения состоит в истощении почвы в отношении магния и некоторых микроэлементов.

Так как наиболее ценную часть урожая клубней картофеля составляет крахмал, то вопрос о влиянии различных форм калийных удобрений на содержание крахмала в клубнях и на образование его, а также других углеводов в растении, мы считаем необходимым осветить более подробно.

Влияние калийных удобрений на содержание углеводов и азотистых соединений в растении (картофель)

Прежде чем перейти к обсуждению влияния различных форм калийных удобрений на содержание в картофеле различных форм углеводов, мы приведем результаты учета урожая крахмала в описываемом нами опыте. Имеющаяся обширная литература по вопросу о влиянии отдельных форм калийных удобрений на содержание крахмала в картофеле говорит о том, что сульфат калия увеличивает (относительно фона NP) процент крахмала, а хлориды, наоборот, его снижают (Р. П. Певзнер, 1938; В. Н. Прокошев и Е. М. Устюжанина, 1940; Р. Ю. Бродская, 1941). Отрицательное действие хлоридов тем сильнее, чем выше доза удобрения (A. Kuhnke, 1935), чем беднее калием соль (А. Тамман, 1940; Л. В. Рожалин, 1936; А. Г. Шестаков и В. Г. Швыденков, 1934; Д. А. Сабинин, 1940), чем ближе внесено удобрение ко времени посадки картофеля (Е. А. Жориков, 1935; Р. П. Певзнер, 1938; В. Н. Прокошев, 1936) и чем мельче оно заделано

Влияние калийных удобрений на содер

Варианты	Содержание					
	1933	1934	1935	1936	1937	1938
Без калия (фон NP)	23.3	15.7	28.1	9.5	18.2	9.6
Хлорнатрий	23.6	21.7	41.5	11.7	22.0	12.2
Хлоркалий	23.4	19.4	40.1	13.4	28.9	15.4
40% соль на сильвините	20.9	18.4	38.9	15.9	31.7	18.4
Сильвинит	21.0	20.3	38.9	13.7	28.2	19.7
40% соль на карналлите	23.7	20.8	39.4	14.6	31.7	20.1
Электролит	25.0	22.6	43.1	15.7	34.3	18.8
Карналлит	20.1	19.8	41.0	12.2	29.8	17.2
Нитрат калия	24.7	21.4	44.6	20.3	39.0	23.0
Сульфат калия	23.4	21.5	46.4	22.0	45.6	26.5
Без удобрения	21.6	9.2	17.6	10.8	14.5	9.5
Среднее по 8 формам калийных удобрений ц/га	22.8	20.5	41.5	16.0	33.6	19.9
Среднее по 8 формам калийных удобрений %	98	181	148	168	185	207

(А. Тамман, 1940; В. Н. Прокошев, 1940). В табл. 11 приводится процентное содержание крахмала за 16 лет опыта. Крахмал во всех случаях определялся по удельному весу.

Очень низкий процент крахмала в урожае 1933 г. обусловлен, очевидно, сортом «Ранняя роза». Как известно (С. М. Прокошев, 1947), ранние сорта, в условиях средних широт, имеют низкое содержание крахмала. Этим же объясняется и наиболее высокий процент крахмала в 1935—1938 гг. В эти годы в опыте использовался позднеспелый сорт картофеля — «Кореневский». Учитывая это, мы все же видим значительные колебания процента крахмала в одних и тех же вариантах в начале и в конце опыта. В наиболее крахмалистых вариантах, например, с сульфатом и нитратом калия, замечается и наибольшие колебания в содержании крахмала (до 4—5%).

Средний процент крахмала, вычисленный за 16 лет опыта (табл. 11), в общем, отражает картину влияния различных форм калийных удобрений (на фоне NP) на содержание крахмала: хлориды его снижают, а сульфат и нитрат калия его повышают. Чем больше хлора в удобрении, тем ниже процент крахмала в картофеле. Не имея возможности за недостатком места рассмотреть эту таблицу детально, обращаем внимание на следующие главнейшие отраженные в ней моменты.

1. Содержание крахмала в клубнях во всех вариантах, и особенно по концентратам, за последние годы значительно ниже, чем в первые годы опыта. Это снижение тем больше, чем выше был процент крахмала в начале опыта.

2. Процент крахмала в клубне не находится в прямой зависимости ни от размеров клубней, ни от общего их урожая. В варианте «без удобрения», в котором за все годы получен наименьший общий урожай и самые мелкие клубни, процент крахмала наибольший и, наоборот, он меньше по карналлиту, давшему наибольшие урожаи клубней.

3. Корреляция по отдельным годам опыта между содержанием крахмала

Таблица 12

жание крахмала в урожае картофеля

крахмала в урожае картофеля в ц/га										Содержание крахмала за 16 лет		
										Сумма	Среднее	
1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948		ц/га	%
11.8	7.4	6.2	8.4	9.1	7.2	6.3	6.9	3.6	7.8	179	11.2	100
14.5	9.6	6.9	19.5	11.7	5.1	8.9	9.4	5.3	7.6	231	14.4	128
21.6	17.7	6.0	13.2	12.8	7.8	12.5	7.3	4.7	6.5	251	15.7	140
25.3	17.4	10.6	10.6	14.3	2.6	13.2	9.3	8.4	6.4	262	16.4	146
30.6	15.9	10.2	19.3	18.3	6.7	20.5	17.6	11.2	15.3	307	19.1	170
26.8	16.9	11.7	15.1	15.0	8.4	12.5	22.2	16.6	23.0	318	19.9	178
33.8	17.8	11.6	31.9	26.1	19.9	22.7	23.1	13.2	14.2	374	23.4	209
29.0	16.3	10.5	33.0	26.0	10.1	19.8	26.0	15.0	27.1	353	22.1	197
37.9	22.5	12.0	28.3	27.2	14.7	15.8	13.5	6.9	7.1	359	22.4	200
43.2	26.1	15.7	41.6	28.6	19.3	24.3	16.4	11.7	14.5	426	26.7	239
7.3	6.8	4.6	6.6	7.3	8.7	6.8	8.0	3.4	5.8	149	9.3	83
31.0	18.8	11.0	24.1	21.0	11.2	17.6	16.9	11.0	14.3	331	20.7	—
263	254	177	287	236	155	279	245	306	183	185	185	—

и эффективностью калийного удобрения: чем больше прибавка урожая от калия (данной формы), тем выше процент крахмала.

В табл. 12 приводятся данные о содержании крахмала в урожае, вычисленные на основании данных табл. 6 и 11. На рис. 6 эти данные представлены графически.

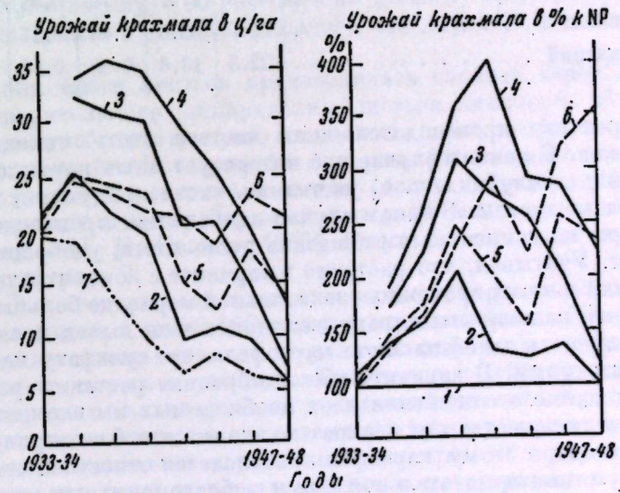


Рис. 6. Влияние калийных удобрений на урожай крахмала при бессменной культуре картофеля
1 — фон NP (Ф); 2 — хлоркалий (х); 3 — нитрат калия (N); 4 — сульфат калия (S); 5 — сильвинит (с); 6 — карналлит (к).

Несмотря на самый низкий процент крахмала по сырым солям, общий урожай крахмала по ним значительно выше, чем по хлористому калию

и 40% солям, а в последние годы даже выше, чем по сульфату и нитрату калия. Благодаря большому проценту крахмала по электролиту, суммарный урожай крахмала в этом варианте выше даже, чем по карналлиту.

О зависимости содержания крахмала от общей площади зеленых листьев на кусте и об относительной производительности единицы листа, выраженной в количестве крахмала, отчетливое представление дает табл. 13. Приводимые данные относятся ко второму сроку взятия проб листьев и клубней — 11 августа 1946 г., когда растения имели еще здоровый вид.

Таблица 13

Влияние площади зеленых листьев и содержания хлорофилла в них на накопление крахмала в клубнях

Варианты	Площадь листа			Содержание хлорофилла		
	Площадь листа, дм²/куст	Урожай крахмала, г/куст	Крахмал (г) / Лист (дм²)	% хлорофилла	Содержание хлорофилла, мг/куст	Крахмал (г) / Хлорофилл (г)
Без удобрения	9.4	11.6	1.23	0.92	50	232
NP — фон	23.8	13.5	0.56	1.19	130	104
+ хлоркалий	24.5	14.1	0.57	0.95	101	139
+ нитрат калия	25.6	19.2	0.75	1.11	131	147
+ сульфат калия	33.9	27.8	0.81	1.15	174	160
+ сильвинит	39.0	27.7	0.70	0.85	154	179
+ карналлит	52.0	33.6	0.64	0.87	187	180
+ хлорнатрий	22.8	13.6	0.59	0.99	104	130

Характеристика производительности листа в этом смысле, понятно, весьма условна. В данном случае нас интересует лишь накопление растением крахмала в клубнях, т. е. учет лишь части продукции, синтезированной зеленым листом. В таком случае наибольшая производительность единицы листа по концентратам показана растениями, удобренными сульфатом калия. Учитывая, что растения в варианте с концентратами калийных удобрений к этому времени в значительной мере уже больны (особенно по хлористому калию), мы вправе расширить наш вывод и сказать, что производительность единицы листа картофеля по сульфату калия выше, чем по сырым солям. В варианте «без удобрения» растения развиваются на голодном пайке в отношении всех необходимых им элементов пищи, но при малом количестве эти элементы находятся в благоприятном соотношении; благодаря этому картофель развивается относительно нормально. При отсутствии в питательной смеси неблагоприятных компонентов, как, например, хлора, производительность единицы листовой поверхности в этом варианте наибольшая.

При сопоставлении действия отдельных форм калийных удобрений отчетливо выступает прямая связь между «производительностью» листа и содержанием в листьях хлорофилла; при прочих одинаковых условиях (освещение, температура, вода и пр.), как это имеет место в нашем опыте,

прямая связь здесь очевидна: чем выше содержание хлорофилла в листьях, тем выше процент крахмала в клубнях. При понижении концентрации хлорофилла, во-первых, меньше поглощается солнечной энергии (красных лучей) и, во-вторых, меньше ассимилируется углекислоты на единицу площади листа.

Наряду с этим из этой же таблицы видно, что в варианте без калия (фон NP), при очень высоком содержании хлорофилла, количество крахмала на единицу пигмента оказывается наименьшим; это явление может быть объяснено тем, что при калийном голодании хлорофилл используется растением наименее производительно.

При прямом солнечном освещении, для успешного выполнения фотосинтетической работы, по С. П. Костычеву (1937), «достаточно примерно одной десятой имеющегося количества зеленого пигмента» (стр. 138). В таком случае различие в содержании хлорофилла в вариантах опыта в 0.1—0.2% не должно иметь существенного значения. Но если учесть, что работа листа картофеля в условиях северо-восточного Предуралья (60° с. ш.) в июле протекает в течение значительной части дня при рассеянном свете (утро и вечер «белых» ночей), а в августе и сентябре все время при пониженной солнечной инсоляции, указанное выше различие в содержании хлорофилла может уже заметно сказаться на фотосинтезе листа.

Различное содержание крахмала в клубнях картофеля отражает собою характер биохимических процессов в листе, в зависимости от примененных форм калийных удобрений. Некоторым отражением этих процессов в растении является содержание в нем различных групп углеводов и азотистых органических соединений.

В 1947 г. по трем срокам вегетационного периода (1 и 18 августа, 11 сентября) были произведены химические анализы водных вытяжек из листьев, взятых с различно удобренных делянок опыта. Для анализов брался 3-й лист (сверху) с 50 растений на делянке. Средняя проба листьев (10—20 г) поступала в анализ не позднее, как через 30 мин. после снятия с растения.

Экстракция мязги листьев производилась горячей водой (50—60° С) после предварительного ошпаривания листьев кипятком. В фильтрате, после осаждения белков уксусно-кислым свинцом, определялись: редуцирующие сахара (по Иссекутцу) и сахароза (после гидролиза 2% HCl), аминокислоты (по Соренсену) и амиды (после гидролиза 10% H_2SO_4), водорастворимый и нерастворимый в воде (в мязге листьев) белок (по Княгиничеву — Н. Н. Иванов, 1946). Результаты анализа представлены графически на рис. 7.

На рис. 7 приведены величины содержания сахаров и азотистых соединений, выраженные в мг на 100 г сырой массы листьев. Несмотря на то, что содержание сухого вещества по различным формам удобрения разное (наименьшее по сырым солям и наибольшее по сульфату калия), произведенный пересчет анализируемых соединений на сухое вещество не изменяет порядка величин, вычисленных по сырому веществу.

Обращаем внимание на следующие моменты.

1. Содержание редуцирующих сахаров и растворимых и нерастворимых азотистых соединений в листьях картофеля по различным формам калийных удобрений различно. Изменения в содержании этих веществ в течение вегетационного периода в различных вариантах также неодинаковы.

2. К моменту массового заболевания растений по концентратам калийных удобрений (первый срок анализа) содержание редуцирующих са-

харов в листьях этих вариантов значительно выше, чем по сырым солям, и тем выше, чем сильнее поражено растение. Вероятно, эти явления взаимно связаны. В литературе такого рода явления отмечены при поражении картофеля кольцевой гнилью (Л. В. Рожалин, 1936). В дальнейшем по этим формам содержание сахаров резко падает и к моменту уборки становится ниже, чем по сырым солям. Если учесть, что ко времени уборки

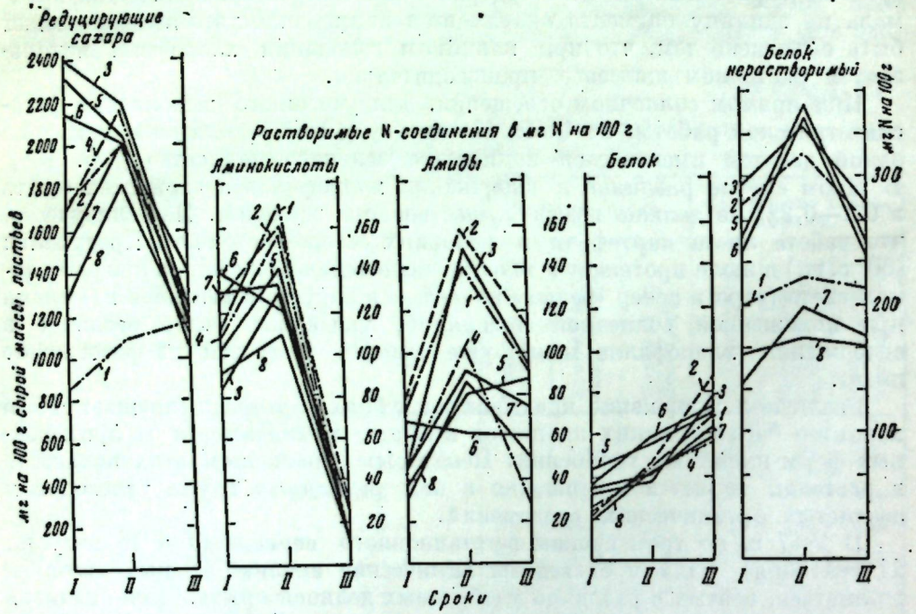


Рис. 7. Содержание сахаров и N-соединений в листьях картофеля в течение вегетационного периода 1947 г.

1 — без удобрения (о); *2* — фон NP (ф); *3* — хлористый калий (х); *4* — хлористый натрий (н); *5* — нитрат калия (N); *6* — сульфат калия (S); *7* — сильвинит (с); *8* — карналлит (к). Сроки: *I* — 1/VIII; *II* — 18/VIII; *III* — 11/IX.

зеленых листьев на кусте по концентратам было очень мало, то можно заключить, что содержание сахаров на все растение по этим формам было к означенному времени совершенно незначительным. По сырым солям и вариантам без калия содержание сахаров в листьях ко второму сроку анализа продолжало увеличиваться. В предуборочный период по всем вариантам, за исключением вариантов «без удобрений», отмечается наименьшее содержание редуцирующих сахаров (и сахарозы).

3. Изменение содержания аминокислот и амидов по отдельным периодам анализа в основном следует изменению содержания редуцирующих сахаров. По фону NP, т. е. при калийном голодании, отмечается наибольшее содержание небелковых форм азотистых соединений (Ф. В. Турчин, 1936; Д. А. Сабинин, 1940; А. В. Владимиров, 1948). Известно, что при относительно высоком содержании небелковых форм азотистых соединений растения легче подвержены различным заболеваниям. По отношению к фону это подтверждается и в нашем опыте. Но при сравнении форм калийных удобрений эта зависимость нарушается. Например, по сульфату калия, к моменту уборки наиболее пораженного варианта, содержание небелковых азотистых соединений ниже, чем по сильвиниту. В варианте без удобрений, в котором растения оставались вплоть до

уборки здоровыми, содержание небелковых азотистых соединений почти такое же, как и по фону.

4. Содержание растворимых белковых соединений во всех вариантах опыта продолжало до последнего срока анализа увеличиваться при одновременном уменьшении содержания нерастворимого (в воде) белка. Перед уборкой содержание белкового азота в листьях фона выше, чем по калийным удобрениям. Наименьшее содержание белковых соединений было по сырым солям. Из концентратов калийных удобрений содержание белковых соединений оказывается больше по хлористому калию и наименьшим по сульфату калия.

Увеличение содержания растворимых белковых соединений в последнем сроке анализа скорее всего связано с преобладанием протеолитических процессов над синтетическими, в условиях недостатка сахаров в листе. Это подтверждается тем, что содержание растворимого белка выше по тем формам (концентраты), по которым всего меньше сахаров, и более резко падение содержания нерастворимого белка.

Д. А. Сабинин (1947), на основании работ Гасснера и Франка, Грегори и Сена, утверждает, что «калийное голодание снижает способность растительных тканей к синтезу белков» (стр. 254). Содержание всех форм азотистых соединений, в том числе и белков, по фону NP (без калия) выше, чем по большинству форм калийных удобрений. Наши данные, как будто, противоречат имеющимся исследованиям. Однако этого сказать с определенностью еще нельзя, так как накопление белковых азотистых соединений может быть следствием не только повышенного синтеза их, но и подавления обмена этих соединений.

Из анализа результатов, приведенных в табл. 6, и наблюдений за ростом и развитием растений в вариантах опыта в поле напрашивается вывод о различном влиянии изучаемых форм удобрений не только на рост, но и на общее развитие растений. По концентратам калийных удобрений растения, сравнительно с вариантами по сырым солям, быстрее завершают свой вегетационный период, быстрее наступает старение растений. Этим отчасти может быть объяснён факт большего содержания сахаров в первый период и белков в предуборочный период по концентратам (особенно по хлористому калию в сравнении с сырыми солями). Мы говорим о т ч а с т и, так как меньшее содержание белков по сырым солям может находиться в связи, например, с подавлением синтетических процессов в клетке в отношении этих соединений. Но на бо́льшую «старость» растений по концентратам калийных удобрений указывает резкое падение процента хлорофилла в листьях, повышение содержания сухого вещества, а также и внешний вид клубней картофеля — большая зрелость их (опробковелость). Относительной «молодостью» клубней по сырым солям можно объяснить отчасти и меньший процент крахмала в них.

Наших материалов, представленных на рис. 7, разумеется, недостаточно, чтобы судить о влиянии отдельных форм калийных удобрений на азотистый обмен в растениях. Несмотря на классические работы агрохимиков и биохимиков (В. Н. Любименко, 1935; Д. Н. Прянишников, 1947; С. П. Костычев, 1937), детали этого обмена и до настоящего времени еще неясны. Нам лишь хотелось установить существование вообще связи и взаимозависимости между состоянием растения в течение вегетационного периода и содержанием в листьях некоторых форм углеводов и азотистых соединений. С этой точки зрения полученные материалы нас вполне удовлетворяют. Анализами установлено, что различные формы калийных удобрений оказывают разное влияние на течение биохимических процессов в растениях. В группе концентрированных удобрений

наиболее резко это различие между хлористым калием и сульфатом калия. В то же время вся группа концентратов резко отличается от группы сырых калийных солей. Установлена определенная связь между пораженностью растений и содержанием азотистых органических соединений в листве.

Тесная корреляция между содержанием хлорофилла в листьях и крахмала в клубнях может быть объяснена только какой-то общей, определяющей их величину, причиной, а не тем, что процент крахмала в клубнях обусловлен содержанием хлорофилла в листьях. По Любименко, «натуральный пигмент живых пластид является сложным цветным белковым соединением зеленой окраски» (стр. 39). Во всяком случае, химическая связь молекул белка и хлорофилла в настоящее время вполне доказана (Т. Н. Годнев, 1947). Выше мы видели, что по сырым солям содержание белковых соединений наименьшее. Поэтому вполне вероятно предположение, что в листьях картофеля по сырым солям образование хлорофилла подавлено.

Таким образом, понижение содержания хлорофилла по сырым солям мы ставим в связь с подавлением синтеза белковых соединений в листе. Снижение синтеза белковых соединений по сырым солям может быть объяснено низким содержанием в листе растворимых углеводов (см. выше).

Интересно было проследить влияние отдельных форм калийного удобрения на содержание органических соединений в листе в течение дня. Дневной ход фотосинтеза, устанавливаемый путем измерения газового обмена листа, изучен основательно (Д. А. Сабинин, 1940; В. Н. Любименко, 1935; С. П. Костычев, 1937; Люндегорд, 1937). Наиболее подробно изучено влияние таких внешних факторов, как концентрация углекислоты, содержание воды, температура, интенсивность и состав солнечного света. Наряду с этим совершенно недостаточно изучен вопрос о влиянии удобрений, а тем более различных форм удобрений на фотосинтез. Имеющиеся работы крайне противоречивы. Даже в отношении калия, значение которого для фотосинтеза считается несомненным (Сабинин, 1940; Stoklasa, 1930; Садиков, 1935), мнения расходятся. Гасснер и Гетц (1934), Грегори и Рихард (1929), работая с зерновыми культурами, и Д. М. Головко (1936), работая с подсолнечником, показали положительное влияние калия на фотосинтез, зависящее от его дозировки. Гасснер и Гетц, Грегори и Рихард считают, что влияние калия на фотосинтез является косвенным — через увеличение транспирации и накопление хлорофилла. Другие исследователи доказывают, что минеральные удобрения, в том числе и калийные, не влияют на фотосинтез. В вегетационном опыте Е. Базыриной и В. Чеснокова (1934) с овсом «на жирной огородной почве и на тощем суглинке» показано, что недостаток минеральных веществ не изменяет хода воздушного питания и в то же время снижает интенсивность дыхания. Ф. Мацков (1930) также отмечает отсутствие влияния калийного удобрения (различных доз) на ассимиляционную деятельность сахарной свеклы. Основная причина противоречивости изложенных результатов заключается в различии условий опытов.

Так как, по В. Н. Любименко (1935), «продуктивность сухого вещества, будучи в прямой зависимости от энергии газового обмена фотосинтеза, в конечном итоге определяется скоростью переработки и усвоения ассимилятов» (стр. 214), а последнее определяется в значительной мере наличием элементов пищи, то следует полагать, что даже не участвующие в фотосинтезе элементы питания должны оказать определенное влияние на его энергию.

На рис. 8 даны графики содержания сахаров и калия в листьях картофеля в различные часы дня (6—12—18 и 24 часа) 9 августа 1948 г. Для

анализа были использованы третьи листья с наиболее развитых стеблей. Средняя проба листьев бралась с 50 кустов на каждой делянке. Сахара и калий извлекались из мязги листьев горячей (90°) водой. Калий определялся кобальтнитритным методом в фильтрате после осаждения белков уксусно-кислым свинцом.

При анализе приводимого ниже материала следует иметь в виду, что растения к моменту взятия проб листьев в различных вариантах удобрений являются разновозрастными. А этим в значительной мере определяется биохимическая деятельность в тканях и различие в химическом составе.

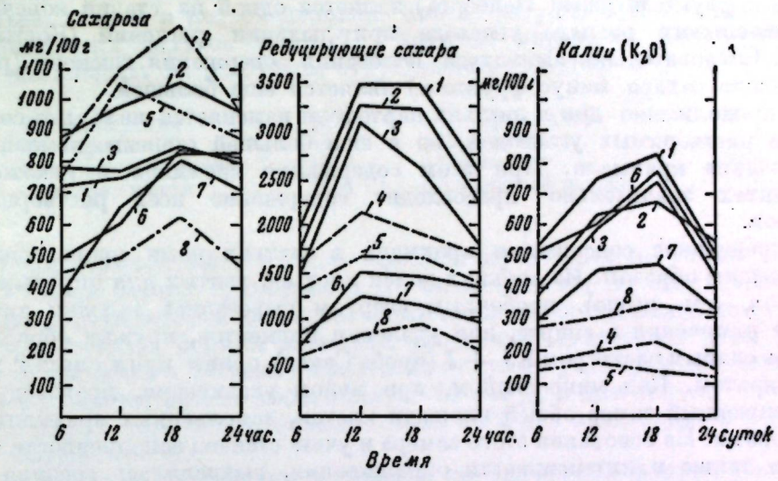


Рис. 8. Содержание сахаров и калия в листьях картофеля в различное время суток 9/VIII 1948 г.

1 — без удобрений (о); *2* — фон NP (Ф); *3* — хлоркалий (х); *4* — хлорнатрий (н); *5* — нитрат калия (N); *6* — сульфат натрия (S); *7* — сильвинит (с); *8* — карналлит (к).

В дневные часы в листьях картофеля по некоторым из форм мы видим исключительно высокое содержание сахаров и калия. Этому, вероятно, способствовали благоприятные метеорологические условия. За пятидневку до взятия проб прошли обильные дожди, а затем установилась хорошая, солнечная погода. В обычных условиях содержание сахаров и калия в 1.5—2 раза ниже.

Фруктоза, как известно, заметно разрушается при нагревании в кислой среде. Поэтому в вариантах с высоким содержанием фруктозы количество вычисляемой сахарозы, определяемое после гидролиза сахаров в 2% HCl при 70° С, несколько меньшее, чем действительное ее содержание.

Кривая ассимиляции углекислоты в течение дня, как это установлено (Любименко, 1935; Костычев, 1937), выражается двухвершинной кривой, т. е. имеет два максимума: в первой половине дня и во второй. Содержание же сахаров в листьях по данным наших анализов выражается одновершинной кривой с одним максимумом. Если бы мы производили анализы не через 6 часов, а, например, через каждый час, то все же повторения кривой хода ассимиляции не получилось бы. Это объясняется, во-первых, тем, что в первой половине дня фотосинтез углеводов превосходит их расход, а во-вторых, тем, что при снижении фотосинтеза в полдень образование сахаров может итти за счет гидролиза отложенного в листьях крахмала.

При одинаковой общей тенденции к накоплению сахаров и калия в течение дня различие в зависимости от формы удобрений чрезвычайно велико. Содержание редуцирующих сахаров, например, по концентратам калия в дневное время в 2.5—3 раза выше, чем по сырым солям. У редуцирующих сахаров замечается также и наибольшая амплитуда колебания содержания их в течение дня. Не приводя цифрового материала, отметим, что содержание фруктозы, определяемое с помощью дифениламина по Селиванову, в период наибольшего дыхания, в середине дня, наименьшее. Это до известной степени подтверждает гипотезу, согласно которой фруктоза (эфир Нейберга) является одной из стадий конечного окислительного распада углевода при дыхании растений (Костычев, 1937). Следовательно, амплитуда колебания содержания глюкозы (редуцирующие сахара минус фруктоза) является еще большей.

В продолжение дня в листьях картофеля изменяется не только содержание растворимых углеводов, но в еще большей степени изменяется содержание крахмала. При этом содержание крахмала в некоторых вариантах значительно превосходит содержание всех растворимых сахаров.

Определение содержания крахмала в листьях нами производилось следующим образом. Из верхних долек листьев, взятых для определения сахаров (см. выше), пробочным сверлом вырезались кружки ткани. После кипячения в спирте, для удаления пигментов, кружки обрабатывались слабым раствором KJ + J (проба Сакса), одним или в смеси к хлоралгидратом. Под микроскопом, при малом увеличении, производился приближенный замер общей площади клеток, заполненных крахмальными зернами. На основании этого замера и учета степени заполненности клеток, а также и интенсивности окрашивания, вычислялась средняя величина «% крахмалонакопления в листе». За 100% принималось состояние, при котором все клетки паренхимы (точнее, хлоропласты клетки), кроме клеток жилок, были полностью наполнены крахмалом. В данной методике принимается условно, что степень заполненности крахмалом клеток просматриваемой столбчатой паренхимы примерно такая же, как и клеток губчатой паренхимы, которые, естественно, в микроскопе не видны. Этот метод, по существу, качественный, все же позволяет составить некоторое представление о содержании и динамике крахмала в листе (табл. 14).

Таблица 14

Содержание крахмала в листьях картофеля

Варианты	% мертвой поверхности листа	Заполненность клеток крахмалом в % в различное время суток				Разница между 18 и 6 час.
		6 час.	12 час.	18 час.	24 часа	
Без удобрения	2	5	60	70	20	65
NP — фон	30	5	20	50	10	45
+ хлоркалий	45	10	35	60	50	50
+ нитрат калия	35	5	40	55	40	50
+ сульфат калия	15	8	45	55	45	47
+ сильвинит	5	30	50	90	55	60
+ карналлит	3	40	60	95	65	55
+ хлорнатрий	10	20	50	70	50	50

Мы видим, что синтез крахмала происходит в течение всего дня. В противоположность содержанию сахаров, содержание крахмала в листьях картофеля по сырым солям наибольшее. Даже к утру, когда клетки по концентратам калийных удобрений почти полностью освобождены от крахмала, по сильвиниту и карналлиту количество остаточного крахмала достигает 40%.

Химическими анализами установлено, что наблюдаемая под микроскопом стопроцентная заполненность клеток листа крахмалом соответствует 35—40% крахмала в пересчете на сухое вещество листа.

В качестве примера мы приводим ниже процент крахмала в мязге листьев, взятых в первой половине дня 18 августа 1947 г. после извлечения из них сахаров (рис. 7). Крахмал определен диастатическим методом. Расчет на абсолютно сухую навеску листьев в %:

Без удобрения	16.9	+ Сульфат калия	20.1
NP — фон	14.6	+ Сильвинит	28.6
+ хлористый калий	16.7	+ Карналлит	30.4
+ нитрат калия	16.4	+ Хлористый натрий	18.0

Если содержащийся в листе крахмал пересчитать на глюкозу и все полученные сахара суммировать, то окажется, что по всем срокам дня содержание углеводов по сырым солям лишь немногим ниже, чем по концентрированным формам калийных удобрений. В вечерние часы содержание крахмала в листьях в процентах от суммы углеводов для вариантов опыта с концентратами соответствует 40—45%, а для сырых солей 65—70%; рано утром, соответственно, около 20% для концентратов и до 60% по сырым солям.

Различие в содержании углеводов по различным формам калийных удобрений заключается не столько в общем их количестве, сколько главным образом в соотношении форм сахара — крахмал.

Как известно (Костычев, 1937; Сабинин, 1940), равновесие: крахмал ⇆ сахара может быть сдвинуто изменением температуры, содержания воды («подвядание»), интенсивностью освещения величиной pH и другими причинами. По различным формам калийных удобрений нами отмечается некоторое различие в содержании свободной и связанной воды, в ионном составе клеточного сока и в величине pH. И все же различное действие отдельных форм калийных удобрений на соотношение крахмал: сахара, повидимому, обусловлено влиянием их на какие-то более существенные факторы, определяющие это равновесие.

Можем ли мы на основании изложенных результатов сделать выводы о влиянии различных калийных удобрений на фотосинтез растений? Прежде всего совершенно ясно, что ни в коем случае нельзя судить о фотосинтезе только на основании урожая крахмала картофеля. По данным наших анализов (см. выше), в листьях к 18 часам накапливается до 7—7.5% углеводов (в пересчете на глюкозу). При урожае ботвы в 30—35 т/га содержание углеводов в ботве будет соответствовать в таком случае около 1.5 т/га глюкозы или до 8 т/га клубней. Согласно опытам Лорха (1948), при таком весе ботвы максимальный суточный прирост клубней равняется 1.5—2 т/га. Следует учесть, что углеводы, накопившиеся в листьях к 18 часам дня, являются лишь разностью (частью) между количеством углеводов, синтезированных листом, и количеством их, израсходованным в процессе дыхания за день и оттекшим в клубни. Поэтому приближенно можно принять, что количество углеводов, содержащихся в клубнях к моменту уборки урожая, соответствует примерно 15% углеводов,

синтезированных листом. Отсюда становится понятным, почему нельзя судить о фотосинтезе листа на основании урожая крахмала при уборке. Величина конечного урожая крахмала определяется не столько синтезирующей деятельностью пластиды, сколько внешними условиями роста и развития растения, энергией дыхания и скоростью оттока ассимилятов из листа.

Как видим, растение обладает значительными резервами в отношении возможности повышения урожая крахмала в клубнях. Даже без увеличения урожая листа на кусте можно значительно увеличить урожай клубней и выход крахмала, если найти способы усиления оттока сахаров в клубень. Очевидно, что в данном отношении основную роль должен играть уход за растением: частое рыхление почвы, окучивание и другие агротехнические мероприятия.

Энергия фотосинтеза пластиды листа может быть учтена достаточно точно, если будут известны: количество ассимилированной углекислоты (фотосинтез), количество выделенной углекислоты за период опыта (энергия дыхания) и отток ассимилятов в другие органы растения. Таких измерений мы не производили. Однако общее заключение о влиянии удобрений на продуктивность фотосинтеза мы все же можем сделать на основании содержания сахаров в листе, урожая общей массы растений и содержания крахмала в листьях и клубнях.

А. Я. Кокин (1926) зависимость урожая от фотосинтеза и дыхания выражает следующей формулой:

$$A = \Phi - Д,$$

где A — нарастание урожая; Φ — фотосинтез за учетный период; $Д$ — дыхание данного растения в продолжение опыта. Все обозначения однозначны, т. е. или в единицах CO_2, или сахара, или крахмала.

В. Н. Любименко (1935) расширяет эту формулу:

$$A = (B - C) + E,$$

где B и C соответствуют Φ и $Д$ в формуле Кокина, а E представляет собой количество усвоенных растением азота и зольных элементов. Величина E, по Любименко, может иногда достигать 20% от величины урожая.

Обе формулы являются лишь схемами и ни в коем случае не выражают собой математической зависимости указанных величин. Урожай и синтез, с одной стороны, и дыхание, с другой, находятся между собой в очень сложной функциональной зависимости. Поэтому Е. Базырина и В. Чесноков (1934), давшие правильный критический анализ формулы Кокина, сами впали в ошибку, так как в своей работе, как они об этом пишут, «вычисляли фотосинтез из других величин, входящих в формулу углеродного баланса, что легко сделать, так как $\Phi = A + Д$» (стр. 17). Пользуясь же данными формулами лишь как схемой, вполне возможно составить довольно верное представление об изучаемых процессах.

Если допустить, что энергия дыхания ($Д$) примерно одинакова при всяких формах калийных удобрений, то по приросту сухого вещества растения (A), в том числе крахмала в клубнях, можно судить об энергии фотосинтеза (Φ). Поэтому из данных, приведенных на рис. 6 и в табл. 6 и 11, следует, что в период, когда растения остаются здоровыми, п р о д у к т и в н о с т ь ф о т о с и н т е з а при применении концентрированных форм удобрений, особенно сульфата калия, выше, чем при применении сырых солей.

Из того, что при внесении концентратов получается очень высокое, по сравнению с эффектом внесения сырых солей, содержание сахаров, а следовательно, и больше расходуется их растением на дыхание (Я. М. Иванов, 1937; Ф. Мацков, 1930) и на синтез азотистых соединений, а также принимая во внимание более высокий в этом случае процент крахмала в клубнях, можно сделать вывод также и о большей э н е р г и и ф о т о с и н т е з а при применении концентратов. Это подтверждается еще и тем, что в листьях картофеля, получающих сырые калийные соли, общее содержание всех форм углеводов бывает меньшим.

Доказано, что одним из факторов, ограничивающих продуктивность фотосинтеза в листьях, является энергия оттока ассимилятов из листьев в запасные органы (В. Н. Любименко, 1926). В наших опытах это должно было сказаться прежде всего на растениях, получивших концентраты, в которых основное количество углеводов представлено подвижными их формами. Накопление углеводов в виде крахмала вряд ли может влиять отрицательно на энергию фотосинтеза. Повидимому, и для подвижных (активных) форм неблагоприятное действие может проявиться лишь при очень высоких концентрациях. По хлористому калию, например (рис. 8), содержание редуцирующих сахаров получилось наибольшее, а снижение его начинается лишь после 18 часов. При выращивании картофеля по карналлиту, наоборот: содержание сахаров в этом случае очень низкое, а падение его имеет место уже в первой половине дня. Следовательно, если бы удалось при концентратах том или иным путем усилить отток ассимилята из листьев в клубни, то накопление крахмала возросло бы еще сильнее.

Таким образом, снижение процента крахмала в клубнях картофеля, получившего в виде удобрения сырые соли, является следствием двух причин: 1) снижения энергии фотосинтеза и 2) снижения энергии оттока ассимилятов из листьев в клубни.

В данном случае под словом «отток» следует понимать не скорость передвижения моносахаров из листьев в стебель и клубни, а освобождение листа от всех форм углеводов, в том числе и от крахмала. При сырых солях скорость оттока моносахаров в клубни, по отношению к общему содержанию их в листе, возможно, даже выше, чем при концентратах, но благодаря низкому содержанию моносахаров накопление углеводов в клубнях при сырых солях значительно меньше, чем при концентратах. Это происходит вследствие того, что в листьях при сырых солях равновесие моносахара $\rightleftarrows$ крахмал оказывается сдвинуто сильно вправо.

Увеличение отношения дисахаров и тем более полисахаров (в нашем случае крахмала) к моносахарам свидетельствует о преобладании синтетических процессов над гидролитическими. Во второй половине дня величина отношения крахмал : редуцирующие сахара выражается величиной 1.75—2.5 для концентрированных форм калийного удобрения и 3.5—4.5 для сырых солей, т. е. вдвое выше. Что же является причиной резкого сдвига в данном случае равновесия форм углевода в листе в сторону накопления первичного крахмала? Не оказывают ли тут влияние вносимые вместе с удобрением микроэлементы?

Из табл. 9 видно, что в картофеле по всем изучаемым микроэлементам, несмотря на их различную физиологическую значимость, содержание крахмала в клубнях значительно выше, чем по фону. Положительное действие микроэлементов на крахмалонакопление выразилось рядом: $J > B > Br > Cu > Zn$.

По фону без микроэлементов у картофеля довольно рано стали засыхать и опадать листья. Этим отчасти объясняется нами очень низкий процент

крахмала в клубнях. По иоду, к моменту уборки картофеля, зеленых листьев было менее 15%, а содержание крахмала оказалось наивысшим — на 4% больше, чем по фону. Это говорит о положительном влиянии всех изучаемых микроэлементов на крахмалонакопление в клубнях или, что более правильно, об отрицательном значении для крахмалонакопления недостатка какого-либо из этих микроэлементов. Так как ко времени уборки картофеля ботва в сосудах с почвой, удобренной бором и медью, была наиболее жизнедеятельной, то некоторое увеличение содержания крахмала в картофеле в этих вариантах может быть объяснено более продолжительной жизнедеятельностью куста (фактор времени). Отсюда следует, что наиболее благоприятное действие на крахмалонакопление оказывают иод и бром и наименее благоприятное — медь и цинк.

Содержание редуцирующих сахаров в листьях картофеля утром 7 сентября 1948 г.в различных вариантах микроэлементов выразилось рядом: I > B > Br > Cu > Zn, т. е. ряд содержания редуцирующих сахаров был тот же, что и ряд крахмала в клубнях; при этом содержание сахаров в картофеле по фону было почти вдвое выше, чем в вариантах с микроэлементами. В клубнях картофеля, непосредственно после уборки, содержание сахарозы во всех вариантах опыта с микроэлементами было в 4—6 раз ниже, чем в картофеле по фону; содержание фруктозы в клубнях соответствует содержанию в них крахмала.

Содержание первичного крахмала в клетках зеленых листьев, снятых 7 августа 1948 г., соответствует ряду: Cu > J > Br > B > Zn.

Приведенных данных, разумеется, недостаточно для сколько-нибудь широких обобщений в области проблемы влияния микроэлементов на углеводный обмен в растениях, но уже и на основании их может быть сделан тот вывод, что изучаемые микроэлементы не только не явились причиной низкого содержания крахмала в клубнях картофеля по сырым солям, но, наоборот, способствовали его повышению. Наиболее сильное положительное действие тут оказывает иод. Несмотря на сокращенный вегетационный период (продолжительность работы зеленого куста), в этом варианте отмечено наибольшее содержание углеводов в листьях и накопление крахмала в клубнях. Меньшая интенсивность работы листа при внесении бора, в сравнении с соответствующим эффектом внесения иода, компенсируется большей продолжительностью работы листа. Возможно, что именно присутствием бора в сырых солях объясняется большая жизнедеятельность ботвы картофеля по этим солям, особенно по карналлиту.

В работе Я. М. Иванова (1937) с сахарной свеклой отмечается, что при недостатке бора в питательном растворе и при высокой продуктивности ассимилирующей поверхности отток ассимилятов из листа оказался сильно пониженным; это вполне согласуется также и с нашими наблюдениями над картофелем.

Медь, несмотря на стимулируемую ею продолжительную жизнедеятельность куста, не дает значительного накопления крахмала в клубнях. Более того, в опыте 1947 г. процент крахмала в клубнях картофеля по меди оказался даже ниже, чем по фону. Создается впечатление, что в картофельном растении по меди и в еще большей степени по цинку имеет место относительно большая потеря углеводов на дыхание.

Если указанные микроэлементы оказывают столь благоприятное действие на крахмалонакопление, то чем объяснить, что в клубнях картофеля по сырым солям, содержащим эти микроэлементы, процент крахмала так низок. Повидимому, явление это вызвано отрицательным действием хлора.

В листьях картофеля, взятых 9 августа 1948 г. в 12 час. дня (рис. 8), содержание хлора составляло (в % к сырой массе):

Без удобрения	0.013	Хлористый калий . . .	0.120
NP — фон	0.012	Сильвинит	0.280
Нитрат калия	0.013	Карналлит	0.294
Сульфат калия	0.012	Хлористый натрий . . .	0.130

А. В. Благовещенский (1934) считает, что «накопление хлора в тканях листа вызывает отравление хлоропластов и подавляет процесс синтеза». С. С. Баславская и М. Н. Сыроешкина (1936) на основании своих наблюдений над картофелем в полевых и вегетационных опытах пришли к выводу, что «большие дозы хлоридов снижают как энергию ассимиляции, так и накопление углеводов в листьях картофеля».

Таким образом, несмотря на положительную роль микроэлементов, содержащихся в сырых солях, отрицательное действие хлора на крахмалонакопление берет верх над их положительным действием.

Отрицательное действие хлора сказывается в нескольких направлениях, а именно:

1) в снижении содержания хлорофилла в листьях;
2) в подавлении фотосинтеза хлоропластами;
3) в сдвиге системы углеводного обмена в листьях в сторону накопления крахмала;
4) в снижении оттока ассимилятов из листьев в клубни.

Вопрос о влиянии хлора на энергию дыхания остается пока невыясненным. Следовательно, различная эффективность отдельных форм калийных удобрений по отношению к урожаю клубней картофеля обусловлена различным их влиянием на фотосинтез и обмен веществ в растении, на рост и развитие растения и, в конечном счете, на ферментативную деятельность в последнем.

Влияние калийных удобрений на активность ферментов

По современным представлениям, все основные химические перегруппировки и превращения органических веществ в клетке, связанные с процессом фотосинтеза и дыхания, роста и развития растения, «осуществляются сложным внутренним энзиматическим аппаратом» (В. Н. Любименко, 1935).

Химическая природа энзимов пока неизвестна. По Оппенгеймеру: «с чисто химической точки зрения невозможно дать определение энзимам, ибо понятие «энзим» связано исключительно с активностью катализаторов, образованных живым организмом» (Гартнер, 1934, стр. 107).

Большинство исследователей склоняется к мнению Вильштеттера и Оппенгеймера, что энзимы — это амфотерные электролиты, которые представляют собой систему определенных соединений, находящихся в состоянии тончайшей дисперсности, и их коллоидного носителя (Оппенгеймер, стр. 175). В. С. Садиков (1935) пишет: «энзимы надо рассматривать, как сложные системы или комплексы, состоящие из трех компонентов: 1) энзимоносителя; 2) энзимного вещества и 3) энзимокатализатора» (стр. 619).

Коллоидальная природа этого комплекса обусловливает то, что под воздействием веществ, способных изменять физическое состояние (дисперсность) системы, резко изменится весь ход биохимических процессов в организме. Такими веществами являются, в частности, соли тяжелых металлов

(Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Mn, Fe, Ag и др.). Так как абсолютные количества энзимного вещества в организме незначительны, то достаточно ничтожных количеств этих металлов, чтобы существенно изменилось физическое состояние энзимов.

В литературе имеются указания на то, что препараты энзимов быстро инактивируются следами тяжелых металлов и что аминокислоты и соединения серы, наоборот, защищают энзимы от инактивации (В. С. Садиков, 1935). Есть указания также и на влияние на активность энзимов некоторых анионов. Например, Пальмер нашел, что следы свободного иода почти совершенно подавляют активность липазы; несколько менее сильное действие оказывает бром. «Амилаза в соединении с хлоридами усиливает свое действие, в то время как соединения липазы с хлоридами совершенно недеятельны» (В. А. Омелянский, 1931).

Поэтому не подлежит никакому сомнению зависимость между активностью известной группы ферментов и наличием в растении микроэлементов. Стимулирующее или токсическое действие какого-либо микроэлемента на растение проявляется прежде всего во влиянии этого микроэлемента на энзиматический аппарат растения.

Ввиду сложности самой проблемы ферментов и еще недостаточной разработки методов их изучения, большинство существующих методов позволяет определять лишь качественную характеристику их активности. Используя некоторые простейшие методы, мы попытались увязать полученные выше результаты полевого опыта с характеристикой активности некоторых характерных для картофеля ферментов.

Летом 1948 г. с делянок полевого опыта были взяты листья картофеля для определения синтезирующего и гидролизирующего действия инвертазы методом вакуум-инфильтрации по Курсанову (А. Курсанов, 1936). Для опытов был взят 3-й лист с 10 кустов. Для инфильтрации сахарозы и редуцирующих сахаров брались навески долек листьев в 3 г. Продолжительность опытов — 3 часа. Вследствие избытка воды в листьях во время опыта, мы считаем полученные данные преуменьшенными в отношении синтезирующей деятельности и, наоборот, преувеличенными в отношении инверсии. Результаты опыта следующие (в % от количества введенного сахара):

	Синтезировалось	Инвертировалось
NP — фон	5.6	74.8
+ хлористый калий	12.7	68.1
+ нитрат калия	23.6	67.4
+ сульфат калия	26.3	76.4
+ сильвинит	2.1	52.7
+ карналлит	2.3	49.8

Независимо от того, каков механизм синтеза сахарозы в растении, происходит ли последний путем конденсации глюкозы с эфиром Нейберга при участии инвертазы, или путем конденсации фруктозы с эфиром Кори при участии энзима фосфорилазы (С. М. Прокошев, 1947), полученные данные убедительно подтверждают факт пониженной ферментативной деятельности в картофеле по сырым солям и, наоборот, повышенной по концентратам, особенно по сульфату калия.

В другом аналогичном опыте изучалось влияние на ферментативную деятельность инвертазы хлоридов калия, натрия и магния. В листья, взятые с делянок полевого опыта, удобренных NP (без калия) вводились сахара в составе 0.1 *n* раствора солей. Ввиду допущенных ошибок методического свойства, результаты опыта получились мало достоверными. Не

приводя цифровых данных, отметим лишь резкое падение синтезирующей деятельности при введении хлоридов всех видов и, наоборот, повышение гидролизирующей деятельности. По гидролизующему действию натрий значительно превосходит калий; действие магния занимает среднее место.

В пробах листьев и клубней, взятых 9 и 13 августа 1948 г. с делянок полевого опыта, было произведено определение активности каталазы по Баху и Опарину и амилазы по Линтнеру (Н. Н. Иванов, 1946). Активность фермента амилазы в картофеле весьма незначительная: 1.7—2.0 единицы в листьях и 0.9—1.4 в клубнях. Наименьшая активность отмечена в опытах с сильвинитом. Резче выражена активность каталазы — фермента, тесно связанного с деятельностью окислительных ферментов (пероксидаза, полифенолоксидаза, тирозиназа). Активность каталазы в мл 1.0 *n* раствора $KMnO_4$ на 1 г из сырой массы выражается в следующих величинах:

	Листья	Клубни
NP—фон	1.47	10.25
+ хлористый калий	1.21	6.70
+ нитрат калия	6.58	11.44
+ сульфат калия	8.03	6.68
+ сильвинит	1.13	6.68
+ карналлит	0.65	3.32

Хлориды калия, особенно сырые соли, резко снизили активность каталазы.

Мязга клубней картофеля в некоторых вариантах удобрений при стоянии на воздухе очень скоро начинает окрашиваться. Сначала появляется розовая окраска, которая переходит последовательно в красную, коричневую, бурую и, наконец, через несколько часов становится черной. Наиболее быстрое и сильное окрашивание характерно для вариантов без калия (фон и хлористый натрий), а также без всякого удобрения. По калийным удобрениям интенсивность окраски характеризуется рядом: сульфат калия — нитрат калия — хлористый калий — сильвинит — карналлит; при этом по сульфату калия окраска доходит до черно-бурого цвета, а по сырым солям только до розового. Содержание тирозина, определяемого с помощью Милонова реактива по Томасу (А. Р. Кизель, 1934), в клубнях картофеля, по данным наших анализов, по хлоридам значительно выше, чем, например, по сульфату калия. Содержание тирозина в листьях картофеля по концентратам калия выше, чем по фону и без удобрений, а по сырым солям несколько ниже. Следует к тому же иметь в виду, что большое содержание хлора в растворе мешает определению тирозина. Из сказанного следует, что интенсивность окрашивания мязги картофеля обусловлена не содержанием тирозина, а активностью тирозиназы. Таким образом, активность тирозиназы по концентратам калия, особенно по сульфату, выше, чем по фону и по сырым калийным удобрениям.

Мы не располагаем данными, которые характеризовали бы активность пероксидазы — фермента, играющего очень важную роль в дыхании и синтезирующей деятельности инвертазы (Н. Н. Дьячков, 1941), а потому можем лишь высказать предположение о подавлении ее активности хлорсодержащими удобрениями, по аналогии с влиянием этих солей на активность каталазы и тирозиназы.

Признаком, характеризующим состояние внутриклеточного обмена веществ, в том числе дыхания, является величина окислительно-восстановительного (ОВ) потенциала. Метод непосредственного измерения ОВ-потенциала в живом растении (И. Г. Важенин, 1950) устанавливает прямую

связь между определяемой величиной Eh и содержанием углеводов в растениях, особенно крахмала. Например, в вегетационном опыте с отдельными формами калийных удобрений (см. выше) получены следующие величины:

	Аммиачный фон		Нитратный фон	
	Eh	% крахмала	Eh	% крахмала
Хлористый калий . .	388	14.6	300	16.0
Сульфат калия	325	16.3	410	14.4

Чем выше содержание растворимых сахаров в листе, тем ниже величина ОВ-потенциала и тем эффективнее процесс крахмалонакопления в клубнях.

На основании всего изложенного мы считаем себя вправе констатировать существование следующего убывающего ряда для величин ферментативной активности в листьях картофеля по различным формам калийных удобрений: сульфат калия > нитрат калия > хлористый калий > сильвинит > карналлит.

Какое влияние на ферментативную деятельность оказывают микроэлементы? К сожалению, мы располагаем материалами, характеризующими активность ферментов только в клубнях картофеля.

В клубнях картофеля в вегетационном опыте 1948 г. определены следующие величины активности ферментов:

	Каталаза	Амилаза
NPKMg — фон	16.8	0.66
+ бром	18.2	0.91
+ иод	17.9	0.86
+ бор	20.1	0.75
+ медь	10.0	0.71
+ цинк	10.1	0.71

Все микроэлементы, исключая медь и цинк, повысили активность каталазы и незначительно (особенно бром) активность амилазы.

Сравнительная интенсивность окрашивания мязги клубней в опыте с микроэлементами выражается рядом: бор > иод > бром > фон > цинк > > медь.

Содержание тирозина в клубнях, по данным наших анализов, ничтожное. В листьях тирозина значительно больше и количество его соответствует ряду: фон > иод > бор > бром > медь > цинк.

Действие микроэлементов на активность тирозиназы в общем выражается тем же рядом, что и в отношении каталазы.

Величина ОВ-потенциала в стеблях картофеля находится в прямой коррелятивной связи с интенсивностью крахмалонакопления в клубнях:

	Eh	% крахмала
NPKMg—фон	450	11.6
+ бром	375	14.9
+ иод	300	15.7
+ бор	380	15.7
+ медь	410	14.8
+ цинк	465	13.8

Таким образом, степень влияния микроэлементов на ферментативную деятельность в клубнях выражается рядом: бор > иод, бром > медь, цинк.

Большей активности ферментов в общем соответствует большее содержание крахмала в клубнях.

Мы не имеем данных, характеризующих активность ферментов в листе, но полагаем, что содержащиеся в сырых солях микроэлементы не оказывают отрицательного действия на работу ферментов в листе; из имеющихся косвенных наблюдений как будто следует, что при внесении их в высоких дозах возможно относительно большее накопление первичного крахмала в листьях, т. е. сдвиг динамического равновесия отдельных форм углеводов в сторону синтеза форм более сложных.

Вопрос о влиянии иона хлора на активность растительных ферментов пока мало изучен. Ввиду сложности этой проблемы и несовершенства применяемой тут методики, полученные результаты весьма противоречивы. В некоторых работах доказывается даже отсутствие всякого влияния хлоридов на деятельность ферментов, с чем мы согласиться не можем. Если даже допустить, что хлор не оказывает никакого действия непосредственно на ферменты, то все же остается несомненным косвенное действие его на ферментативную деятельность в результате влияния на проницаемость плазмы, на структуру, на ионный состав клеточного сока, на реакцию и т. д. С. С. Баславская (1943) в своем исследовании, посвященном картофелю и некоторым другим растениям, констатирует довольно резкое усиление гидролитической деятельности амилазы под воздействием хлоридов. Jams и Cattle считают, что хлориды активизируют декстринирующее действие амилазы и не влияют на сахарирующее ее действие. Наши опыты по инфильтрации (по Курсанову) также показали усиление гидролизующего действия амилазы и инвертазы в результате введения в листья хлоридов.

Чем объяснить в таком случае факт накопления в листьях чрезмерного количества крахмала при удобрении картофеля сырыми солями?

Не имея по этому вопросу прямых доказательств, мы все же считаем возможным наблюдаемое явление объяснить двумя причинами: 1) высоким содержанием хлора в листьях и 2) высоким содержанием брома в сырых солях (до 500 и более г/га). Это объяснение вероятно, но вопроса не исчерпывает. Основная причина данного явления остается невыясненной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ценность проведенных нами исследований заключается прежде всего в их комплексности. Только при одновременном и разностороннем (с применением различных методов) изучении проблемы взаимодействия между удобрением, почвой и растением могут быть правильно поняты процесс и динамика изменения условий, в которых этот процесс протекает. «Взаимодействие, вот первое, что мы наблюдаем, когда начинаем рассматривать движущуюся материю в целом с точки зрения современного естествознания» (Ф. Энгельс, стр. 15).

Расчлененное изучение проблемы: взаимодействие удобрений с почвой, взаимодействие удобрений с растением (вегетационные опыты) и т. д. является односторонним и вспомогательным методом, позволяющим разрешить лишь частные вопросы. Поэтому перенесение выводов, делаемых на основании результатов такого рода исследований, в производственные условия полеводства оказывается возможным лишь в весьма ограниченном числе случаев.

Целым рядом исследований взаимодействия между удобрением и почвой установлено, например, что при систематическом внесении в почву сильвинита происходит, по сравнению с хлористым калием, быстрое обеднение верхних слоев почвы кальцием и магнием, разрушение структуры почвы и диспергирование микроагрегатов, ухудшение водно-воздушных

свойств почвы; большое количество вносимого хлора действует отрицательно также на микробиологическую деятельность в почве, а равно и на биохимические процессы в растении. Отсюда делается тот логический вывод, что от применения сырых калийных удобрений вообще следует отказаться и что пользование ими может допускаться лишь в случае необеспеченности хозяйства концентрированными формами калийных удобрений. В то же время многочисленными полевыми опытами с различными культурами доказывается высокая эффективность как сильвинита, так и карналлита.

Противоречивость этих выводов и многочисленных опытов объясняется тем, что они основаны на результатах изучения взаимодействия удобрения с почвой без растения, между тем как картина взаимодействия под растением оказывается совершенно иной, тем более в многолетних полевых опытах. В опыте с картофелем через 16 лет систематического внесения в песчаную почву калийных удобрений урожайность по хлористому калию оказалась ниже, чем по сильвиниту. По хлористому калию оказалось более сильным, чем по сырым солям, обеднение верхних слоев почвы питательными веществами (калием, магнием, кальцием), более ухудшились водно-воздушные свойства почвы и оказалось значительно более подавленной микробиологическая деятельность в почве. Причина этого заключается в том, что по хлористому калию в течение опыта происходит систематическое и непрерывное снижение урожайности картофеля, т. е. растение оказывает все меньшее и меньшее положительное действие на плодородие почвы.

Система почва $\rightleftarrows$ растение едина и неразрывна. Если мы говорим, что повышение плодородия почвы («способность к одновременному обеспечению наличия воды и пищи» — Вильямс) обеспечивает повышение урожайности растения, то столь же верно положение, что высокие урожаи растений увеличивают плодородие почвы.

Происходит это прежде всего потому, что высоким урожаям сопутствует неуклонное возрастание количества связанной растением солнечной энергии, а также количества зольных питательных веществ, переведенных в форму органического вещества, а это активизирует микробиологическую деятельность в почве и улучшает структуру последней. Поэтому, повышая урожайность культур, например путем применения высокой агротехники или введения новых высокоурожайных сортов, мы тем самым повышаем и плодородие почвы.

В условиях опыта картофель по сырым солям оказался полнее обеспечен необходимыми питательными веществами, чем по хлористому калию и другим концентратам. Под растением, при значительно большой урожайности по сырым солям, декальцинирующее действие и другие неблагоприятные отрицательные стороны влияния этих солей были парализованы противоположным положительным действием самого растения.

Нашим опытом очень четко выявлено значение равнозначности и незаменимости факторов жизни растений. Необеспеченность картофеля по концентратам калийных удобрений магнием и рядом микроэлементов влечет за собой резкое падение урожайности. Карналлит как балластная форма калийного удобрения обычно менее эффективен, оказался лучшим из всех изученных форм калийных удобрений благодаря содержанию в нем магния и некоторых микроэлементов.

Этим опытом показано также, что урожай растения является не арифметической суммой положительных влияний на растение, а алгебраической суммой как положительных, так и отрицательных влияний.

Отрицательное действие хлора на микробиологическую деятельность в почве и на биохимические процессы в растении по карналлиту продолжается; диспергирующее действие одновалентных оснований, конечно, не исчезает, но относительно нормально развивающееся растение преодолевает неблагоприятное действие сырых солей, и в результате мы имеем довольно высокий урожай картофеля.

Какой же практический вывод в отношении калийных удобрений должен быть сделан на основании результатов нашего опыта? Не следует ли рекомендовать сырые калийные соли — сильвинит и карналлит — в качестве наиболее эффективных форм калийных удобрений? Конечно, нет. Опытом твердо установлено, что наиболее эффективными формами калийного удобрения являются сульфат и нитрат калия. Если не допустить истощения почвы в отношении магния, натрия и микроэлементов, то эти формы калийного удобрения и при длительном постоянном их применении будут оставаться наилучшими. Высокая эффективность сырых солей лишь подтверждает огромную важность полного обеспечения растения всеми нужными для него элементами пищи для получения высоких урожаев.

При недостаточном количестве вносимого в почву в настоящее время навозного удобрения можно предполагать, что во многих случаях внесение магния и некоторых микроэлементов может оказаться весьма эффективным на песчаных почвах. При этом мы полагаем, что на таких почвах 40% соли, особенно «электролит», окажутся более полезными, чем хлористый калий. Дело в том, что пока еще изучены не все «примеси» сырых солей. Вполне возможно, что в состав сильвинита и карналлита входят еще и другие, нужные растениям элементы, помимо бора, брома, иода и рубидия.

При изучении микроэлементов брома и иода следует учитывать также географический фактор, а именно, удаленность данной местности от моря. Л. С. Селиванов (1946) показал, что чем дальше от моря, тем все меньше и меньше содержится в осадках брома и иода. Если воздух приморских областей содержит бром и иод в количестве 3.10^{-6} и 2.10^{-7}%, то в воздухе континента их содержится соответственно 2.10^{-7} и 2.10^{-8}%, т. е. в десять раз меньше. Отсюда следует, что эффективность изучаемых Br и J будет тем выше, чем более удалено от моря место произрастания культуры, под которую они вносятся. Может быть именно этим объясняется отчасти большая эффективность (в опытах ВИУАА) сырых калийных солей в областях Предуралья (А. Н. Афанасьев, 1937; П. Г. Найдин, 1948) в сравнении с западными областями.

Как показали многочисленные исследования, проведенные за последние 10—15 лет, во многих обычно у нас применяемых удобрениях содержатся микроэлементы, причем иногда в количествах, превышающих потребность в них удобряемого растения. А. А. Хализев (1934) приводит следующие результаты относящихся сюда химических анализов:

в североафриканских фосфоритах	содержится	0.015—0.034% ZnO
в американских фосфоритах	»	до 0.045% ZnO
в некоторых суперфосфатах	»	до 0.3% As
в чилийской селитре	»	до 0.03% B
в польских каинитах	»	более 0.003% B

М. В. Каталымовым установлено значительное содержание бора во многих удобрениях. По его расчетам, например, в составе древесной золы при обычных дозах этого удобрения, вносится бора 224 г/га, в составе

36 т/га навоза — 186 г/га, в составе 40 т/га торфа — 285 г/га бора, т. е. в 2—3 раза больше, чем его выносится средними урожаями картофеля или корнеплодов.

На почвах, испытывающих недостаток микроэлементов, положительный эффект удобрений в ряде случаев бывает обусловлен не только действием азота, калия или фосфора, но также и содержащихся в них микроэлементов. Не исключена также возможность и обратного явления — малая эффективность внесенного удобрения может оказаться следствием депрессирующего действия содержащегося в нем того или иного вредного микроэлемента. В настоящее время можно считать установленным, что чем токсичнее известный элемент, тем в более ничтожных количествах он способен оказывать положительное действие, причем самое незначительное увеличение его концентрации может уже оказать отрицательное действие. Поэтому следует пересмотреть вопрос об эффективности удобрений, содержащих значительное количество микроэлементов. На песчаных почвах, бедных всеми питательными веществами и слабо буферных, как положительное, так и отрицательное действие микроэлементов будет выражено наиболее резко. Здесь исключительно важную роль играет дозировка удобрений. Повышенная доза удобрения, например сильвинита, может оказать депрессивное действие именно в результате токсического действия микроэлементов, содержащихся в этом удобрении в большом количестве.

Агрохимические свойства исходной почвы при закладке опыта на целине и на делянках с почвой, получавшей в течение многих лет минеральное удобрение, ухудшились; в связи с этим общее плодородие почвы сильно понизилось. Почти в полтора раза снизился процент гумуса, резко уменьшилось содержание органических форм фосфора и азота, увеличились кислотность почвы и количество подвижного алюминия, сильно снизилась насыщенность щелочно-земельными основаниями; вместе с тем заметно ухудшились физические свойства почвы. Почва, получившая концентраты калия (KCl), оказалась истощенной в отношении магния, серы и микроэлементов.

Даже для наиболее благоприятных вариантов удобрений этот опыт убедительно подтвердил, что применение минеральных удобрений в условиях монокультуры неизбежно ведет к снижению плодородия почвы. Интенсивное использование минеральных удобрений тогда предупреждает снижение плодородия почвы и обеспечивает высокие урожаи как надземной, так и подземной массы растения, когда они вносятся в определенных оптимальных формах и пропорциях. Иначе говоря, только тогда предупреждается падение плодородия почвы, когда в процесс окультуривания почвы вовлекается культурная растительность, высокие урожаи которой обеспечиваются интенсивным и правильным удобрением.

Но для систематического повышения плодородия почвы и этого недостаточно; необходимо еще включение в состав удобрений органических их форм и извести, а также введение надлежащего севооборота.

Перед советской агрономической наукой стоит задача — вооружить сельскохозяйственную практику методом непрерывного увеличения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Академик В. Р. Вильямс писал: «Этот прогресс возможен лишь в том случае, когда наше воздействие на условия, в которых протекает это сложное производство, направлено одновременно на весь их комплекс. Этот комплекс условий представляет одно органическое целое, все элементы которого связаны неразрывно».

ВЫВОДЫ

В работе излагаются результаты полевых и вегетационных опытов и лабораторных исследований по изучению причин различной эффективности разных форм калийных удобрений при систематическом их внесении под картофель на песчаной дерново-подзолистой почве.

1. В результате систематического на протяжении 16 лет внесения в почву кислого набора минеральных удобрений (NPK), при интенсивной предпосадочной и послепосадочной обработке поля, произошли следующие изменения свойств почвы:

а) на 20—30% снизилось содержание гумуса и резко уменьшилось содержание органических форм азота и фосфора;

б) увеличилась дисперсность микроагрегатов, снизилась водо- и воздухопроницаемость, уменьшилась влагоемкость и водоудерживающая способность верхних слоев почвы;

в) снизилась величина почвенного поглощающего комплекса и, следовательно, также и величина емкости поглощения; уменьшилась насыщенность почвы щелочноземельными основаниями и увеличилась кислотность почвы;

г) ухудшился состав микробиологического населения почвы; уменьшилось количество неспороносных форм бактерий и актиномицетов и значительно увеличилось количество грибов; систематически ухудшались условия нитрификационной и аммонификационной деятельности в почве.

2. При систематическом внесении калийных удобрений, по отношению к фону:

а) снизилась величина водо- и воздухопроницаемости и, наоборот, несколько повысилась величина влажности и влагоемкости почвы по профилю; существенных различий в связи с разными формами удобрений не отмечено;

б) содержание поглощенных калия, магния и кальция выше по сырым солям, чем по концентратам; из концентратов наибольшее обеднение верхних слоев почвы магнием и кальцием — по хлористому калию и наименьшее — по сульфату калия;

в) общая микробиологическая активность в почве по сырым солям выше, чем по концентратам; нитрификационная способность также выше по сырым калийным удобрениям.

3. Различия в урожайности картофеля по разным калийным удобрениям во времени обусловлены не только воздействием вносимых удобрений на физические, физико-химические и микробиологические свойства почвы, а в большей мере непосредственным действием химического состава удобрения на растение, а именно, обеспечением последнего, кроме калия, еще магнием, натрием, серой и различными микроэлементами.

4. Из концентрированных форм калийных удобрений наиболее эффективной формой в качестве удобрения под картофель является сульфат калия, в меньшей степени — нитрат калия и в наименьшей — хлористый калий. Преимущество сульфата калия выражается в более благоприятном действии его на биохимические, в том числе ферментативные процессы в растении, следствием чего по этой форме отмечена наибольшая энергия фотосинтеза и оттока сахаров в клубни с превращением их в крахмал.

5. Неблагоприятным фактором воздействия хлористых калийных удобрений на урожай картофеля является содержащийся в них хлор. Поэтому, в условиях обеспеченности растения всеми необходимыми ему элементами питания, эффективность хлористых калийных удобрений тем меньше, чем выше содержание в них хлора.

6. Содержание крахмала в клубнях картофеля по разным формам калия выражается убывающим рядом: сульфат калия > нитрат калия > > без удобрения > фон NP > хлористый калий > хлористый натрий > > сильвинит > карналлит. Чем больше хлора в удобрении, тем ниже процент крахмала в картофеле. Процент крахмала в клубнях не находится в прямой зависимости ни от величины клубней, ни от размеров общего их урожая.

7. Снижение процента крахмала в клубнях картофеля по сырым солям является следствием двух основных причин: 1) снижения энергии фотосинтеза и 2) снижения энергии оттока ассимилятов из листьев в клубни. Непосредственной причиной этого является высокое содержание в листьях хлора, подавляющего ферментативную деятельность.

8. В результате многолетнего (16 лет) однообразного удобрения картофеля процент крахмала в клубнях для большинства форм калийных удобрений, за исключением магнийсодержащих, систематически снижается. Последние 6 лет наибольший процент крахмала получен в варианте без удобрения. В пределах одной формы удобрения, в изменении процента крахмала с первых лет опыта до настоящего времени замечается определенная закономерность: если прибавка урожая клубней от калия увеличивается, то процент крахмала в них повышается, и наоборот, процент крахмала снижается при уменьшении урожая общей массы клубней.

9. Содержание хлорофилла по сульфату и нитрату калия выше, чем по хлористому калию, а по хлористому калию значительно выше, чем по сильвиниту и карналлиту. Пониженное содержание хлорофилла мы ставим в связь с подавлением синтеза белковых соединений в листе по этим удобрениям.

10. В результате непрерывного возделывания картофеля, на 7—8-е годы опыта урожай клубней картофеля по концентрированным формам калийных удобрений начинает систематически снижаться, а в дальнейшем положительное действие удобрений совершенно исчезает. Наступает явление так называемого «картофелеутомления» почвы.

11. Основной причиной «картофелеутомления», выражающегося в данном случае в заболевании растений и последующей потере ими зеленых листьев, является одностороннее истощение почвы в отношении некоторых питательных веществ, прежде всего магния и ряда микроэлементов (бор, иод, бром, медь и др.).

12. Сырые калийные соли, особенно карналлит, мало эффективные в первые годы после закладки опыта, с течением времени становятся даже более эффективными, чем концентрированные формы. Основной причиной большей эффективности сырых солей является содержание в них магния (карналлит и производные на его основе) и микроэлементов (карналлит, сильвинит и калийные соли на их основе): бора, брома, иода, рубидия и др.

13. Положительное действие микроэлементов на урожай клубней картофеля выражается в сохранении большей жизнедеятельности зеленого куста растения (бор, медь), в усилении образования углеводов в листе (бор, иод, бром), в повышении энергии оттока сахаров из листьев в клубни. Положительное действие микроэлементов на конечный урожай клубней картофеля выражается рядом: B > J > Br > Cu > Zn. Наиболее сильное влияние на крахмалонакопление в клубнях оказывают иод и бром и самое слабое — цинк.

14. Ввиду высокой эффективности некоторых микроэлементов в отношении урожайности ряда сельскохозяйственных культур и значительного содержания их в большинстве общепринятых удобрений (навоз, торф, зеленое удобрение, зола, фосмука, сырые калийные соли и чилийская селитра), необходимо эффективность указанных удобрений изучать, с учетом влияния содержащихся в них микроэлементов, особенно на песчаных почвах и тем более при частом повторении на данном поле одной и той же культуры (картофеля, корнеплодов).

15. Изучать эффективность удобрений, содержащих микроэлементы, следует с учетом содержания микроэлементов в почве (химический и минералогический анализ), в удобрении (в растворимой и нерастворимой части) и в атмосферных осадках (особенно в отношении иода и брома).

16. Для большинства песчаных почв дерново-подзолистой зоны, при интенсивном сельскохозяйственном их использовании и при недостаточной унавоженности, для получения высоких и устойчивых урожаев картофеля необходимо внесение в качестве удобрений магния, серы и ряда микроэлементов (бор, медь, бром и др.).

17. При условии обеспеченности картофеля магнием (в некотором количестве также и натрием) и микроэлементами наиболее эффективными формами калийных удобрений под эти культуры являются сульфат калия, нитрат калия и менее — хлористый калий. При достатке в почве указанных выше элементов, их следует добавлять к соответствующим удобрениям. Сырые калийные соли (сильвинит и карналлит), ввиду малого содержания в них калия, целесообразно применять только в бассейне р. Камы. На легких дерново-подзолистых почвах из хлоридов могут быть рекомендованы также и 40% соли, особенно электролит.

ЛИТЕРАТУРА

Арнаутов В. В. Приемы получения высоких урожаев картофеля. Агробиология, № 6, 1947.

Афанасьев А. Н. Действие калийных удобрений на урожай картофеля. Калий, 7, 1937.

Базырина Е. и Чесноков В. Углеводный баланс как метод изучения воздушного питания растений. Тр. Ленингр. общ. естеств., т. LXIII, в. 1, 1934.

Баславская С. С. и Сыроешкина М. Н. Влияние хлориона на энергию ассимиляции и содержание углеводов в листьях картофеля. Хим. соп. земл., 10, 1936.

Баславская С. С. Влияние хлористых солей на деятельность амилазы в растениях. Биохимия, т. 8, в. 4, 1943.

Бер Е. Ф. Почвы и удобрения. Сельхозгиз, 1947.

Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых. ОНТИ, 1937.

Благовещенский А. В. Биохимия растений. Госхимтехиздат, 1924.

Бобко Е. В., Матвеева Т. В., Филиппов А. Н. и Дубошова Т. Д. О поглощении бора в почвах. Микроудобрения. Тр. ВИУАА, в. 22, ВАСХНИЛ, 1937.

Бобко Е. В. Содержание важнейших микроэлементов в почвах СССР и методика определения некоторых из них. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. V, в. 1, 1944.

Боровик-Романова Т. Ф. Рубидий в биосфере. Тр. Лабор. геохим. пробл. им. Вернадского АН СССР, т. VIII, 1945.

Бродская Р. Ю. Опыты с калийными удобрениями на легкой почве. Тр. НИУИФ, в. 148, 1941.

Бурксер Е. С. Редкие элементы в соликамских карналлитах. Сб. «Соликамские карналлиты», ОНТИ, 1935.

Буткевич В. В. и Шолохова Е. Н. Физиологическая характеристика калийных солей по отношению к свекле. Из раз. вег. оп. и лаб. раб., т. XV, 1930.

Важенин И. Г. Динамика и эффективность калийных удобрений. Пермь, 1936.

Важенин И. Г. Песчаные и супесчаные подзолистые почвы и их плодородие. Пермь, 1939.

Важенин И. Г. Определение окислительно-восстановительного потенциала в растениях. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXXI, 1950.

Васильков В. М. Действия различных форм калийных удобрений (по данным Географической сети полевых опытов НИУ) за 1927—1930 гг. Тр. НИУ, в. 94, 1933.

Вернадский В. И. Очерки геохимии. 1934.
Вильямс В. Р. Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1947.
Вильямс В. Р. Основы земледелия. Сельхозгиз. М., 1948.
Виноградов А. П. Геохимия и биохимия. Успехи химии, т. VII, в. 5, 1938.
Виноградов А. П. Содержание меди в различных почвах (к вопросу о происхождении так называемой «болезни обработки» злаков). Докл. АН СССР, т. XXVII, № 9, 1940.
Владимиров А. В. Действие аммонийных солей и нитратов на урожай сахарной свеклы в зависимости от анионного состава и реакции среды. Тр. ВИУАА, Минеральные удобрения, в. 3, 1934.
Владимиров А. В. Роль калия, натрия и магния в процессах сахаронакопления в сахарной свекле. Тр. ВИУАА, в. 26, 1940.
Владимиров А. В. Физиологические основы применения азотистых и калийных удобрений. Сельхозгиз, 1948.
Владимиров А. В. Влияние сульфатов и хлоридов на поступление и растение аммиачной и нитратной форм азота. Хим. соц. земл., № 3, 1935.
Воробьев Ф. Н. и Мосолов Н. В. Динамика соединений азота в почве при внесении удобрений. II. Превращения соединений азота в почве при внесении сульфата аммония. Тр. ВИУАА, в. 26, 1940.
Гедройц К. К. К вопросу о поглощенном натрии в почве. Почвоведение, 5, 1929.
Гедройц К. К. Почва, поглощающий комплекс, растения, удобрения и мелиорация. Хим. соц. земл., № 1, 1932.
Гедройц К. К. Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почв и его взаимоотношения с растением. Хим. соц. земл., № 9—10, 1932.
Гедройц К. К. О взаимодействии между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением. Справочник по удобрениям НИУ, 1933.
Годнев Т. Н. Строение хлорофилла и возможные пути его образования в растении. Изд. АН СССР, М.—Л., 1947.
Головко Д. М. Влияние азотистого и калийного питания на интенсивность фотосинтеза у подсолнечника. Хим. соц. земл., № 12, 1936.
Головко Д. М. Влияние азотистого и калийного питания на фотосинтез и рост сахарной свеклы. Журн. «Свекловичное полеводство», 1938.
Голубев Б. А. и Платонов Ф. П. К вопросу о физиологической кислотности калийных солей. Тр. ТСХА. Агрохимия, т. 5, в. 1, 1940.
Горбунов Н. И. Поглотительная способность почв и ее природа. Сельхозгиз, 1948.
Гортнер Р. Основы биохимии. Ч. IV, 1934.
Гутман Н. Г. Реакция сортов картофеля на удобрение. Сб. ВИУАА «Сорт и удобрение», 1936.
Дикусар П. Г. Физиологическое значение солей аммония в связи с изменением состава питательной смеси. Тр. ВИУАА, в. 3, 1934.
Дикусар И. Г. Влияние аммиачного и нитратного питания на содержание сахаров в растениях. Питание растений азотом и другими зольными элементами. Тр. ВИУАА, в. 26, 1940.
Домонтович М. К. Влияние изоляции кальция на развитие кукурузы. Из результатов вегетац. опытов и лабор. работ, т. XII, 1923.
Драгомирова М. А. Содержание иода в питьевых водах. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, т. VII, 1944.
Драгомирова М. А. Содержание иода в продуктах питания из различных районов Союза. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, т. VII, 1944.
Дробков А. А. Влияние некоторых радиоактивных элементов—урана, радия и актиния—на урожай гороха. Труды Биогеохимической лаб. АН СССР, т. V, 1939.
Дружинин Д. В. Об условиях действия калийных удобрений. Из рез. вег. оп. и лаб. раб., т. XV, 1930.
Дружинин Д. В. Значение натрия в удобрениях для повышения урожая сахарной свеклы на некоторых почвах. Хим. соц. земл., т. I, 1935.
Дружинин Д. В. и Ширшов А. А. Значение натрия в удобрениях для повышения урожая сахарной свеклы. Хим. соц. земл., 11—12, 1935.
Дьячков Н. Н. К вопросу о физиологической роли пероксидазы в растениях. Биохимия, т. 6, в. 4—5, 1941.
Евстафьева М. А. Удобрение картофеля на песчаных почвах (Новозыбковская с.-х. оп. ст.). Смоленск, 1932.
Егоров М. А. Вопросы зольного питания растений. Харьков, 1923.
Егоров М. А. NaCl и $MgSO_4$ как удобрение под сахарную свеклу. Свекловичное полеводство, 3, 1936.
Жориков Е. А. Влияние различных сроков применения сильвинита на агрономические свойства почвы и урожай картофеля. Хим. соц. земл., № 4, 1935.

Зенюк А. В. Медные удобрения под зерновые культуры на осушенных болотах. Изд. ВАСХНИЛ, 1937.
Иванов Я. М. Фотосинтез и урожай сахарной свеклы в зависимости от доз бора. Сб. «Микроудобрения» Изд. ВАСХНИЛ. 1937.
Иванов Д. Н. и Седлецкий И. Д. К освоению торфяно-болотных почв. Почвоведение, № 12, 1946.
Иванов Н. Н. Методы физиологии и биохимии растений. Сельхозгиз, 1946.
Казанский М. П. О применении микроудобрений под картофель. Вести. с.-х. науки Овощеводство и картофель, в. 1, 1940.
Каталымов М. В. О выносе бора из почвы урожаями сельскохозяйственных культур. Докл. АН СССР, т. 53, № 9, 1946.
Каталымов М. В. Значение бора в земледелии СССР. Сельхозгиз, 1948.
Керефов К. Н. Подвижность калийных удобрений в почве и химизм взаимодействия с почвой. Тр. ЛОВИУАА, в. 45, 1936.
Кизель А. Р. Практическое руководство по биохимии растений. Биомедгиз, 1934.
Кирсанов А. Т. Изменение подвижности калия в почве под влиянием растений и удобрений. Тр. ЛОВИУАА, в. 45, 1936.
Киселев И. С. О роли магния в растении. Докл. ВАСХНИЛ, в. 13, 1939.
Коссович П. С. Клевероутомление почвы. Журн. оп. агр., кн. 6, 1905.
Костычев С. П. Физиология растений. Сельхозгиз, 1937.
Красильников Н. А. О взаимодействии микроорганизмов почвы с растениями. Природа, 3, 1941.
Кулик Г. К вопросу о влиянии анионов Cl и SO_4 на нитрификацию азотистых удобрений. Тр. Полесской с.-х. оп. ст., т. V, в. 45, 1931.
Курсанов А. Л. и Казакова М. Н. Исследования в области физиологии сахаронакопления у сахарной свеклы. Тр. ЦНИС, в. 12, Биохим. лаб., № 1, 1933.
Курсанов А. Обратимое действие ферментов в живой растительной клетке. Биохимия, т. I, 1936.
Ламбин А. З. Микроэлементы, как факторы урожайности. Тр. Омского с.-х. инст., т. III (XVI), 1938.
Левицкий А. П. и Балашев Л. Л. Действие калийных удобрений по сводным данным полевых опытов. Тр. НИУ, в. 54, т. VIII, 1928.
Леонтьев Н. Рубидий у растений. Природа, 8, 1947.
Лисицын Д. Н. О переходе сахароза ⇆ крахмал в растительных клетках. Биохимия, т. 8, в. 4, 1943.
Лорх А. Г. Динамика накопления урожая картофеля. Сельхозгиз, 1948.
Лысенко Т. Д. Агробиология. Сельхозгиз, 1948.
Любименко В. Н. О физиологической роли крахмала, отлагаемого в зеленой паренхиме листа. Изв. Главн. бот. сада, 25, 1926.
Любименко В. Н. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Сельхозгиз, 1935.
Люндегорд Г. Влияние климата и почвы на жизнь растений. Сельхозгиз, 1937.
Маврицкий Н. В. Сорт и удобрения. Сб. ВИУАА «Сорт и удобрения», М., 1936.
Малюга Д. П. К определению меди в породах, в почвах и организмах полярографическим методом. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, в. VII, 1944.
Мацков Ф. Вплив періодичного штучного освітлення на роботу асиміляційного та сизиматичного апарату цукрового буряка. Тр. Инст. прикл. бот., Сб. I, 1930.
Молчанов С. П. и Дмитриева Н. А. К вопросу о влиянии хлористого натрия на урожай растений в связи с разработкой стандартов калийных удобрений. Хим. соц. земл., № 11, 1936.
Морачевский Ю. В. и Федорова А. И. Результаты опробования на бром средних проб солей Соликамского месторождения. Изв. Всес. геол. разв. объед., в. 32, 1932.
Морачевский Ю. В. Акцессорные элементы и нерастворимые остатки соликамского карналлита. Сб. «Соликамские карналлиты». ОНТИ, 1935.
Омелянский В. А. Краткий курс общей и почвенной микробиологии, 1931.
Певзнер Р. П. Влияние длительного применения различных форм калийных удобрений на урожай картофеля и свеклы и на свойства почвы. Хим. соп. земл., № 10, 1938.
Петербургский А. В. К вопросу о нитрификации в кислых почвах. Почвоведение, I, 1946.
Поспелов И. А. Борные удобрения на подзолистых почвах СССР. Изд. АН СССР, 1947.
Прокошев С. М. Биохимия картофеля. Биохимия культурных растений, т. IV, Сельхозгиз, 1934.
Прокошев С. М. Биохимия картофеля. Изд. АН СССР, 1947.
Прокошев В. Н. Карналлит как удобрение. Калий, № 1, 1936.

Прокошев В. Н. Приемы и время внесения калийных удобрений. Сб. ВИУАА «Техника применения удобрений», 1936.
Прокошев В. Н. и Устюжанина Е. М. Сравнительная эффективность форм калийных удобрений. Хим. соц. земл., № 1, 1940.
Прокошев В. Н. и Устюжанина Е. М. Гипс и сера как удобрения на легких почвах. Хим. соц. земл., № 2, 1941.
Прянишников Д. Н. К физиологической характеристике азотнокислого аммония. Научно-агрон. журн., I, 1924.
Прянишников Д. Н. О физиологической кислотности калийных солей. Хим. соц. земл., № 5, 1932.
Прянишников Д. Н. Агрохимия. Сельхозгиз. 1940.
Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР, 1947.
Пчелин А. А. Динамика калия в поглощающем комплексе почв. Почвоведение, № 1, 1941.
Ратнер Е. И. Влияние обменного натрия в почве на рост растений и физические свойства почвы. Хим. соц. земл., № 3, 1935.
Рессель Э. Д. Почвенные условия и рост растений. Сельхозгиз, 1936.
Рожалин Л. В. и Кирей Е. А. Влияние сильвинита на почву, физиологию и урожай картофеля. Тр. Полесской оп. ст., т.VI, в. 61, 1936.
Рожалин Л. В. Удобрение сортов картофеля и устойчивость к некоторым болезням. Сб. ВИУАА «Сорт и удобрение», 1936.
Рубин Б. А., Пушкинская О. П. и Соколов В. Е. Влияние высотного фактора на энзиматическую активность растения. Биохимия, т. 10, в. 5—6, 1945.
Рубин Б. А., Арциховская Е. В., Спиридонова Н. С. и Лутикова О. Т. О периодичности действия ферментов в растении. Тр. Инст. физиол. раст. им. Тимирязева, т. IV, в. 1, 1946.
Рубин Б. А., Арциховская Е. В. и Лутикова О. Т. Метод определения синтетической активности амилазы в живой растительной ткани. Докл. АН СССР, т. 31, № 9, 1941.
Сабинин Д. А. Минеральное питание растений. Изд. АН СССР, 1940.
Садиков В. С. Курс биологической химии. Биомедгиз, 1935.
Седлецкий И. Д. и Иванов Д. Н. Содержание меди в главнейших типах почв Союза ССР и спектральный метод ее определения. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. V, в. 1, 1944.
Селиванов Л. С. Геохимия и биогеохимия рассеянного брома. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, т. V, 1939.
Селиванов Л. С. Хлор и бром в массивных кристаллических породах. Докл. АН СССР, т. XXVIII, № 9, 1940.
Селиванов Л. С. Геохимия и биогеохимия рассеянного брома. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, VIII, 1946.
Синякова С. И. Содержание бора в почвах СССР. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, V, 1939.
Соколов А. В. Чувствительность растений к хлоридам и извести. Тр. Моск. дома ученых, в. 1, 1937.
Соколов А. В. Действие бора на известкованных подзолистых почвах в связи с явлением почвоутомления. Хим. соц. земл., № 6, 1941.
Тамман А. Эффективность калийных удобрений под картофель. Хим. соц. земл., № 2—3, 1940.
Туркова Н. С. Влияние соотношения калия и кальция в питательном растворе на поглощение питратных и аммонийных ионов. Докл. конфер. ТСХА, в. II, 1945.
Турчин Ф. В. Превращение мочевины в почве. Удобр. и урожай, № 6, 1931.
Турчин Ф. В. О природе действия удобрений. Сельхозгиз, 1936.
Успенский Е. Е. Марганец в растении. Журн. опытн. агрон., т. XVI, 1915.
Ферсман А. Е. Геохимия, т. IV. 1937.
Хализев А. А. Химические стимуляторы (марганец, бор, цинк, мышьяк), 1934.
Худяков Н. Н. Сельскохозяйственная микробиология. 1926.
Цейтлин С. Г. Содержание бора в различных почвенных горизонтах и растениях. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, V, 1939.
Чесноков В. и Базырина Е. Участие корней высших растений в питании почвенных микроорганизмов. Тр. Ленингр. общ. естеств., т. 43, в. 1, 1934.
Швыденков В. Г. Влияние хлоридов и сульфатов натрия и магния на зольный состав и содержание сахаров в сахарной свекле. Тр. ВИУАА, в. 26, 1940.
Шевченко Н. Н. Опыты с колчеданным огарком под коноплю. Докл. АН СССР, т. XXX, № 8, 1941.
Шевчук Н. Влияние бора на урожай картофеля в связи с известкованием. Тр. ВИУАА, в. 22, Микробиология, изд. ВАСХНИЛ, 1937.

Шестаков А. Г. и Швыденков В. Г. Влияние различных катионов хлоридов и сульфатов питательного раствора на развитие растений. Тр. ВИУАА, I. Азотные удобрения, в. 1, 1934.
Шестаков А. Г. и Швыденков В. Г. Действие удобрений, содержащих хлор в большом количестве, на размеры и качество урожая различных культур. Тр. ВИУАА. Минеральные удобрения, в. 3, 1934.
Шестаков А. Г. О влиянии калия, натрия и кальция на углеводный обмен в растении. Докл. конфер. ТСХА, в. II, 1945.
Школьник М. Я. Проблема микроэлементов в свете новейших данных. Природа, 9, 1947.
Щербаков А. П. Влияние калия на углеводный обмен у гороха в условиях естественного освещения. Изв. АН СССР, Отд. мат. и ест. наук, 355, 1938.
Щербаков А. П. Калий как регулятор ферментативных процессов в растениях. Тр. инст. физиол. раст. им. Тимирязева, т. III, в. 2, 1946.
Энгельс Ф. Диалектика природы. Партиздат, 1948.
Якушкин И. В. Опыт по влиянию натриевых солей на растения (1912). Из рез. вег. оп. и лаб. раб., т. VIII, 1913.
Якушкин И. В. Растениеводство. Сельхозгиз, 1947.
Gassner G. u. Goeze G. Assimilationsverhalten, Chlorophyllgehalt und Transpirationsgröße von Getreideblättern mit besonderer Berücksichtigung der Kalium. und Stickstoffernährung. Ztschr. f. Bot., B. 27, 1934.
Gregory F. and Richards T. The effect of manurial deficiency on the respiration and assimilation rate in barley. Ann. of Bot., v. 43, 1929.
Klinkowski M. Beiträge zur Kenntnis und Diagnostik nichtparasitarer Krankheitsformen der Kulturpflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Kalimangelschäden. Ern. d. Pfl., B. 31, H. 2, 1935.
Kuhnke Al. Der Einfluss einer Kaliüberdüngung auf den Ertrag und auf den Stärkegehalt der Kartoffel und ihre weiteren Auswirkungen auf das Pflanzgut. Ern. d. Pfl., XXXI, H. 13/14, 1935.
Lampitt L. H. a. Goldenberg N. The composition of the potato. Chem. a. industr., v. 59, No 45, 1940.
Stoklasa I. Kali und Bodengare. Die Ern. d. Pfl, t. 26, No 6—7, 1930.
Stoklasa I. Neuentdeckungen über die physiologische Wirkung des Kaliums auf Vitalvorgänge der chlorohyllhaltigen und chlorophyllosen Zelle. Vest. Ceskoslow. akad. Zemedelske, X, No 21, 1931.
Wallace T. The diagnosis of mineral deficiencies in plants. London, 1944.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

И. П. СЕРДОБОЛЬСКИЙ

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ПРЕВРАЩЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МАРГАНЦА В ПОЧВЕ

За последнее время опубликован ряд работ Лаборатории питания Института физиологии Академии Наук УССР, руководимой академиком П. А. Власюком (1943, 1945, 1948, 1950), по определению в подзолистых, буроземных, дерновых, болотных, черноземных, каштановых, солонцеватых и солончаковатых почвах Украины подвижных форм почвенного марганца и по изучению в полевых условиях эффективности марганецсодержащих удобрений.

В этих работах остались нерассмотренными вопросы мобилизации почвенного марганца, превращения его инертных, нерастворимых соединений в подвижные, достаточно растворимые, легко усвояемые растениями. На роль и значение такой мобилизации почвенного марганца для питания растений неоднократно указывалось многими авторами; сводку работ их можно найти в известных статьях и монографиях по марганцу: Е. Е. Успенского (1915), А. А. Хализева (1934), К. К. Гедройца (1935), А. Т. Кирсанова (1940) и др. Результаты этих работ позволяют дать следующую краткую характеристику состояния марганцовых соединений почвы. Марганец 2-валентный присутствует в почве или в виде водорастворимых соединений, или в виде обменного; марганец 4-валентный, а по некоторым авторам и 3-валентный — в виде нерастворимых окислов. При pH выше 6.5 2-валетный марганец в результате химических и биологических процессов является окисленным, поэтому известкованные и щелочные почвы имеют очень небольшие количества подвижных форм соединений марганца. При pH ниже 6.5 высшие окислы марганца восстанавливаются органическим веществом и в результате микробиологической жизнедеятельности почвы. Поэтому такие почвы обладают достаточным количеством растворимых форм марганцовых соединений, а в сильно увлажненных почвах количество их может стать даже токсичным для растений.

В этих работах, дающих качественную характеристику превращения марганцовых соединений под влиянием почвенных условий, все же отсутствует количественная интерпретация явления, без чего многие стороны трансформации соединений марганца в почве остаются неясными.

ИЗОПЛЕТЫ МАРГАНЦА

Марганец в своих соединениях встречается и в 2-, 3-, 4-, 6- и 7-валентных формах. При окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условиях почв марганец высших валентностей (6 и 7) не может существовать, он быстро восстанавливается до 2- и 4-валентного состояния. Марганец 3-валентный, существование которого в продуктах окисления 2-валентного марганца было сначала показано Ярилловой (1940), а затем Дайоном и Манном (1946), не дает стойких соединений в почвенных условиях По данным Дайона и Манна (1946), за недел › при комнатной температуре количество разложившегося $Mn(OH)_3$ составило, в процентах от первоначального: при pH = 6.18—82%, при pH = 6.68—65%, при pH = 7.08—32% и при pH = 7.6—11%. Очевидно поэтому, в обычных почвенных вытяжках соединения 3-валентного марганца не обнаруживаются. Недавно (Шерман и Гармер, 1941, 1942; Дайон и Манн, 1946; Маттсон, 1948) значительные количества 3-валентного марганца были получены в пирофосфатных вытяжках из почв в виде комплексного соединения мангани-пирофосфорной кислоты $H(MnP_2O_7)$, образующегося во время приготовления вытяжки. Таким образом, главенствующими формами почвенного марганца следует считать его 2- и 4-валентные соединения.

Наличие в растворе ионов 2-валентного марганца, даже в случае хорошо растворимых его сернокислых, солянокислых и азотнокислых соединений, определяется щелочно-кислотными условиями растворимости гидрата закиси марганца $Mn(OH)_2$. На самом деле, при постоянном присутствии в растворе гидроксильных ионов OH' весь марганец раствора должен выпасть в осадок в соответствии с растворимостью $Mn(OH)_2$, при этом в растворе останется только то количество ионов марганца, которое определяется произведением растворимости гидрата закиси марганца.

Щелочно-кислотные условия растворимости $Mn(OH)_2$ определяются произведением растворимости этого соединения: $[Mn^{\cdot\cdot}] = [OH']^2 = S$. После замены $[OH']$ на $[H']$ по равенству $[H'] \cdot [OH'] = K_w$, и логарифмирования получается уравнение $\lg[Mn^{\cdot\cdot}] = \lg S - 2\lg K_w - KpH...$ (1)

Это уравнение, предложенное Ярилловой (1940) и Никольским и Гортиковым (1935), показывающее, что между логарифмом концентрации ионов марганца и значением pH существует линейная зависимость, было подтверждено экспериментально первым автором в пределах pH от 4 до 8.

При расчете концентрации ионов марганца по уравнению (1) требуется определение значения констант S и K_w. Произведение растворимости воды (K_w) установлено с большой точностью; для 18° оно равно $0.74 \cdot 10^{-14}$. Данные по определению константы S немногочисленны. Так, по данным, собранным Ярилловой (1940), константа S определяется следующими величинами:

по Закур и Фрицману	$4.0 \cdot 10^{-14}$
» Реми	$1.0 \cdot 10^{-14}$
» Бриттону	$6.6 \cdot 10^{-14}$
» Ярилловой	$3.9 \cdot 10^{-13}$

У Лурье (1947) приводится значение константы S, без указания источника ее получения, равное $4.0 \cdot 10^{-13}$. Иного порядка величина константы S была определена Никольским и Гортиковым (1935); ими приводится значение константы S, значительно отличающееся от данных других авторов, именно: $1.2 \cdot 10^{-18}$.

Мы провели определение величины S путем титрования растворов сернокислого марганца 0.1 *n* раствором NaOH при свободном доступе воздуха. Определения pH производились стеклянным электродом дважды, через час после составления раствора (начальное значение pH) и после

продувания воздуха (конечное значение pH). Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Произведение растворимости гидрата закиси марганца. Начальная концентрация марганца в растворе 2.2 г-мол/л

Прибавлено мл 0.1 н раствора NaOH	Начальное значение		Конечное значение		Mn г-мол $\times 10^{-5}$	Константа S	
	pH	$-\lg(OH')$	pH	$-\lg(OH')$		начальная $\times 10^{-14}$	конечная $\times 10^{-17}$
2	8.30	5.83	6.76	7.37	2.00	0.5	0.38
10	8.56	5.57	6.82	7.31	1.68	2.4	0.40
20	8.72	5.41	6.84	7.29	1.66	3.2	0.44
28	8.80	5.33	6.84	7.29	1.33	2.8	0.34
32	8.82	5.31	7.02	7.11	1.06	2.5	0.64
36	8.92	5.21	7.02	7.11	0.91	3.5	0.55
40	9.26	4.87	7.24	6.89	0.57	10.5	0.93
Среднее значение	—	—	—	—	—	3.6	0.53

Как видно из табл. 1, значение константы S, вычисленное по данным опыта до продувания воздуха, получено было равным $3.6 \cdot 10^{-14}$, т. е. близкое к величине, найденной Закур и Фрицманом: $4.0 \cdot 10^{-14}$; значение же константы, полученное в том же опыте, но после продувания воздуха, составило: $0.53 \cdot 10^{-17}$ (или $5.3 \cdot 10^{-18}$); значение, близкое к величине, приведенной у Никольского и Гортикова,— $1.2 \cdot 10^{-18}$. Изменение условий аэрации в опыте привело, как видим, к сильному — в 10 000 раз — изменению величины константы произведения растворимости гидрата марганца, что, указывает и на изменение растворимости этого соединения.

Уравнение (1) после подстановки значения $K_w = 0.74 \cdot 10^{-14}$ и значения константы $S = 5.3 \cdot 10^{-18}$, определенного нами, примет вид:

$$\lg[Mn^{\cdot\cdot}] = 11.0 - 2pH \text{ или } P_{Mn} = -11.0 + 2pH \qquad (2)$$

Аналогичное уравнение Яриловой (1940) при том же значении K_w, но при значении $S = 3.9 \cdot 10^{-13}$, найденном ею, имеет вид:

$$\lg[Mn^{\cdot\cdot}] = 16.4 + 2pH \text{ или } P_{Mn} = -16.4 + 2pH \qquad (3)$$

Предельная растворимость закисных соединений марганца, вычисленная по этим формулам, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Растворимость $Mn(OH)_2$, вычисленная по формулам (2) и (3), в г-мол/л

Значение pH	7	8	9	10	11
Вычислено по (2); свободный доступ воздуха	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}
Вычислено по (3); в атмосфере азота	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-0}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-6}$

Расчет растворимости гидрата закиси марганца, вычисленной по обеим формулам, показывает, что продувание воздуха, т. е. создание в растворе условий хорошей аэрации, значительно, примерно в 10^5 раз, уменьшает растворимость закисных солей марганца. Это означает, что определение растворимости по уравнениям, аналогичным (2) и (3) и безусловно справедливым для металлов с постоянной валентностью, для марганца, элемента с переменной валентностью, не может дать верных результатов без учета окислительно-восстановительных условий раствора. Таким образом, одни щелочно-кислотные условия не определяют растворимость марганцевых соединений, и уравнения (2) и (3) должны быть заменены другими, учитывающими и щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия раствора, или значения pH и Eh его.

Уравнение зависимости концентрации ионов марганца от щелочно-кислотных (pH) и окислительно-восстановительных условий (Eh) было предложено в 1940 г. Яриловой:

$$Eh = E_0 - 0.029 \lg[Mn^{\cdot\cdot}] - 0.116pH^1 \qquad (4)$$

Это уравнение справедливо для случая, когда активность ионов марганца равна единице, т. е. для растворов, имеющих бесконечное разведение. Для реальных растворов необходимо ввести в уравнение член, учитывающий ионную силу раствора,— μ. Активность ионов, как известно, равна концентрации их, умноженной на коэффициент активности, т. е. для нашего случая: $a_{Mn^{\cdot\cdot}} = [Mn^{\cdot\cdot}] f_{Mn^{\cdot\cdot}}$. Коэффициент активности для неконцентрированных растворов связан с ионной силой раствора равенством: $\lg f_{Mn^{\cdot\cdot}} = -0.5 z^2 \sqrt{\mu}$, где z — валентность иона. Для 2-валентного марганца, где $z = 2$, это равенство примет вид: $\lg f_{Mn^{\cdot\cdot}} = -2\sqrt{\mu}$. Подставляя значение $a_{Mn^{\cdot\cdot}}$ и $f_{Mn^{\cdot\cdot}}$ в уравнение (4) и проведя несложные преобразования, получим:

$$Eh = E_0 - 0.029 \lg[Mn^{\cdot\cdot}] + 0.058\sqrt{\mu} - 0.116pH \qquad (5)$$

Использование уравнения (5) для расчетных целей требует экспериментального определения константы E_0. Инглис (1903) дает для этой константы значение 0.990; Ярилова (1940) получила значение ее при pH растворов от 3.3 до 8.0—0.991 против водородного электрода.[2] Нами величина константы E_0 была определена в чистых растворах сернокислого марганца разной концентрации от 10^{-2} до 10^{-6}, среднее из шести определений было получено 0.994 вольт против водородного электрода. Таким образом, уравнение (5) может быть переписано после замены константы E_0 на ее числовое значение так:

$$Eh = 0.99 - 0.029 \lg[Mn^{\cdot\cdot}] + 0.058\sqrt{\mu} - 0.116\,pH \qquad (6)$$

Построенные на основании уравнения (6) изоплеты[3] растворимости соединений марганца для разных значений pH и Eh и для ионной силы

[1] Вывод уравнения, предложенного Яриловой, несложен. Для реакции: $[MnO_2] + 4[H^{\cdot}] = [Mn^{\cdot\cdot}] + 2H_2O$ имеем для 18°: $Eh = E_0 + 0.029 \lg \frac{[MnO_2] \cdot [H^{\cdot}]^4}{[Mn^{\cdot\cdot}]}$. Отсюда $Eh = E_0 + 0.029 \lg[MnO_2] + 0.116 \lg[H^{\cdot}] - 0.029 \lg[Mn^{\cdot\cdot}]$. Принимая $E_0 + 0.029 \lg[MnO_2] = E_0'$ и заменяя $-\lg[H^{\cdot}]$ на pH, получим: $Eh = E_0' - 0.029 \lg[Mn^{\cdot\cdot}] - 0.116\,pH$.

[2] В работе Яриловой (1940) ошибочно показано, что 0.991 представляет собою значение константы E_0 против насыщенного каломелевого электрода.

[3] Прямые или кривые линии, показывающие функциональную зависимость одной величины от двух переменных.

раствора $\mu = 0.25$ приведены на рис. 1,*а*, где по оси ординат нанесены значения окислительно-восстановительного потенциала (против водородного электрода), а по оси абсцисс величина pH. Концентрации ионов марганца показаны прямыми линиями.

Как видно из рис. 1,*а*, концентрация ионов марганца в растворе изменяется по мере уменьшения или увеличения pH раствора и его окислительно-восстановительного потенциала довольно сильно; так, увеличение Eh на 8—9 м-вольт или pH на 0.08 единицы приводит к уменьшению концентрации ионов марганца вдвое. Например, при pH = 6 и Eh равном и более 700 м-вольт концентрация марганца в растворе составит менее 10^{-8} г-мол на литр; при том же значении pH, но при Eh = 400 м-вольт или ниже, значительное количество марганца, конечно, при наличии осадка

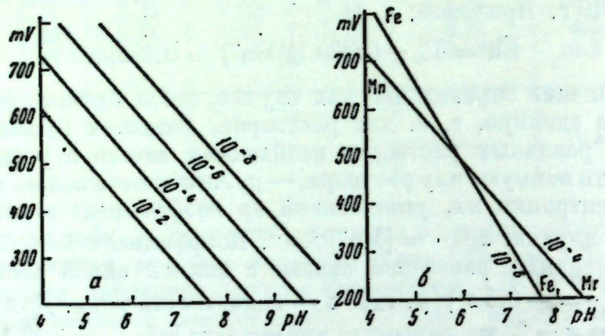


Рис. 1. Изоплета растворимости гидрата закиси марганца (*а*) и гидратов закиси марганца и железа (*б*).

солей его, перейдет в раствор, и концентрация марганца в растворе должна составить 10^{-2} г-мол на литр. Изоплеты также показывают, что осаждение марганца из растворов солей его может происходить не обязательно при pH равном и выше 6.5, как это предполагал, например, Кирсанов (1938), но при разных значениях pH, в зависимости от окислительно-восстановительных условий среды. Например, при Eh = 700 из 0.002 молярного раствора марганец выпадает уже при pH = 5 почти полностью, и концентрация оставшихся в растворе ионов марганца составит менее 10^{-6} г-мол на литр.

Совместное присутствие марганца и железа в природных отложениях железных и марганцевых руд (Ферсман, 1934), а также в весьма распространенных в почвах и в морских отложениях в виде конкреций, желваков, зерен в так называемых вадах (Полынов, 1934), привлекало всегда к себе внимание исследователей. Содержание марганца в этих отложениях составляет от долей до 50 и более процентов. Причину совместного осаждения железа и марганца Ферсман и другие исследователи видят в деятельности особых бактерий, которые осаждают марганец биохимическим путем вместе с железом. Изоплеты марганца позволяют утверждать, что совместное осаждение марганца и железа скорее всего происходит под влиянием физико-химических факторов, вследствие изменения окислительно-восстановительных условий среды. На рис. 1,*б* приведена одна из изоплет марганца (для концентрации его 10^{-4}) и одна из изоплет железа (для концентрации 10^{-6} г-мол), заимствованная из работы Сердобольского (1950).

Из рис. 1,*б* видно, что изоплеты марганца и железа, вследствие различной величины угла наклона их, пересекаются. Это указывает на то, что при одних окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условиях в растворе должно остаться больше железа, а в осадок больше перейти марганца; при других условиях, наоборот, в растворе должно остаться больше марганца, а перейти в осадок больше железа.

Для примера в табл. 3 приведен процентный состав осадков, которые должны получиться согласно уравнению (6) при указанных в таблице окислительно-восстановительных условиях в растворе солей марганца и железа концентрации $350 \cdot 10^{-7}$.

Таблица 3

Состав осадков, выпадающих при разных окислительно-восстановительных условиях
(рассчитано по уравнению (6) и уравнению (2) из работы Сердобольского 1950).

Условия осаждения	В растворе г-мол × 10^{-7}		В осадке г-мол × 10^{-7}		Состав осадков	
	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe %	Mn %
Начальная концентрация	350	350	—	—	—	—
pH = 5; Eh = 600	143	13	207	337	38	62
pH = 6.5; Eh = 400	11	239	339	111	75	25
pH = 6.9; Eh = 350	5	329	345	21	94	6

Как видно из табл. 3, небольшие сравнительные изменения окислительно-восстановительных условий осаждения приводят к большим различиям в относительном содержании в осадках марганца и железа.

В табл. 3 приведены значения pH и Eh, обычные для почв и грунтов; в природных условиях колебания этих показателей значительно шире указанных в таблице. Это позволяет, полагаем, заключить, что процессы совместного осаждения марганца и железа, с выпадением осадков разного по содержанию этих элементов состава, могут происходить и в настоящее время, где только имеются для этого подходящие окислительно-восстановительные условия.

При применении к почвам и грунтам соотношений, выраженных уравнением (6) и изоплетами, следует иметь в виду, что, отсутствие методов определения pH в самой почве (а не в вытяжках из почвы) и методические ошибки, неизбежные при измерении Eh почв и грунтов, не позволяют с достаточной точностью отразить действительные окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия почв и грунтов, что и приводит к неточностям при применении указанных соотношений.

ВОДНОРАСТВОРИМЫЙ И ОБМЕННЫЙ МАРГАНЕЦ

Если окислительно-восстановительные условия являются одним из регуляторов концентрации ионов марганца в растворе, то количество водорастворимого и обменного марганца почвы, определяемое в водных и солевых вытяжках, не может быть постоянным, а должно изменяться под влиянием ряда причин. На самом деле, начиная с момента взятия

почвенного образца и до момента определения в вытяжке марганца, в почвенном образце происходит непрерывное изменение окислительно-восстановительных условий. Уже само изъятие почвенного образца из почвы меняет во многих случаях его окислительно-восстановительные свойства. Для примера приведем данные полевых измерений потенциала, проведенных в Румянцево, Московской области на дерново-подзолистой почве (в м-вольтах):

Тотчас после взятия образца из почвы	230
Через 10 минут	260
Через 30 минут	295
Через час	310

Аналогичные изменения окислительно-восстановительных условий происходят при подсушивании образца и особенно при приготовлении почвенных вытяжек. Для количественной характеристики такого рода изменений потенциала приводим в качестве примера данные по измерению потенциала в образцах почвы Кура-Араксинской низменности, полученные а) при взятии образцов из почвы и б) после двухмесячного хранения их (в м-вольтах):

Глубина взятия образцов (см)	Полевые измерения	После двух месяцев хранения
7	318	370
16	360	390
40	373	405

Если принять во внимание, что уменьшение потенциала на 29 м-вольт указывает, согласно уравнению (6), на увеличение концентрации марганца в десять раз, то становится понятным, какие большие изменения в содержании подвижных форм марганца происходят со времени изъятия образца из почвы и до определения его в вытяжках. Таким образом, определяемое обычными методами количество водорастворимого и обменного марганца не отражает действительного содержания этих форм марганца в почве, а имеет только относительный характер.

Для демонстрации сказанного приводим результаты опытов по определению обычными методами водорастворимого и обменного марганца, полученные при различных окислительно-восстановительных условиях. В табл. 4 приводим данные по водорастворимому марганцу. Изменение окислительно-восстановительных условий достигалось выдерживанием суспензии в период времени около 7 суток. Известно, что такое выдерживание почвенной суспензии приводит обычно к падению в ней величины потенциала, т. е. к изменению в суспензии окислительно-восстановительных условий, происходящему, очевидно, благодаря непрекращающейся в условиях опыта жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что определяемое содержание водорастворимого марганца в почве увеличивается с падением потенциала суспензии за время стояния ее вдвое и более. Так, для дерново-подзолистой почвы Долгопрудной опытной станции это увеличение составило более ста процентов за одни сутки стояния суспензии при падении потенциала на 25 м-вольт, а для темносерой лесной почвы количество марганца возросло в десять раз при падении потенциала на 100 м-вольт и стоянии суспензии в течение 7 суток.

Аналогичное явление было получено в следующем опыте и для обменного марганца на дерново-подзолистой почве Долгопрудной опытной станции, при разных значениях pH суспензии. При приготовлении почвенная

Таблица 4

Изменение количества водорастворимого марганца при стоянии почвенной суспензии (1 : 5)

Почва	Время стояния	pH	Eh	Количество марганца, мг/кг почвы
Дерново-подзолистая. Долгопрудная оп. станция	5 м.	6.0	530	17.8
	1 ч.		525	21.0
	3 ч.		515	23.2
	24 ч.		505	35.5
Дерново-подзолистая, колхоз «Малынь», пахотный слой	1 ч.	6.6	520	Нет
	94 ч.		340	2.4
	168 ч.		260	58.4
Чернозем, Сумская оп. станция	1 ч.	7.1	530	Нет
	168 ч.		470	»
Темносерая, слабооподзоленная, Серебряно-Прудский р-н, Московской обл., с. Еспово	1 ч.	7.0	500	0.5
	120 ч.		470	3.7
	168 ч.		400	5.1
Серая лесная, Серебряно-Прудский р-н, Московской обл.	1 ч.	6.2	500	0,5
	96 ч.		480	6,2
	168 ч.		380	15.4

суспензия была подкислена раствором слабой соляной кислоты до различных значений pH, показанных в таблице. Обменный марганец определялся вытеснением его в одних случаях 1-*n* раствором KNO_3, в других случаях 1 *n* раствором уксуснокислого аммония. Величина потенциала показана по водородному электроду в м-вольтах; марганец в вытяжке определялся персульфатным методом. Результаты опыта показаны в табл. 5.

Определяемое в вытяжках количество обменного марганца, как видим, также изменяется довольно значительно при стоянии суспензии и при падении величины потенциала. При значении pH, равном 4.0, определяемое количество обменного марганца увеличилось с 51 до 223 мг на килограмм почвы за 10 суток стояния и при падении величины потенциала с 500 до 390 м-вольт.

В следующем опыте изменение окислительно-восстановительных условий в почвенной суспензии достигалось внесением восстановителя, именно гидрохинона, в разных дозах. Опыт был проведен с двумя дерново-подзолистыми почвами Долгопрудного опытного поля и колхоза «Малюга» Московской обл. Суспензия готовилась при соотношении почва: раствор, равном 1 : 10. Результаты опыта приведены в табл. 6; величина потенциала выражена в м-вольтах против водородного электрода.

Опыт был повторен с водной суспензией двуокиси марганца — MnO_2. Измерения pH, как и в предыдущих опытах, производились со стеклянным электродом. В качестве восстановителей применялись: гидрохинон, манинит, двухлористая ртуть, в дозах по 0.1 г на 100 мл жидкости. Результаты опыта приведены в табл. 7; величина потенциала показана в м-вольтах.

Таблица 5

Количество обменного марганца при различных окислительно-восстановительных условиях суспензии

Вытеснитель	pH суспензии	Eh	Время стояния	Количество марганца, мг/кг почвы
1 *n* раствор KNO_3	4.0	500	3 ч.	51.4
		480	3 сут.	139
		470	6 »	141
		420	7 »	159
		390	10 »	223
1 *n* раствор KNO_3	4.4	490	3 ч.	76
		520	3 сут.	207
		465	6 »	218
		310	7 »	242
		260	10 »	290
1 *n* раствор уксусно-кислого аммония	4.5	560	3 ч.	71
		455	7 сут.	262
	5.0	510	3 ч.	68
		455	7 сут.	246
	5.4	420	3 ч.	44
		360	7 сут.	185
	5.8	375	3 ч.	41
		340	7 сут.	172
	6.8	415	3 ч.	36
		310	2 сут.	132

Таблица 6

Влияние восстановителей на количество определяемого водорастворимого и обменного марганца почвы

Место взятия образцов почв	Определяемая форма марганца	Количество внесенного гидрохинона	Eh	pH	Количество марганца, в мг/кг почвы
Долгопрудная оп. станция	Водорастворимый	Нет	315	6.7	46.4
	Обменный	»	330	7.0	130.4
	Обменный	0.05	290	7.0	269
		0.10	280	7.1	307
		0.50	270	7.1	343
Колхоз «Малюга»	Водорастворимый	Нет	Не опред.		43
	Обменный	»	»	»	125
	Обменный	0.05	300	7.1	332
		0.10	290	7.1	356
		0.50	260	7.0	380

Как и следовало ожидать, внесение в почву восстановителей, изменяя окислительно-восстановительные условия ее, приводит к значительному увеличению растворимости как почвенного марганца, так и марганца двуокиси.

Опыты с водорастворимым и обменным марганцем подтверждают, как видим, высказанное ранее предположение, что содержание в почве

Таблица 7

Действие разных восстановителей на растворимость двуокиси марганца. На 100 мл воды взято 0.5 г MnO_2 и по 0.1 г восстановителей

Восстановитель	Значение pH		Eh	Получено Mn, мг/л
	начальное	установившееся		
Без восстановителя	4.5	7.0	310	Нет
	7.4	7.1	315	»
Гидрохинон	4.5	7.6	250	76
	7.4	7.6	250	75
Маннит	4.5	6.7	360	17
	7.4	6.9	340	13
$SnCl_2$	4.5	3.5	390	302
	7.4	3.5	395	298

водорастворимого и обменного марганца не может быть точно определено обычными методами путем приготовления водных и солевых вытяжек. Этим, полагаем, объясняются противоречивые данные разных авторов, пытавшихся определить количественные границы ядовитости и недостаточности подвижных форм марганца в почве для питания растений. Эти границы при существующих методах определения водорастворимого и обменного марганца в водных и солевых вытяжках вряд ли могут быть обоснованы. В этом отношении, может быть, более действенными показателями ядовитости и недостаточности марганца почвы могут служить pH и Eh, отражающие окислительно-восстановительные условия почвы, а следовательно, и содержание подвижного марганца в почвенном растворе.

За последние годы (Шерман и сотрудники, 1941, 1942, 1943) было предложено при определении подвижных форм марганца — водорастворимого и обменного — определять также так называемые «легковосстанавливаемые» формы марганца почвы, т. е. те формы его, которые переходят в солевую вытяжку при добавлении в нее небольших количеств восстановителя — гидрохинона. При этом, как это видно из табл. 6, в вытяжку переходят дополнительно значительные количества марганца, которые указанные авторы относят к особой категории, названной ими «легковосстанавливаемой» фракцией почвенного марганца. Из сказанного выше о влиянии изменений окислительно-восстановительных условий на растворимость марганцовых соединений почвы достаточно ясно, что вытесняемый при внесении гидрохинона марганец не представляет собою какой-то особой фракции почвенного марганца и что количество его зависит от того, насколько удалось изменить внесением гидрохинона окислительно-восстановительные условия почвы или вытяжки, т. е. в конце концов от количества внесенного восстановителя.

ФОСФАТЫ И КАРБОНАТЫ МАРГАНЦА

Из соединений двухвалентного марганца небольшой растворимостью обладают, кроме гидрата, также фосфаты и карбонаты марганца. Отсюда следует, что при осаждении марганца из почвенного раствора можно ожидать выпадения не только гидрата, но и наравне с ним или даже преимущественно фосфатов и карбонатов марганца. Поэтому небезынтересно рассмотреть хотя бы кратко условия осаждения и этих соединений

марганца, тем более что такое осаждение, в частности фосфата марганца, может привести к связыванию растворимых форм фосфора почвы, т. е. к нарушению фосфатного питания растений.

Ниже, в табл. 8, приводим результаты опыта по определению произведения растворимости фосфата марганца, выпадающего из раствора сернокислой соли его при взаимодействии с фосфорнокислым натрием. Для определения константы произведения растворимости были приготовлены два раствора сернокислого марганца, содержащие 2.18 и 0.109 мг-мол марганца в литре (120 и 6 мг в литре). Для осаждения фосфата марганца в отдельные порции этих растворов по 100 мл было добавлено разное, указанное в таблице, количество миллилитров растворов H_3PO_4 и NaOH. На другой день в аликвотной части прозрачного раствора определялось содержание P_2O_5 и марганца, а по разности—количество их, выпавшее в осадок. Результаты определений показаны в табл. 8; там же указано молярное отношение в осадке Mn : PO_4 и вычисленное на основании полученных данных произведение растворимости.

Таблица 8

Определение произведения растворимости фосфата марганца

Количество мл 0.033 мол растворов		pH	В растворе г-мол/л		В осадке г-мол/л		Молярное отношение	Константа произведения растворимости
H_3PO_4	NaOH		$Mn \times 10^{-5}$	$PO_4 \times 10^{-5}$	$Mn \times 10^{-5}$	$PO_4 \times 10^{-5}$	Mn : PO_4 в осадке	$S \times 10^{-8}$
Начальная концентрация соли марганца 2.18 мг-мол/л								
10	10	6.20	188	5.1	30	28	1.08	9.35
20	20	6.08	156	6.6	62	59	1.05	10.0
28	28	6.15	132	9.0	86	83	1.03	11.9
32	32	6.25	115	9.3	103	96	1.08	10.7
36	36	6.32	96	13.1	122	123	1.00	14.5
			Среднее из 5 определений				1.05	11.3
Начальная концентрация соли марганца 0.109 мг-мол/л								
0.5	0.5	7.10	9.9	0.57	1.0	1.08	0.93	0.056
1.0	1.0	7.18	8.4	0.74	2.5	2.55	0.99	0.062
2.0	2.0	7.29	5.3	1.20	5.6	5.38	1.04	0.064
3.0	3.0	7.36	2.2	1.29	8.7	8.60	1.01	0.028
6.0	6.0	8.04	1.2	12.2	9.7	7.20	1.10	0.146
			Среднее из 5 определений				1.01	0.071

Как видно из табл. 8, нам не удалось получить однозначных результатов. Молярное отношение Mn : PO_4 в осадке при обоих взятых концентрациях оказалось близким к единице. Это позволяет, казалось, заключить, что состав осадка должен отвечать формуле $MnHPO_4$. Но вычисленная согласно этой формуле константа произведения растворимости получилась, как это видно из табл. 8, различной величины. При начальной концентрации марганца 2.18 мг-мол на литр и при начальном значении pH, равном 6.2, величина константы, среднее из пяти определений, оказалась равной $11.3 \cdot 10^{-8}$, а при начальной концентрации Mn = 0.109 мг-мол и pH = 7.10 равной $0.071 \cdot 10^{-8}$, или примерно в 2000 раз меньшей. Такие результаты определения константы растворимости следует объяснить, полагаем, различными условиями осаждения марганца в первой и второй половине опыта. Все определения марганца и фосфора производились при свободном доступе воздуха; поэтому во второй половине опыта, когда осаждение происходило при более низкой концентрации марганца и при более щелочной реакции, возможно, произошло окисление марганца, и осадок получился несколько иного состава, чем в первой половине опыта. Так как молярное отношение в осадке Mn : PO_4 сохранялось и во второй половине опыта близким к единице, то можно предположить, что в этом случае составу осадка будет отвечать формула $MnPO_4$, а не $MnHPO_4$, как в первой половине опыта. Таким образом, можно, как нам кажется, принять:

$$[Mn^{\cdot\cdot}] \cdot [HPO_4''] = S_1 = 11 \cdot 10^{-8}; \quad [Mn^{\cdot\cdot\cdot}] \cdot [PO_4'''] = S_2 = 7 \cdot 10^{-10}$$

Исходя из величины констант произведения растворимости фосфатов марганца, можно определить и растворимость их; для первой половины опыта она будет равна, согласно формуле для бинарных электролитов, $\sqrt{11 \cdot 10^{-8}} = 3.3 \cdot 10^{-4}$, а для второй половины опыта, для соединения $MnPO_4$ по той же формуле $2.7 \cdot 10^{-5}$. Вспомним, что произведение растворимости гидрата закиси марганца (стр. 194) равно $3.6 \cdot 10^{-14}$, откуда растворимость его, вычисленная по формуле $\sqrt[3]{\frac{S}{4}}$, будет равна $2.1 \cdot 10^{-5}$. Как видим, растворимость фосфатов марганца может быть при некоторых условиях весьма близкой к растворимости гидрата марганца, что, очевидно, указывает на возможность выпадения фосфатов одновременно и даже преимущественно перед гидратом марганца, т. е. на возможность связывания подвижных форм фосфора марганцем.

К такому же выводу приводят результаты опытов Бриттона (1936). Этот автор при титровании 0.02 г-мол раствора $MnCl_2$ получил начало осаждения фосфата марганца при pH = 5.76, а начало осаждения гидрата марганца, при титровании того же раствора его гидроокисью натрия, при pH = 8.43. Исходя из этого, Бриттон пришел к заключению, что осаждение фосфата марганца идет преимущественно перед гидратом. Применяя к почвенным условиям данные опыта Бриттона получим, что марганец должен связывать подвижный фосфор почвы наравне с алюминием и железом.

Изоплеты растворимости гидрата марганца показывают, что Бриттон в своих выводах все же был неправ. На самом деле, растворимость гидрата марганца зависит, как показывают изоплеты, в значительной степени от окислительно-восстановительных условий почвы, т. е. связана с величиной Eh ее. Так, при значении pH, при котором начинается, согласно Бриттону, осаждение фосфата марганца, т. е. при pH = 5.76, когда концентрация фосфата марганца в опыте этого автора составляла 0.02 г-мол на литр и была близка к насыщению, растворимость гидрата марганца может быть (в зависимости от окислительно-восстановительных условий) и больше и меньше 0.02 г-мол на литр. Например, при Eh = 365 м-вольт растворимость гидрата марганца составит, согласно уравнению (6), при том же pH = 5.76 около 0.1 г-мол на литр, а при Eh = 460 м-вольт — менее 0.001 г-мол на литр; т. е. в первом случае растворимость гидрата будет больше растворимости фосфата марганца, а во втором случае меньше. Отсюда следует, что в первом случае должен выпадать сначала и преимущественно фосфат марганца, а во втором гидрат.

Происходит ли связывание фосфора почвы марганцем в почвах в естественных условиях? Очевидно, указание на это можно получить, зная окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия, обычные для почв. Из примера, приведенного выше, видно, что 1) фосфат марганца осаждается при значении pH выше 5.76, 2) что при одном и том же pH усиление восстановительных процессов в почве (понижение величины потенциала) связано с увеличением растворимости гидрата марганца и, следовательно, ведет к выпадению в осадок фосфата марганца (конечно, если в растворе присутствуют ионы PO_4). Таким образом, связывание марганцем фосфора почвы можно ожидать при значении pH выше 5.76 и при пониженных значениях Eh, т. е. при развитии восстановительных процессов.

Для иллюстрации нами был проведен следующий опыт. Серая лесная почва, содержащая 0.68 мг на 100 г водорастворимых фосфатов и имеющая pH = 6.3, была смешана с небольшим (0.05 г на 100 г) количеством восстановителя — гидрохинона. Через час в почве было определено количество водорастворимых фосфатов; содержание их оказалось равным в этом случае 0.02 мг P_2O_5 на 100 г почвы. Как видим, усиление в почве восстановительных процессов действительно привело, в согласии со сказанным, к связыванию фосфатов почвы.

Условия осаждения карбонатов марганца принципиально аналогичны условиям осаждения фосфатов. По данным Бриттона (1936), начало осаждения карбонатов марганца из растворов Mn при титровании его раствором соды совпадает со значением pH раствора, равным 8.68. При таком значении pH растворимость гидрата марганца, как это было отмечено при рассмотрении изоплет марганца, может быть и выше и ниже растворимости карбонатов марганца, в зависимости от окислительно-восстановительных условий. Поэтому, как и в случае с фосфатами, при одних окислительно-восстановительных условиях будут осаждаться карбонаты, при других — гидраты. В почвах щелочно-кислотные условия, необходимые для осаждения карбонатов Mn (pH = 8.68), встречаются крайне редко, так что в обычных почвенных типах образование вторичных карбонатов марганца вряд ли возможно.

ОПЫТЫ С РАСТЕНИЯМИ

Марганцовые удобрения вносятся в почву обычно в виде тех или иных промышленных отходов, содержащих марганец, главным образом в виде двуокиси. Судьба этого удобрения при внесении его в почву, очевидно, будет под влиянием окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий различна. При высоком значении pH и Eh это удобрение останется инертным, что будет выражаться отсутствием какого-либо действия его на растения. При пониженных значениях pH и Eh часть этого удобрения будет восстанавливаться до 2-валентного марганца, и в тем большей степени, чем будут ниже значения этих показателей. При определенных значениях pH и Eh количество восстановленного марганца, в форме водорастворимого и обменного, может достичь такой величины, что он может стать токсичным для растений сам по себе или благодаря связыванию подвижных фосфатов почвы.

Ниже приводим описание вегетационных опытов, задачей которых были поставлены: а) проверка установленных уравнением (6) и изоплетами закономерностей и б) проверка высказанных соображений о превращении форм марганца марганцовых удобрений. С целью получения более отчетливых результатов опыты были поставлены не на почве, а на непромытом песке,

так как песок обладает минимальной буферностью и ничтожным содержанием марганца. Контрольным растением служил ячмень, сорт Винер. Опыты были заложены 24 июля в сосудах емкостью по 3 кг и закончены 30 августа. Растения были убраны до колошения, подсушены до воздушно-сухого состояния и взвешены. В качестве питательной смеси было внесено на каждый килограмм песка (в г):

Аммония азотнокислого	0.24
Калия хлористого	0.16
Магния сернокислого	0.06
Кальция фосфорнокислого	0.17
Железа хлорного	0.002
Борной кислоты	0.0005

Все соли были внесены в растворе. Кроме того, в каждый сосуд был внесен гипс порошком, в количестве 1 г на сосуд. В каждый же сосуд, кроме контроля, был внесен марганец в виде нерастворимой в воде двуокиси MnO_2, в количестве, значительно превышающем дозы основных удобрений, по 1.5 г на сосуд. Двуокись марганца предварительно размельчалась в ступке и затем тщательно перемешивалась с песком, приготовленным для набивки сосудов. Для изменения окислительно-восстановительных условий в сосуды вносились гидрохинон и маннит в разных дозах. В некоторых случаях, указанных в таблицах, вносился 2-валентный марганец в виде сернокислой его соли. Все опыты проведены с 2-кратной повторностью; в таблицах приведены средние из двух определений.

Вес сухой массы растений в день уборки 30 августа в сосудах с чистым песком без внесения удобрений составил 0.35 г; в сосудах с питательной смесью 4.7 г; наконец, в сосудах с питательной смесью и с двуокисью марганца 6.3 г. Как видим, внесение значительных количеств MnO_2 при щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условиях в опытных сосудах не только не оказалось токсичным для растений, но даже стимулировало рост их.

Результаты опытов приведены в табл. 9—12 и на рис. 2—5.

Таблица 9

Влияние окислительно-восстановительных условий на растворимость соединений марганца и на рост растений

Восстановитель, в г на сосуд	Сухой вес растений, в г	Снижение урожая, в %	Количество Mn, в мг/кг почвы	При уборке урожая	
				pH	Eh
2) Питательная смесь без MnO_2 + гидрохинон 1.5	4.4	—	—	6.2	420
1) Питательная смесь + MnO_2	6.3	—	4	5.9	545
Добавлено к (3):					
3) гидрохинон 0.5	3.6	43	51	6.5	410
4) » 1.0	1.9	69	53	6.3	445
5) » 1.5	1.8	71	73	6.3	420
6) маннит 0.5	4.0	24	14	6.0	520
7) » 1.0	4.9	27	23	5.6	570

Для выяснения вопроса о соответствии результатов опыта с условиями уравнения (6) данные табл. 9 изображены графически на рис. 2, где приведена одна из изоплет марганца, отвечающая концентрации

его = 10^{-5} г-мол/л. Каждый вариант опыта, в соответствии с значениями для него pH и Eh, изображен на рисунке точкой, помеченной тем же номером, который указан в табл. 9.

Расположение точек на рис. 2 указывает на хорошее совпадение полученных в опыте экспериментальных данных с теоретическими соображениями, отраженными в уравнении (6), и изоплетами. Так, из рис. 2 видно, что наиболее окисленное состояние изучаемой системы Mn^{++}—Mn^{++++} было получено в варианте опыта 2 при внесении в сосуд питательной смеси с добавкой 1.5 г двуокиси марганца (точка 2 лежит всего ближе к изоплете [1]). Все же окислительно-восстановительные условия в этом варианте (pH = 5.9 и Eh = 545) не гарантировали практически полной нерастворимости внесенной MnO_2, и при анализе содержимого сосуда было получено 4 мг марганца на 1 кг. Внесение маннита (точки 6 и 7) незначительно изменило окислительно-восстановительные условия в подопытных сосудах, расстояние соответствующих этим вариантам точек от изоплеты (см. рис. 2) немногим больше расстояния точки варианта 2. Все же это изменение окислительно-восстановительных условий привело к увеличению воднорастворимого марганца до 24—27 мг/кг. Внесение гидрохинона произвело наиболее резкие изменения окислительно-восстановительных условий в сосудах, независимо от того, вносилась ли при этом двуокись марганца или нет (точки 1, 3, 4 и 5 рис. 2). В соответствии с этим и количество воднорастворимого марганца возросло, как это видно из табл. 9, до 51—73 мг/кг.

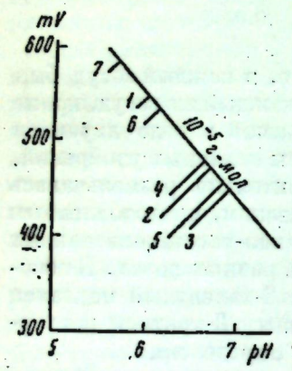


Рис. 2. Влияние окислительно-восстановительных условий на развитие растений и на растворимость соединений марганца.

Наибольшее падение урожая получено по гидрохинону. Как показывает рис. 2, это падение нельзя связывать ни с действием самого гидрохинона на растения, ни с изменением (в результате внесения гидрохинона) восстановительных условий почвы. Так, по контролю, не смотря на то, что гидрохинон был внесен в отсутствии MnO_2 и что окислительно-восстановительные условия были аналогичны с вариантами опыта, давшими наиболее низкий урожай (варианты 4 и 5), рост растений был нормальный и величина урожая не была пониженной. Таким образом, причиной снижения урожая следует считать, очевидно, токсическое действие больших количеств воднорастворимого марганца, появившегося в сосудах под влиянием изменения в них окислительно-восстановительных условий. Для окончательного подтверждения этого был поставлен следующий опыт. В некоторые из сосудов с гидрохиноном был внесен дополнительно в небольших количествах сернокислый марганец. При этом предполагалось, что внесенный марганец в присутствии гидрохинона, т. е. в восстановительных условиях, останется полностью в растворе и приведет к дальнейшему снижению урожая, если это снижение действительно связано с токсическим действием избытка марганца. Результаты этого опыта приведены в табл. 10 и на рис. 3.

[1] Величина окислительно-восстановительного потенциала, взятая сама по себе, независимо от pH, еще не характеризует полностью окислительно-восстановительного состояния изучаемой системы. Одно и то же количество восстановленного марганца может быть получено при разных значениях Eh. Например, при Eh = 260 (при pH = = 7) и при Eh = 500 (при pH = 5) в растворе будет находиться одно и то же количество восстановленного марганца, т. е. система будет находиться в одинаковых окислительно-восстановительных условиях. О степени окисления системы, т. е. о более или менее окисленном состоянии ее, можно судить по изоплетам. Очевидно, чем дальше находится точка, соответствующая значениям pH и Eh нашей системы, от изоплеты в сторону больших концентраций марганца, тем сильнее в системе развиты восстановительные процессы, и обратно.

Таблица 10

Токсическое действие малых доз сернокислого марганца при восстановительных условиях среды

Условия опыта	Вес урожая, в г	Урожай, в %	Количество марганца, в мг/кг песка	В конце опыта	
				pH	Eh
1) Фон + гидрохинон 0.5 г/кг .	3.6	100	51	6.5	410
2) То же + $MnSO_4$ 1.5 мг/кг . .	2.0	43	53	6.3	415
3) Фон + гидрохинон 1.0 г/кг .	1.9	100	53	6.3	445
4) То же + $MnSO_4$ 1.5 мг/кг . .	1.0	47	58	6.3	400
5) Фон + маннит 0.5 г/кг . . .	4.0	100	14	6.0	520
6) То же + $MnSO_4$ 1.5 мг/кг . .	2.8	55	17	5.6	550
7) Фон + маннит 1.0 г/кг . . .	4.9	100	23	5.6	570
8) То же + $MnSO_4$ 1.5 мг/кг . .	3.1	36	25	5.8	490

Как мы и предполагали, внесение при восстановительных условиях марганца привело к снижению урожая. Неожиданным явилось несоответствие между небольшой дозой внесенного марганца и значительным падением урожая. Повидимому, при наличии восстановительных условий, когда количество воднорастворимого марганца находится на грани токсичности, внесение даже весьма небольших доз марганца может привести к сильному угнетению роста растений и к резкому (в условиях опыта в два раза) уменьшению урожая.

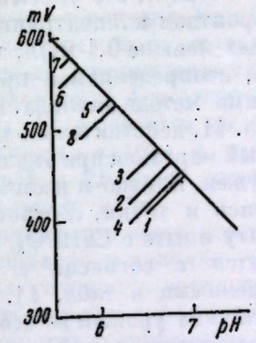


Рис. 3. Токсическое действие малых доз $MgSO_4$, вносимого при восстановительных условиях.

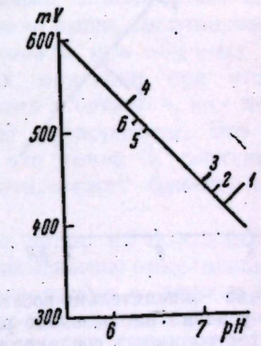


Рис. 4. Влияние окислительно-восстановительных условий на окисление вносимых марганцовых удобрений.

В следующем опыте была сделана попытка создать в сосудах такие окислительно-восстановительные условия, которые обеспечивали бы быстрое окисление даже больших, в других условиях токсичных, доз сернокислого марганца. Для изменения щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий были применены в качестве удобрений

Таблица 11

Влияние окислительно-восстановительных условий на окисление внесенных в сосуды марганцовых удобрений

Удобрения и дозы его	Вес урожая, в г	Снижение урожая, в %	Количество Mn, в мг в 1 кг песка	В конце опыта	
				pH	Eh
1) Питательная смесь+$CaCO_3$	6.9	—	Нет	7.5	440
2) То же + $MnSO_4$ 30 мг/кг	6.2	10	»	7.2	440
3) » » + $MnSO_4$ 90 »	6.6	4	»	7.1	450
4) Питательная смесь + +$CaHPO_4$	4.6	—	»	6.3	540
5) То же + $MnSO_4$ 4.5 мг/кг	4.5	2	3	6.4	500
6) » » + $MnSO_4$ 15 »	4.6	—	7	6.3	510

мел в количестве 0.85 г и $CaHPO_4$ в дозах 0.5 г на 1 кг песка. Марганец вносился в виде $MnSO_4$ в количестве 30—90 мг на 1 кг песка, т. е. в дозах, в 20—60 раз превышающих количество внесенного в прошлом опыте марганца, когда он оказался токсичным. Результаты опыта приведены в табл. 11 и на рис. 4.

Отметим прежде всего, что экспериментальные данные, нанесенные на рис. 4 (точки 1—6), показывают хорошее соответствие с теоретическими предположениями, выраженными уравнением (6). Все точки варианта с $CaCO_3$ легли выше изоплеты марганца 10^{-5} г-мол/л; это указывает на то, что вероятная концентрация марганца будет меньше 0.1 мг/л, т. е. количество, неопределяемое при выбранном нами методе анализа. Как видно из табл. 11, действительно водорастворимый марганец при анализе не был обнаружен. Близко к изоплете расположились и точки, соответствующие варианту опыта с $CaHPO_4$, что также находится в согласии с данными, приведенными в табл. 11.

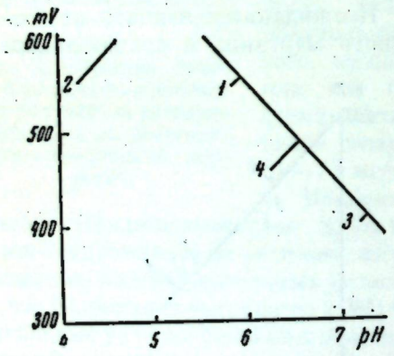


Рис. 5. Влияние окислительно-восстановительных условий на развитие растений и на растворимость соединений марганца.

Величина урожая во всех сосудах варианта опыта с $CaCO_3$, независимо от того, вносился ли марганец или нет, оказалась одинаковой. Этого и следовало ожидать, так как весь внесенный марганец, как показывают и табл. 11 и рисунок, окислился, и токсическое действие его не могло уже проявиться. Снижение урожая во всех сосудах с $CaHPO_4$ (в том числе и без внесения марганца) несколько непонятно. Предположение, что большие количества фосфатов связали даже марганец, присутствующий первоначально в песке, и растения пострадали от недостатка марганца, вряд ли может быть принято, так как противоречит данным табл. 11, показывающим присутствие небольших количеств марганца в растворе.

В следующем опыте изменение окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий мы попытались вызвать разными путями: а) подкислением песка при закладке опыта раствором серной кислоты, б) внесением, тоже при закладке опыта, марганца в виде соли его $KMnO_4$, в) длительным затоплением песка в сосуде на все время роста растений после появления всходов. Результаты опыта приведены в табл. 12 и на рис. 5.

Таблица 12

Влияние изменения окислительно-восстановительных условий на рост растений и на содержание водорастворимого Mn в почве

Удобрения	Вес урожая, в г	Количество Mn, в мг/кг почвы	В конце опыта	
			pH	Eh
1) Питательная смесь+MnO_2	6.3	4	6.0	540
2) То же + H_2SO_4	0.8	53	4.2	550
3) Питательная смесь + $KMnO_4$ 1 г/сосуд	4.6	14	7.2	400
4) Питательная смесь + MnO_2; сосуды затоплены	2.7	38	6.3	455

Результаты и этого опыта, как видно из рис. 5, дали удовлетворительное соответствие с уравнением (6); расположение точек на рисунке качественно хорошо соответствует экспериментально полученным (см. табл. 12) количествам водорастворимого марганца.

Марганцово-кислый калий, несмотря на его высокий окислительно-восстановительный потенциал, мало изменил окислительно-восстановительные условия в сосудах. Как было указано выше, соединения марганца высших валентностей не могут существовать при обычных для почв окислительно-восстановительных условиях; марганец при этом быстро восстанавливается до 4-валентного состояния и остается, как показывают данные табл. 12, инертным по отношению к растениям. Это состояние хорошо выражено на рис. 4, где видно, что точка 3, соответствующая значениям pH и Eh этого варианта опыта, лежит близко к изоплете марганца, равной 10^{-5}.

Длительное затопление песка, как это видно из положения точки 4 на рис. 4, привело к довольно сильному изменению окислительно-восстановительных условий в сосудах и, в соответствии с этим и в согласии с рис. 2, к появлению в растворе значительных количеств водорастворимого марганца и к снижению урожая.

Последний опыт был заложен с окислителем — персульфатом аммония. В этом опыте всходы появились с опозданием на 2—3 дня; достигнув на 10-й и 12-й день длины 3—4 см, ячмень приостановил свой рост и вскоре погиб. Одной из возможных причин гибели посевов явились ненормальные окислительно-восстановительные условия, созданные в сосудах внесением персульфата аммония. В день окончания опытов значение pH в этих сосудах оказалось равным 5.6, а значение Eh = 760 м-вольт; нанесением этих показателей на один из приведенных выше рисунков можно убедиться, что окислительно-восстановительные условия в этих сосудах резко отличны от соответствующих условий в сосудах всех других опытов.

Подытоживая результаты опытов с растениями, мы склонны считать, что во всех случаях закономерности, установленные уравнением (6) и изоплетами, получили экспериментальное подтверждение. Вместе с тем опыты показали, что марганцовые удобрения могут быть или инертными для роста и развития растений, или оказывать на них положительное или токсическое действие, в зависимости от тех окислительно-восстановительных

и щелочно-кислотных условий, которые имелись в почве (или в другом питательном субстрате) к моменту внесения удобрений, а также и за все время роста и развития растений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаемое в некоторых случаях заболевание растений «серой немочью» (марганцовый хлороз), а также случаи, теперь уже твердо установленные, эффективного действия марганцовых удобрений указывают, что на ряде почв растения по тем или иным причинам недополучают необходимого им количества марганца. Причины такого «марганцового голодания» могут быть только две: общий недостаток марганца в почве или описанные выше процессы окисления соединений марганца до двуокиси, нерастворимой в воде и неусвояемой растениями. Для выяснения того, какая из этих причин является в природных условиях главенствующей, ниже приводятся данные по содержанию марганца в различных по своему генезису почвах, а также по содержанию его в урожае некоторых важных для сельскохозяйственного производства культур.

В табл. 13 приведены частично данные, взятые нами из работы Коссовича (1907), по содержанию валового марганца в некоторых почвах СССР.

Таблица 13

Валовое содержание марганца в некоторых почвах

(По Коссовичу) *

Почва	% марганца в почве	Количество марганца, в кг/га
Песок кварцевый, Мордовская АССР	0.01	200
Песок полевошпатовый, Ленингр. обл.	0.07	1400
Суглинок ледниковый, Моск. обл.	0.17	3400
Суглинок лёссовидный, Ворон. обл.	0.45	9000
Глина моренная, Ленингр. обл.	0.13	2600
Лёсс, Винницк. обл.	0.06	1200
Лёсс, Ферганск. обл.	0.53	10600
Дерново-подзолистая почва, Моск. обл., гор. 0—10	0.35	7000
То же гор. 10—24	0.31	6200
» » » 47—57	0.17	3400
Серый лесной суглинок, Куйбыш. обл.	0.15	3000
Чернозем, Куйбыш. обл., пахотный слой	0.31	6200

* Пересчеты на содержание марганца в кг/га выполнены здесь и далее нами.

По данным Круминш (1932), почвы Латвии содержат от 0.002 до 0.30% MnO; по Робинсон (1930), почвы Америки (США) — от 0.003 до 0.60%; по Вестер (1923), почвы Голландии — от 0.001 до 0.12%; по Леклерк, (1872), почвы Франции — от 0.06 до 0.28% Mn_2O_3 и т. д.

Содержание подвижных форм марганца (растворимые в 0.5 *n* H_2SO_4) в различных почвах Украинской ССР приведено в табл. 14.

Содержание поглощенного марганца для некоторых типов почв приводим в табл. 15.

Как видно из табл. 13—15, содержание различных форм марганца в главнейших типах почв СССР (за исключением торфяных почв, боровых

Таблица 14

Количество марганца, растворимого в 0.5 *n* H_2SO_4 (заимствовано у П. А. Власюка, 1950) в различных типах почв Украинской ССР

Почва	% марганца в почве	Количество марганца, в кг/га
Выщелоченный чернозем, Киевск. обл.	0.043	860
Оподзоленный чернозем, Киевск. обл.	0.037	740
Мощный чернозем, Сумская оп. ст.	0.038	760
Южный чернозем, г. Мариуполь	0.065	1300
Южный чернозем, Никол. обл.	0.054	1080
Обыкновенный чернозем, Кировогр. обл.	0.056	1120
Дерново-слабоподзолистая почва, Черниг. обл.	0.085	1700
Дерново-среднеподзолистая почва, Киевск. обл.	0.030	600
Лугово-пойменная, Киевск. обл., овощн. культ.	0.037	740
Лугово-пойменная, Киевск. обл., давно освоенная	0.056	1120
Темносерая лесная, Харьк. обл.	0.036	720
Дерново-подзолистая, Мукачевск. р-н	0.071	1420
Торфяная, Киевск. обл., г. Борисполь	Слоды	—
Темнокаштановая, Запорожск. обл.	0.060	1200
Корковый солонец, Сумск. обл.	0.036	720
Сильносолонцеватый солончак, Полтавск. обл.	0.035	700

Таблица 15

Содержание поглощенного марганца в почвах Украинской ССР

(по П. А. Власюк, 1950)

Почва	м-экв. Mn на 100 г почвы	% марганца в почве	Количество марганца, в кг/га
Мощный чернозем, Полтавск. обл.	0.06	0.0033	66
Оподзоленный чернозем, Киевск. обл.	0.12	0.0065	130
Светлосерая лесная, Харьк. обл.	0.13	0.0074	148
Среднеподзолистая, песчаная, Черниг. обл.	0.30	0.0163	326
Супесчаная, вновь освоенная, Киевск. обл.	0.02	0.0011	22
Луговая, Сталинск. обл.	0.07	0.0039	78
Бурозем, Закарп. обл.	0.09	0.0052	104
Лугово-пойменная, Киевск. обл.	0.02	0.0014	28

песков и некоторых других) можно охарактеризовать следующими средними величинами:

валовой марганец . . . . . 0.06—0.53%, или 1.2—10.6 т/га;
подвижные формы марганца . . . 0.035—0.085%, или 700—1700 кг/га;
поглощенный марганец . . . . . 0.0011—0.0074%, или 22—148 кг/га.

По сравнению с этими данными вынос марганца с урожаем составляет весьма небольшую величину. Содержание марганца и вынос его с урожаем некоторых культурных растений можно видеть в табл. 16.

Следует заметить, что на полях, где вносятся те или иные удобрения, указанное в табл. 16 количество марганца, выносимого с урожаем, с

Таблица 16

Содержание марганца в некоторых культурных растениях (по данным разных авторов, из работы Хализева, 1934)

Растения	Содержание Mn, в %	Содержание Mn в урожае	
		урожай, в ц/га	Mn, в г
Пшеница, зерно	0.0028	25	70
Ячмень зерно	0.0056	25	140
Овес, зерно	0.0023	25	58
Рожь, зерно	0.0060	25	150
Кукуруза, початки	0.0011	25	28
Лен, семена	0.0038	10	38
Картофель, клубни	0.0014	200	280
Свекла, корни	0.0016	200	320
Морковь, корни	0.0006	200	120
Люцерна, сено	0.0040	50	200

избытком покрывается марганцем, вносимым с удобрениями. Селитра, калийная соль и другие концентрированные минеральные удобрения обычно содержат небольшие количества марганца, но хибинские апатиты содержат 0.02—0.13% марганца (Розанов и Воскресенская, 1937), подольские фосфориты, по данным тех же авторов, 0.24% марганца, навоз (Хализев, 1934) 0.004% и т. д.

Приведенные данные, полагаем, достаточны для получения полной характеристики содержания различных форм марганца в главнейших типах почв СССР. Эти данные, как видим, показывают, что ни валовое содержание марганца, ни количество его подвижных и обменных форм не могут являться для подавляющего числа почв нашего Союза лимитирующим фактором при питании растений. Содержание марганца в почве, как видим, достаточно велико, чтобы полностью обеспечить питание растений марганцем на долгие годы, даже при самых неблагоприятных условиях поступления марганца в почву в результате выветривания почвенных минералов. Если это так, то недостаточное питание растений марганцем, заболевание их «пятнистой немочью» и пр. должны зависеть только от тех неблагоприятных окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, о которых говорилось выше. Основное следствие, вытекающее из этого, будет то, что мероприятия, имеющие целью обеспечить нормальное марганцовое питание растений, должны быть направлены в основном не на увеличение количества марганца в почве, не на внесение марганецсодержащих удобрений, а на изменение окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий в сторону, благоприятствующую нормальному поступлению марганца в растения.

В связи с этим возникает, естественно, вопрос о тех мероприятиях, которые могут привести к такому благоприятному изменению окислительно-восстановительных условий почвы. Ответ на этот вопрос дают классические работы В. Р. Вильямса, в учении которого вопросы о роли и значении окислительно-восстановительных условий для процессов почвообразования и жизни растений занимают значительное место. Вильямс показал, что ни анаэробные, ни аэробные процессы почвы не могут считаться благоприятными для развития растений; первые — благодаря переводу большинства элементов зольной пищи растений в подвижные

закисные соединения, большие концентрации которых являются токсичными для растений, вторые — благодаря быстрой минерализации органического вещества почвы до простых окисных соединений этих элементов, которые недоступны для питания растений или сами по себе, или благодаря выносу их из наиболее плодородных горизонтов почвы. В применении к марганцовому режиму почвы эти взгляды Вильямса лишний раз подтверждают установленные нами закономерности превращения соединений марганца в почве: в аэробных условиях, при высоких значениях pH и Eh марганец принимает окисленную форму MnO_2 и становится неусвояемым для растений; при низких значениях pH и Eh почвенные соединения марганца переходят в закисные, которые при накоплении становятся токсичными для растений.

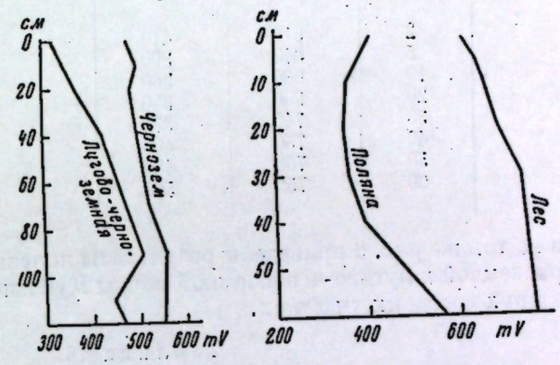


Рис. 6. Изменение величины окислительно-восстановительного потенциала почв при наложении дерновых и луговых процессов.

В учении Вильямса об основах общего земледелия, являющегося по существу учением о создании в почве наиболее благоприятных для развития растений окислительно-восстановительных условий, даны и указания на те пути перестройки и ухода за почвой, которые, в частности, для режима марганцового питания растений в согласии с установленными выше закономерностями, должны привести к желаемому окислительно-восстановительному состоянию почвы. В первую очередь к этим мероприятиям, как это теперь хорошо известно, следует отнести травопольную систему земледелия и, в частности, оструктуривание почвы. Экспериментальных данных о влиянии этих факторов на основные показатели окислительно-восстановительных условий почв — Eh и pH — мы еще не имеем; это входит в задачу нашей дальнейшей работы. Все же ниже приводим на основании полевых измерений небольшие данные по изменению этих показателей под влиянием наложения дернового и лугового процессов на подзолистый и черноземный, полагая, что при этих естественных процессах изменения окислительно-восстановительных условий должны быть в большой степени аналогичными изменениям этих условий в травопольных севооборотах при посеве трав.

В табл. 17 и на рис. 6 приведены результаты полевых измерений окислительно-восстановительного потенциала на двух соседних площадках дерново-подзолистой почвы, Румянцево, Московской обл. Первая площадка была выбрана под покровом смешанного леса на почве, непосредственно покрытой лесной подстилкой, без всяких признаков задернения. Вторая площадка была выбрана в 10—12 м расстоянии от первой, но на

лесной поляне, на почве, покрытой дерниной. Измерения окислительно-восстановительного потенциала были произведены 22 июля, в один и тот же день.

Таблица 17

Изменение окислительно-восстановительных условий почвы при наложении дернового процесса. Румянцево, Московской обл.

Глубина, в см	Eh в м-вольтах, в лесу, под деревьями	Eh в м-вольтах, на поляне
2	610	410
5	640	390
10	660	360
20	690	350
30	740	370
40	750	400
50	760	480
60	750	560

В табл. 18 и на том же рис. 6 приведены результаты полевых измерений потенциала черноземной и лугово-черноземной почвы Куйбышевской обл., с. Кутулук, на двух соседних участках.

Таблица 18

Изменение окислительно-восстановительных условий почвы при наложении лугового процесса. Кутулук, Куйбышевской обл.

Глубина, в см	Eh в м-вольтах, черноземная почва	Eh в м-вольтах, лугово-черноземная почва
2	485	320
10	510	350
20	490	370
40	510	420
70	530	490
90	560	520
110	555	450
120	550	470

Данные таблиц и рисунка показывают, что наложение дернового и лугового процессов на подзолистый и черноземный довольно сильно изменяет окислительно-восстановительные условия почв. Так, под влиянием наложения дернового процесса величина потенциала снизилась, например, для верхнего горизонта на 200 м-вольт, а при наложении лугового процесса — на 165 м-вольт. Изменения потенциала в обоих случаях в сторону уменьшения его величины показывают, что по крайней мере по отношению к марганцу наложение дернового и лугового процессов приближает к созданию в почве именно тех промежуточных между полным анаэробиозисом и аэробиозисом окислительно-восстановительных условий, о которых говорилось выше.

Возвращаясь к вопросу о марганцовых удобрениях, очевидно, следует ожидать, исходя из сказанного, что эффективное действие их будет проявляться только в условиях, близких к полному аэробиозису, т. е. на почвах, где еще не создались благоприятные окислительно-восстановительные условия.

ВЫВОДЫ

1. Методом потенциометрического титрования установлена «кажущаяся» константа произведения растворимости гидрата закиси марганца; найдено, что величина ее непостоянна и зависит от окислительно-восстановительных условий.

2. На примере гидрата закиси марганца показано, что для элементов, имеющих переменную валентность, растворимость их гидратов не может быть рассчитана, как обычно, по константе произведения растворимости.

3. Даны изоплеты растворимости гидрата закиси марганца, устанавливающие зависимость концентрации ионов марганца от pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) раствора.

4. На основании анализа изоплет марганца и железа показано, что совместное осаждение Mn и Fe в природных соединениях (вады, конкреции и пр.), объясняемое ранее микробиологическими факторами, может быть легко объяснено физико-химическими причинами.

5. Установлен порядок величины констант произведения растворимости фосфатов марганца: $MnHPO_4$ и $MnPO_4$.

6. Установлены окислительно-восстановительные условия связывания марганцем подвижных фосфатов почвы; показано, что наличие анаэробиозиса является благоприятным для этого условием.

7. Установленные закономерности растворимости марганцовых соединений были проверены в условиях вегетационных опытов в песчаных культурах, при разных окислительно-восстановительных условиях.

8. Показано в условиях вегетационных опытов, что одни и те же дозы марганцовых удобрений могут в зависимости от окислительно-восстановительных условий или не оказывать никакого действия на растения, или стимулировать рост их, или быть токсичными для них.

9. Установлено, что явление недостаточности для растений марганца не может быть связано ни с запасом валового марганца, ни с запасом его подвижных форм или обменного марганца в почвах, а зависит только от неблагоприятных окислительно-восстановительных условий.

10. Сделано заключение, что нормальное марганцовое питание растений полностью обеспечивается окультуриванием почвы, при введении травопольных севооборотов.

ЛИТЕРАТУРА

Бриттон Х. Т. Водородные ионы. Химтеорет. Л., 1936.
Вильямс В. Р. Почвоведение. Общее земледелие с основами почвоведения. ОГИЗ — Сельхозгиз, 1936.
Власюк П. А. и Лендацкая Л. Д. Содержание подвижных форм микроэлемента марганца в почвенных разновидностях Украинской ССР. Почвоведение, 1950, № 6.
Гедройц К. К. Опыты с известкованием. Тр. с.-х. хим. лаб., в. 6, СПб., 1909.
Карякин Ю. В. Чистые химические реактивы. Госхимиздат, 1947.
Кирсанов А. Т. Материалы к новой постановке известкования. Тр. Почв. инст. АН СССР. Сообщ. I, т. 18, 1938; сообщ. II, т. 21, 1940.
Коссович П. С. Краткий курс почвоведения. 2-е изд. СПб., 1916.

Круминьш К. Соединения марганца в латвийских почвах и горных породах. Влияние двуокиси марганца на хингидронный метод. Марганец как обменное основание. Реф. Ж. Хим. содаемл., 7, 1932.
Лурье Ю. Ю. Расчеты и справочные таблицы для химиков. Госхимиздат, М., 1947.
Никольский Б. П., Гортиков В. М. Значение pH для анализа природных вод. Сб. «Совр. методы физ.-хим. анализа», в. 2, 1935.
Полынов Б. Б. Кора выветривания. Изд. АН СССР, 1934.
Розанов С. Н. и Воскресенская Д. В. Колориметрическое определение марганца в фосфоритах и апатитах. Тр. Научн.-иссл. инст. по удобр., в. 103, 1932.
Сердобольский И. П. Окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия глееобразования. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. 31, 1950.
Успенский Е. Е. Марганец в растении. Журн. опытн. агрон., т. 16, 1915.
Ферсман А. Е. Геохимия. Госхимтехиздат, т. 1—4, 1934—1939.
Хализев А. А. Химические стимуляторы. 1934.
Ярилова Е. А. Исследования в области миграции марганца в почвах. I. Окислительно-восстановительные и кислотно-щелочные условия существования соединений марганца. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. 24, 1940.
Heintze S. G. Manganese deficiency in peas and other crops in relation to the availability of soil manganese. J. Agr. Sci., v. 36, 1946.
Dion C. a. Mann P. Three valent manganese in soils. J. Agric. Sci., v. 36, 1946.
Inglis J. H. Ztschr. f. Electroch., Bd. 9, 1903.
Leclerc. Comp. Rend. 75, 1209, 1872.
Mattson S., Erikson E. a. Vothras K. Effects of excessive liming on leached acid soils. II. Forms of manganese. Kungl. Lantbruks Hogskolans Annales (The Annals of the royal agricult. collegei of Sweden), v. 15, 1948.
Robinson. Soil Sci., 30, 1930.
Scherman G. D. a. Haimer P. M. Manganese deficiency of oats and alkaline organic soils. J. Am. Soc. Agr., v. 33, N 12, 1941; Soil Sci., 7, 1942.
Scherman G. D., McHargue J. S., Hodgkiss W. S. Determination of active manganese in soil. Soil Sci., v. 54, N 4, 1942; v. 56, N 2, 1943.
Yester. Int. Mitt. Bodenkunde, 13, I, 1923.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

А. А. ЛАЗАРЕВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПОД ЛЕСОМ И ПОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ КУЛЬТУРОЙ

В соответствии с учением В. Р. Вильямса о роли растительности в почвообразовательном процессе, следует ожидать изменений в химических свойствах почв в зависимости от того, находятся ли они под лесом или под сельскохозяйственной культурой. О неизбежности таких изменений И. В. Тюрин (1930) писал: «Искусственная или естественная смена растительности, связанная с изменениями в водном режиме, должна вызвать соответствующие изменения в почвенных процессах, результатом которых явится изменение физико-химических свойств и морфологического облика почвы». Установление изменений между почвами одного и того же типа, но находящимися под различными сельскохозяйственными угодьями, имеет существенное значение для рекомендации тех или иных приемов агротехники и, вероятно, будет необходимо для усовершенствования классификации почв. Еще В. В. Докучаев (1899) писал: «Есть даже полное основание надеяться, что в ближайшем будущем мы сумеем легко отличать между собой не только степные и лесные почвы, но и земли березовые, липовые, дубовые и пр., что простой русский народ давно уже распознал».

Ранее (1936) нами было проведено исследование о влиянии сельскохозяйственной культуры на свойства черноземов лесостепной полосы. Объектами исследования были черноземы культурных, залежных и целинных участков, расположенных в одинаковых условиях рельефа и на одних и тех же материнских породах. При этом были обнаружены значительные различия между культурными и целинно-залежными почвами по их морфологическим, химическим, физико-химическим и биохимическим признакам. Данные этих исследований позволили в то же время указать на положительную роль травопольных севооборотов в восстановлении и улучшении плодородия почв. В настоящей работе для аналогичного изучения взяты серые лесные почвы, находящиеся под лесом и под сельскохозяйственной культурой.

В почвах под лесом, благодаря обмену веществ между почвой и растением, происходит, как известно, аккумуляция зольных элементов в верхних горизонтах профиля, в почвах же под сельскохозяйственной культурой, при отсутствии травопольных севооборотов и недостаточном внесении органических и минеральных удобрений, наоборот, превалирует отчуждение зольных элементов.

Таблица 1

Содержание гумуса, азота и поглощенных оснований и кислотность в серых лесных почвах Серебряно-Прудского района

№ разреза	Название почвы и местонахождение разреза	Глубина образца, в см	Гумус, в %	Азот, в %	C : N	pH водн. сусп.	pH солев. сусп.	Поглощенные основания, в м-экв. на 100 г почвы		
								Ca	Mg	Ca+Mg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
162	Серая оподзоленная почва. Водораздельная поверхность в сев. половине р-на, к зап. от Клемово. Лес	1—6	8.4	0.43	11.2	6.3	5.4	30.5	9.8	40.3
		20—25	2.0	0.09	12.7	5.2	4.0	13.8	6.7	20.5
		40—45	0.8	0.05	9.4	5.5	3.6	12.5	8.8	21.3
		60—65	0.6	0.04	9.5	5.2	3.5	13.7	7.9	21.6
		100—105	—	—	—	5.1	3.7	14.3	9.5	23.8
		120—125	—	—	—	5.2	3.6	15.3	8.9	24.2
178	Серая оподзоленная почва. Водораздельная поверхность в сев. половине р-на, к сев. от Ильино. Лес	0—5	5.1	0.24	12.6	6.2	5.1	12.6	8.1	27.7
		15—20	1.7	0.11	9.6	5.8	4.0	11.4	5.4	16.3
		25—30	1.8	0.09	12.1	5.5	4.2	18.2	6.3	24.5
		50—55	Не опред.		—	5.5	4.2	19.5	6.2	25.7
		95—100	»	»	—	5.5	3.8	22.4	7.2	29.6
167	Серая оподзоленная почва. Водораздельная поверхность в южн. половине р-на к юго-юго-зап. от Серебряных Прудов. Лес	0—2	6.5	0.27	14.3	—	—	17.5	4.7	22.2
		2—11	4.7	0.22	12.2	—	—	14.3	4.3	18.6
		11—18	2.6	0.11	13.2	—	—	13.3	4.1	17.4
		20—25	1.9	0.09	12.9	—	—	11.4	3.5	14.9
		45—50	0.8	0.04	13.2	—	—	12.9	5.9	18.8
		70—75	Не опред.		—	—	—	14.2	6.5	20.7
		130—135	»	»	—	—	—	17.8	8.3	26.1
95	Светлосерая сильно оподзоленная. Водораздельная поверхность в сев. половине р-на. Колхоз «Заря». Лес	1—6	5.4	0.24	12.8	5.7	4.3	12.0	6.0	18.0
		7—14	1.5	0.07	12.0	5.6	4.0	5.4	3.1	8.5
		15—20	1.0	0.05	12.8	5.8	4.1	6.5	3.0	9.6
		26—31	0.7	0.04	10.5	5.6	4.0	11.5	4.1	15.6
		47—53	0.6	0.04	10.3	5.6	4.0	14.5	4.8	19.3
		96—102	Не опред.		—	5.7	4.3	18.6	5.3	23.9
		165—170	»	»	—	7.8	7.3	Не опред.		
493	Серая оподзоленная почва. Сев.-зап. часть р-на. Колхоз «Буревестник». Пашня	0—10	3.25	0.15	12.3	6.1	4.9	17.1	2.9	20.0
		26—31	2.37	0.11	13.0	6.3	5.2	—	—	—
		55—60	0.89	0.05	9.8	5.9	5.0	19.6	5.1	24.7
		80—85	0.58	0.03	10.6	5.9	4.8	20.9	5.3	26.2
		126—132	Не опред.		—	6.5	5.2	22.7	5.9	28.6
		200—205	»	»	—	7.5	6.3	17.3	5.2	22.5
592	Серая оподзоленная почва. Сев.-зап. часть р-на. Колхоз «Буревестник». Пашня	0—10	2.7	0.14	11.6	6.2	5.2	15.2	3.7	18.9
		29—34	1.4	0.07	11.7	6.9	5.6	18.9	4.0	22.9
		39—44	0.8	0.05	9.6	6.5	5.3	18.0	3.8	21.8
		73—78	0.5	0.04	8.1	6.0	4.8	20.2	5.1	25.3
		121—126	Не опред.		—	6.0	4.7	20.1	4.7	24.8
94	Серая оподзоленная почва. Пологий склон водораздела. Колхоз «Заря». Пашня	0—10	3.13	0.18	10.4	6.1	5.1	14.6	2.0	16.6
		13—18	3.1	0.18	10.4	6.1	5.0	15.6	3.1	18.7
		25—30	1.5	0.08	10.6	6.8	5.4	18.2	3.9	22.1
		35—40	0.9	0.05	11.0	6.3	5.4	19.1	4.3	23.4
		50—55	0.8	0.05	9.4	5.8	4.6	16.4	4.2	20.6
		65—70	0.7	0.05	8.5	5.6	4.4	16.0	4.4	20.4
		90—95	Не опред.		—	5.6	4.3	—	—	—
		115—120	»	»	—	6.1	4.8	12.2	4.9	17.1
		162—170	—	—	—	7.9	7.2	—	—	—

Продолжение табл. 1

№ разреза	Название почвы и местонахождение разреза	Глубина образца, в см	Гумус, %	Азот, в %	C : N	pH водн. сусп.	pH солев. сусп.	Поглощенные основания, в м-экв. на 100 г почвы		
								Ca	Mg	Ca+Mg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
111	Серая оподзоленная почва. Пологий склон водораздела. Колхоз «Заря». Пашня	0—10	2.6	0.16	9.6	5.9	4.9	11.4	2.3	13.7
		16—21	0.9	0.06	10.0	5.6	4.6	12.0	4.1	16.1
		29—35	0.7	0.04	10.3	5.3	4.4	13.5	7.0	20.5
		53—59	0.5	0.03	9.7	5.0	3.9	15.1	7.2	22.3
		95—100	Не опред.		—	5.3	4.2	12.8	4.7	17.5
		138—143	»	»	—	5.2	4.0	14.0	5.8	19.8
		192—198	»	»	—	5.1	3.9	17.4	6.2	23.6
251	Серая оподзоленная почва. Склон водораздела. Колхоз «Заря». Пашня	0—12	2.34	0.13	10.7	5.9	4.4	9.2	2.0	11.2
		15—20	0.9	0.04	13.6	6.4	5.0	9.6	3.3	12.9
		25—30	0.6	0.04	9.7	5.5	4.0	10.5	4.3	14.8
		120—125	Не опред.		—	5.6	3.9	9.9	4.6	14.5
		150—157	»	»	—	5.7	4.0	9.2	4.7	13.9

Водный и воздушный режимы в почвах под лесом тоже иные, чем в почвах под пашней. Поэтому и процессы превращения органических остатков и продукты их распада в почвах названных угодий будут различны, что подробно развито и изложено у В. Р. Вильямса (1939).

К выяснению вопроса о роли леса в почвообразовании подходили многие крупные ученые. Однако выводы их оказались, как известно, диаметрально противоположными.

Ближе к поставленному нами вопросу относятся работы М. Е. Ткаченко (1908), К. П. Горшенина (1929), Г. М. Тумина (1930), П. И. Шавригина (1934) и др. Они исследовали, какое влияние оказали лесные посадки на когда-то безлесные почвы. Но у большинства этих исследователей была предвзятая идея о неизбежности деградации почв под лесом и поэтому некоторые из выводов этих авторов вызывают сомнение.

На особенности химических свойств серых лесных почв, находящихся под пологом леса и в сельскохозяйственной культуре, нами было обращено внимание при обработке аналитических данных Серебряно-Прудской почвенной экспедиции (1945). Тогда было обнаружено, что в почвах под лесом сумма поглощенных оснований (Ca и Mg) в верхнем горизонте значительно выше, чем в горизонтах A_2, B, B_1, при новом повышении их в нижележащих горизонтах.

В почвах под пашней, наоборот, наименьшее количество поглощенных оснований отмечалось в верхнем горизонте; ниже количество их увеличивается примерно до глубины 100—150 см, а со 150 см количество их снова понижается (табл. 1).

Из данных таблицы можно отметить еще следующие особенности почв под лесом и под пашней (кроме уже указанных выше различий в содержании в них поглощенных оснований): верхние горизонты почв под лесом значительно богаче гумусом, чем почвы под пашней, и соотношение C : N в этих горизонтах выше, чем в нижележащих горизонтах и чем в почвах под пашней. Намечается также некоторое различие в показаниях pH водной и солевой вытяжек в профилях сравниваемых групп почв; в почвах под лесом

верхний горизонт, как правило, имеет pH водной и солевой вытяжек выше, чем нижележащий; в почвах под пашней, наоборот, второй горизонт имеет более высокое значение pH, чем верхний. Уменьшение кислотности верхнего горизонта лесных почв объясняется появлением здесь зольных щелочных и щелочно-земельных элементов, образующихся при минерализации опада. С этим же, очевидно, связано и увеличение количества поглощенных оснований в верхних горизонтах лесных почв. Уменьшение количества поглощенных оснований в средних горизонтах связано с появлением в них обменной кислотности и обменного алюминия, что будет показано ниже.

В целях проверки описанных наблюдений и расширения исследований в 1947 г. нами собран дополнительный материал. Парные разрезы в лесу и на пашне выбирались вблизи друг от друга и по возможности в одинаковых условиях их залегания. Приведем краткое описание двух пар таких разрезов.

Разрез 24 — лес. УССР. Винницкая обл. В 1.5 км к северу от с. Янково, по дороге на Винницу. Высота около 300 м. Рельеф — эрозионно-увалистый с широкими ложбинами и долинами. Водораздельное плато. Грабовый лес с примесью ясеня, клена. В изреженном (вследствие пастьбы скота) травянистом покрове встречаются: зеленчук, копытень, лесная фиалка, сныть и др. Материнская порода — тяжелый лёссовидный суглинок.

A_0A_1 0—7 см. Светлосерый, дерновый, рыхлый. Непосредственно под подстилкой оподзоленная прослойка в 2—3 см.

A_1A_2 7—32 см. Серый со слабобуроватым оттенком. Ореховато-комковатый, с мучнистой белесой кремнеземистой присыпкой по поверхности орешков. Рыхлый.

A_2B 32—55 см. Коричнево-бурый с белесыми пятнами. Крупноореховатый. Присыпка в виде жилок проникает во внутрь орешков.

B_1 55—115 см. Коричнево-бурый, с меньшим развитием кварцевой присыпки. Структура призматическая, по граням призм коричневая пленка. Переход в B_2 постепенный.

B_2 115—150 см. Бурый. Менее уплотнен, чем B_1. Структура призмовидно-глыбистая, менее прочная, чем в B_1. Кремнеземистая присыпка почти отсутствует.

BC 150—170 см. Выщелоченный желто-бурый тяжелый лёссовидный суглинок.

$C_к$ 170—225 см. Желто-бурый тяжелый лёссовидный суглинок с едва заметными образованиями карбонатных зерен и псевдомицелия. Вскипающий от HCl.

Разрез 25. Там же, в 100 м к югу от опушки леса. Пашня. Паровое поле.

$A_{пах}$ 0—17 см. Светлосерый, комковато-порошистый, рыхлый, среднесуглинистый, слабопылеватый.

A_1A_2 17—40 см. Серый, мелкоореховатый и комковато-порошистый. Слабо уплотнен. С глубины 30 см появляется кремнеземистая присыпка.

A_2B 40—60 см. Серовато-бурый с мелкими белесыми пятнышками. Структура ореховатая, менее прочная, чем в разрезе 24.

B_1 60—115 см. Коричнево-желто-бурый. Крупноореховатый или глыбисто-призмовидный. По трещинам присыпка SiO_2 и глянец гумусовых затеков.

BC 115—145 см. Буровато-желтый, более слитный. Присыпка отсутствует. Редкие слабые затеки органо-минеральных коллоидов. Между 120—130 см вскипание от HCl.

$C_к$ 145—175 см. Буровато-желто-палевый, бесструктурный. Карбонаты рассеяны и резко не выделяются.

Оба разреза характеризуют серые оподзоленные почвы на тяжелом лёссовидном суглинке. По морфологическим признакам они близки друг к другу. Некоторые различия между ними сводятся к следующему: разрез на пашне отличается от разреза в лесу меньшей выщелоченностью, некоторой ослабленностью признаков оподзоленности и более мощным гумусовым горизонтом, вероятно, вследствие взрыхленности верхнего

горизонта от вспашки. Граница вскипания от HCl в лесной почве ниже, чем в почве под паром.

Разрез 2. Тульская обл., Крапивенский район, заповедник «Тульские засеки», квартал 99. Вершина с.-в. склона, в 40 м от опушки южного края засеки. Лес — молодняк: дубки, березки, липки, осинки, орешник, крушина. На опушке крупные одиночные дубы. Разрез сделан на небольшой полянке с луговым разнотравием.

A_0 1—2 см. Рыхлая, черно-бурая подстилка.

A_1 2—24 см. Темносерый, сильно влажный. Структура неясная. С глубины 14 см заметная буроватость.

A_1A_2 24—33 см. Серый с буроватым оттенком. Намечается плитчатость. Плотноватый. Много кварцевой присыпки.

A_2B 33—60 см. Коричнево-бурый с белесыми пятнами. Крупноореховатый. Граница с нижележащим горизонтом неясная.

B_2 60—95 см. Коричнево-бурый с меньшим количеством белесых пятен. Более плотный, чем A_2B. Структурные отдельности крупнее.

BC 95—130 см. Буровато-желтый. Структура слабо выражена. Кварцевая присыпка почти незаметна. Влажный. Переход в нижележащий горизонт постепенный.

C 130—150 см. Буровато-желтый. Бесструктурный, тяжелосуглинистый покровный суглинок, невскипающий от HCl.

Разрез 3. Там же, в 100 м к с.-в. от разреза 2. Ржаное поле.

$A_{пах}$ 0—20 см. Влажный, темносерый. Бесструктурный, при высыхании порошистый. Пылевато-суглинистый.

A_1A_2 20—36 см. Темносерый с буроватым оттенком. В нижней части несколько светлее. Мелкокомковато-ореховатая структура. По поверхности структурных отдельностей присыпка SiO_2.

B_1 36—71 см. Буро-серый. Среднеореховатый. Крупные гнезда присыпки SiO_2. Наблюдаются темнокоричневые мазки гумусовых затеков. Уплотнен.

B_2 71—110 см. Буровато-желтый с матово-сероватым налетом по структурным крупно призматическим отдельностям. Плотный. Тяжелосуглинистый.

BC 110—147 см. Буровато-желтый с бликами серых пятен от слабой присыпки SiO_2. Структура выражена слабо.

C 147—172 см. Буровато-желтый, влажный. Бесструктурный, тяжелосуглинистый пылеватый покровный суглинок. Невскипающий от HCl.

Эти разрезы характеризуют серые среднеоподзоленные тяжелосуглинистые почвы на покровном суглинке. Они слабо отличаются друг от друга по морфологическим признакам. Почвенный разрез под покровом ржи заметно суше, чем разрез в лесу. Возможно, вследствие этого и границы генетических горизонтов в полевом профиле почвы более отчетливы, чем в профиле лесной почвы.

Здесь так же, как было отмечено при описании разрезов 24 и 25, верхние гумусовые горизонты полевого профиля (разрез 3) несколько мощнее, чем в профиле лесной почвы.

В почвенных образцах, взятых из описанных разрезов, было определено: содержание гумуса, pH водной и солевой вытяжек, обменная кислотность, обменный Al, общее содержание P_2O_5 и количество подвижной P_2O_5 по Труогу.

Полученные данные сведены в табл. 2.

Данные табл. 2 подтверждают отмеченные выше положения о повышенном содержании гумуса в верхнем горизонте почв под лесом и более высоком значении pH в этом же горизонте по сравнению с содержанием гумуса и значением pH в верхнем горизонте почв под сельскохозяйственной культурой. Наряду с этим следует еще добавить, что нижележащие горизонты почв под лесом обычно кислее соответствующих горизонтов почв под пашней. С этим связано появление в указанных горизонтах лесных почв

Таблица 2

Данные определений гумуса, pH водной и солевой вытяжек, обменной кислотности и обменного алюминия, содержания валовой и подвижной P_2O_5 в смежных разрезах серых лесных почв под лесом и под пашней *

№ разреза	Местонахождение разреза и угодья	Глубина взятия образца, в см	Гумус, в %	pH водн. сусп.	pH в KCl вытяжки	Обменная кислотность в м-экв.	Обменный алюминий, в м-экв.	Валовая P_2O_5, в мг на 100 г почвы	Подвижная P_2O_5, в мг на 100 г почвы (по Трюгу)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	с. Янково, Винницкой обл. Лес	0—10	5.73	6.05	5.5	0.14	Нет	166	22.4
		15—25	1.44	5.57	4.8	0.12	»	150	15.7
		35—45	0.8	5.2	4.7	0.17	0.16	105	16.4
		65—75	0.6	5.0	3.9	1.54	0.96	136	34.3
		95—105	—	5.0	3.9	0.9	0.66	114	30.2
		135—145	—	5.2	4.0	—	—	95.7	21.8
		155—165	—	5.9	4.9	—	—	30.3	35.7
		175—185	—	7.95	7.3	—	—	86.2	6.5
		215—224	—	8.24	7.4	—	—	52.7	5.6
24а	Там же. Поле	0—10	2.25	5.47	5.4	Нет	Нет	102	29.4
		20—30	2.14	5.47	5.4	»	»	136.4	24.7
		45—55	0.73	5.96	5.2	»	»	121	38.9
		65—75	0.6	5.47	4.6	»	»	137	35.3
		95—105	—	5.49	4.5	»	»	121	29.5
		120—130	—	7.40	—	»	»	122	6.9
		160—165	—	7.31	—	»	»	119	7.0
		165—175	—	6.24	—	»	»	108	29.3
2	Тульские засеки. Лес	0—10	4.8	6.1	5.2	Нет	Нет	194	6.9
		14—24	2.7	5.9	4.9	0.17	»	136	4.3
		26—32	1.1	5.1	4.6	0.21	0.14	79.7	6.8
		40—50	0.7	5.3	4.1	0.34	Не опр.	7.8	9.1
		70—80	0.5	5.3	4.1	0.43	»	123	16.9
		100—110	—	5.3	4.1	0.55	0.42	117	19.3
		120—130	—	5.5	4.1	0.46	Не опр.	98.5	16.6
		140—150	—	5.6	4.2	0.27	0.24	90.2	17.1
		160—170	—	6.2	4.3	—	—	72.7	11.0
2а	Там же. Поле	0—12	3.0	6.8	5.0	Нет	Нет	128	11.1
		14—24	2.5	6.7	4.9	»	»	122	12.1
		25—35	1.3	6.1	5.0	»	»	97	16.4
		40—50	0.7	6.0	4.7	»	»	91	24.9
		72—80	0.3	5.5	4.5	»	»	117	25.4
		101—110	—	5.9	4.5	»	Следы	106	30.1
		120—130	—	6.0	4.5	»	»	87	24.7
		140—150	—	5.7	4.4	»	»	92	21.6
		160—170	—	6.5	—	»	»	74	—
37	Рязанская обл. Старожиловский р-н. Лес	0—10	5.4	5.55	4.8	Нет	Нет	—	—
		12—22	2.07	5.25	5.7	0.9	0.9	—	—
		22—32	1.44	4.9	4.5	1.95	1.15	—	—
		40—50	1.11	4.65	4.0	3.27	2.89	—	—
		65—75	0.87	4.9	4.4	3.02	2.63	—	—
38	Там же. Поле	0—13	3.10	6.2	5.9	Нет	Следы	—	—
		13—23	1.65	6.0	5.8	»	»	—	—
		23—35	1.64	5.3	4.9	»	»	—	—
		40—50	1.0	5.2	4.9	»	»	—	—
		65—75	0.67	5.05	4.8	»	»	—	—

* Анализы сделаны ст. лаборантом М. Г. Синягиной.

обменной кислотности и наряду с обменным водородом обменного алюминия. При вовлечении серых лесных почв в сельскохозяйственную культуру эти особенности лесных почв, повидимому, постепенно снимаются. Обменная кислотность и обменный алюминий наблюдаются, повидимому, только в сильноподзолистых культурных почвах.

В профиле почв под лесом содержание валовой фосфорной кислоты значительно выше, чем в почвах под сельскохозяйственной культурой. Особенно резко это различие проявляется для верхнего горизонта, где в почвах под лесом происходит аккумуляция фосфатов за счет разложения опада, а в почвах культурных происходило до сих пор главным образом отчуждение фосфатов с урожаями.

Распределение фосфатов по профилю почвы как в лесу, так и в поле неравномерное — имеются относительные максимумы содержания ее в иллювиальных горизонтах, что объясняется или большим количеством коллоидов в этих горизонтах, обычно содержащих повышенное количество фосфатов, или же тем, что в этих горизонтах почвы обычно слабее развита корневая система растений и, следовательно, слабее идет усвоение растениями почвенных фосфатов из этих горизонтов (М. А. Егоров, 1924).

Что касается подвижного фосфора, то оказывается, что культурные почвы значительно богаче им, чем почвы под лесом. Ход распределения подвижного фосфора по профилю почвы одинаков как для почвы под лесом, так и для почвы под пашней. Верхний горизонт обычно богаче подвижным фосфором, чем нижележащие оподзоленные горизонты; далее, в иллювиальных горизонтах количество их возрастает и достигает максимума, при переходе же их в карбонатный количество подвижной P_2O_5 резко уменьшается.

Полученные выводы о большей обеспеченности верхних горизонтов серых оподзоленных почв под лесом азотом, щелочноземельными и щелочными основаниями (в том числе калием) и меньшей обеспеченности их подвижными соединениями фосфора полностью оправдались данными вегетационного опыта.

В 1948 г. был поставлен вегетационный опыт для выяснения отзывчивости серых оподзоленных почв на минеральные удобрения. В числе разных почв были взяты две парные почвы: серые оподзоленные из колхоза «Борец» Серебряно-Прудского района — одна с полевого участка, с пара, вторая там же — из-под леса, причем испытывались отдельно верхние два горизонта.

Опыт был заложен по схеме: контроль, NK, NP, NPK. В качестве опытного растения взята кукуруза, как наиболее отзывчивая культура на внесение удобрений. В качестве удобрений взяты: азотно-кислый аммоний, монокальцийфосфат и сернокислый калий. В каждый сосуд, содержащий 4.5 кг почвы, выносилось по 1 г N, K_2O и P_2O_5.

Данные урожайности сухой массы кукурузы приведены в табл. 3.

Из приведенных данных видно, что если почва, занятая ранее сельскохозяйственной культурой, наряду с высокой отзывчивостью на фосфор показала также значительную отзывчивость на азот и калий, то почва, занятая ранее лесом, очень слабо реагировала на азот, совершенно не реагировала на калий и очень сильно реагировала на фосфор. Другими словами, в лесной почве получение высокого урожая лимитируется в основном фосфором. В данном случае, однако, нужно иметь в виду, что распаханный участок расположен близко к усадьбе и поэтому он хорошо и систематически унаваживался. Возможно, это и явилось причиной меньшей отзывчивости на фосфор почвы с этого участка, чем с почвы, взятой под лесом. Нижеследующие фотографии иллюстрируют сказанное.

Таблица 3

Отзывчивость серых оподзоленных почв на внесение минеральных удобрений. Данные по урожаю сухой массы кукурузы в вегетационном опыте 1948 г. (в г на сосуд)

Схема опыта	Пар 0–20	Пар 20–40	Лес 0–20	Лес 20–40
Контроль	11.8	3.3	10.3	5.3
NK	23.0	21.6	14.9	8.1
NP	36.0	25.1	54.7	42.9
NPK	49.7	37.2	39.6	43.0

Интересные данные получены нами при исследовании качественного состава гумусовых веществ в серых оподзоленных почвах под лесом и под сельскохозяйственной культурой (А. А. Лазарев, 1949).

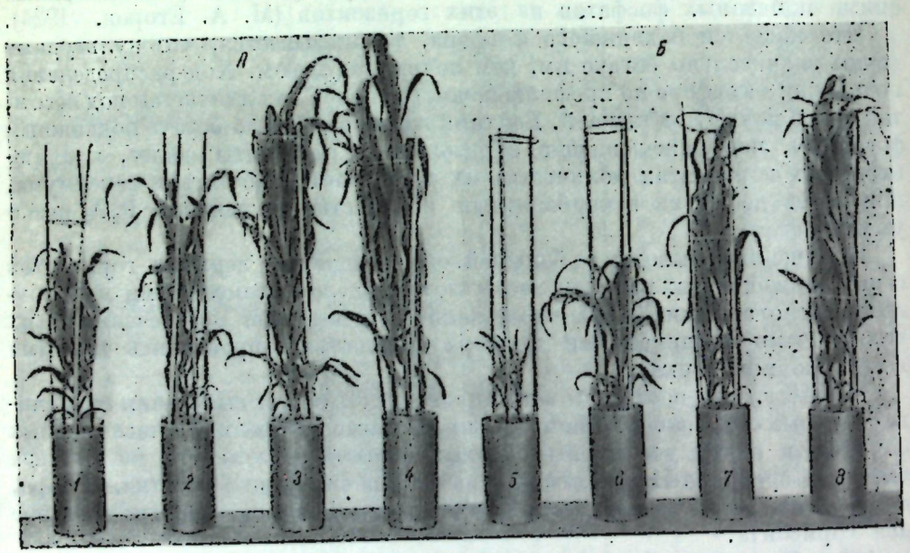


Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на развитие кукурузы на серых лесных почвах полевого участка (пар)

1 — с глубины 0–20 см (контроль); *2* — то же NK; *3* — то же NP; *4* — то же NPK; *5* — с глубины 20–40 см (контроль); *6* — то же NK; *7* — то же NP; *8* — то же NPK.

Различные источники органического вещества почвы в лесу и в поле и разные условия его разложения, естественно, должны в первую очередь отразиться на качественном составе гумуса.

Для изучения состава гумуса, кроме описанных выше почв Винницкой обл. и Тульских засек, взяты еще почвы (в лесу и в поле) с опытного участка Глуховского института лубяных культур (Сумская обл.), а также почвы с полевых участков в Чув. и Тат. АССР.

Исследования состава гумуса проведены по схеме И. В. Тюрина (1940). Кроме того, определен и углерод органических соединений, переходящих в раствор при декальцинировании. Последние характеризуют наиболее подвижную часть гумуса почвы. Результаты анализа сведены в табл. 4.

Таблица 4

Состав гумуса в серых оподзоленных почвах под лесом и под пашней, по схеме И. В. Тюрина
(В числителе — углерод в процентах к воздушно-сухой исходной почве, в знаменателе — углерод в процентах к общему органическому углероду в исходной почве)*

Место взятия образца	Угодье и глубина пробы, в см	С исходной почвы	С спирто-бензольн. экстр.	С декальцинита	С гуминовых кислот**	С фульвокислот**	С гидролизата	С негидролиз. остатка	С, сумма	С гуминовых кислот / С фульвокислот
Тульская засека	Лес 0–10	2.87 / 100	0.12 / 4.18	0.16 / 5.57	0.82 / 28.56	0.90 / 31.36	0.21 / 7.32	0.60 / 20.91	2.81 / 97.90	0.91
	Поле 0–10	1.63 / 100	0.05 / 3.07	0.12 / 7.36	0.60 / 36.81	0.40 / 24.54	0.09 / 5.52	0.35 / 21.47	1.61 / 98.77	1.50
Винницкая обл.	Лес 0–10	3.30 / 100	0.15 / 4.55	0.35 / 10.60	0.75 / 22.73	1.18 / 35.75	0.20 / 6.06	0.65 / 19.70	3.28 / 99.39	0.63
	Поле 0–10	1.58 / 100	0.06 / 3.80	0.08 / 5.06	0.59 / 37.34	0.35 / 22.15	0.07 / 4.43	0.41 / 25.95	1.56 / 98.73	1.68
Глуховский инст.	Лес 0–15	2.41 / 100	0.10 / 4.15	0.24 / 9.97	0.60 / 24.90	0.84 / 34.85	0.15 / 6.22	0.47 / 19.50	2.40 / 99.59	0.71
	Поле 0–15	1.79 / 100	0.06 / 3.35	0.08 / 4.47	0.72 / 40.22	0.50 / 27.93	0.06 / 3.35	0.34 / 18.99	1.76 / 98.32	1.44
Чув. АССР	Поле 0–12	1.54 / 100	0.06 / 3.90	0.12 / 7.71	0.69 / 44.80	0.37 / 24.03	0.07 / 4.54	0.22 / 14.29	1.53 / 99.35	1.86
Тат. АССР	Поле 0–12	2.10 / 100	0.05 / 2.38	0.13 / 6.20	0.77 / 36.67	0.48 / 22.85	0.14 / 6.67	0.48 / 22.85	2.05 / 97.62	1.60

* Анализы произведены в Лаборатории биохимии Почвенного института Н. П. Бельчиковой.

** Углерод гуминовых и фульвокислот определен в трех фракциях; в нашей таблице приведена сумма углерода этих фракций.

Как видно из данных табл. 4, наиболее резкие различия между почвами под лесом и под сельскохозяйственной культурой оказались в относительном содержании гуминовых кислот и фульвокислот: в почвах под лесом содержание гуминовых кислот в составе общего гумуса значительно меньше, чем в соответствующих им почвах под пашней. Количество же фульвокислот, наоборот, значительно выше в почвах под лесом, чем в распаханных почвах. Поэтому отношение С гуминовых кислот к С фульвокислот в почвах под лесом во всех случаях оказалось <1, а в почвах под сельскохозяйственной культурой >1. Обычно отношение С гуминовых

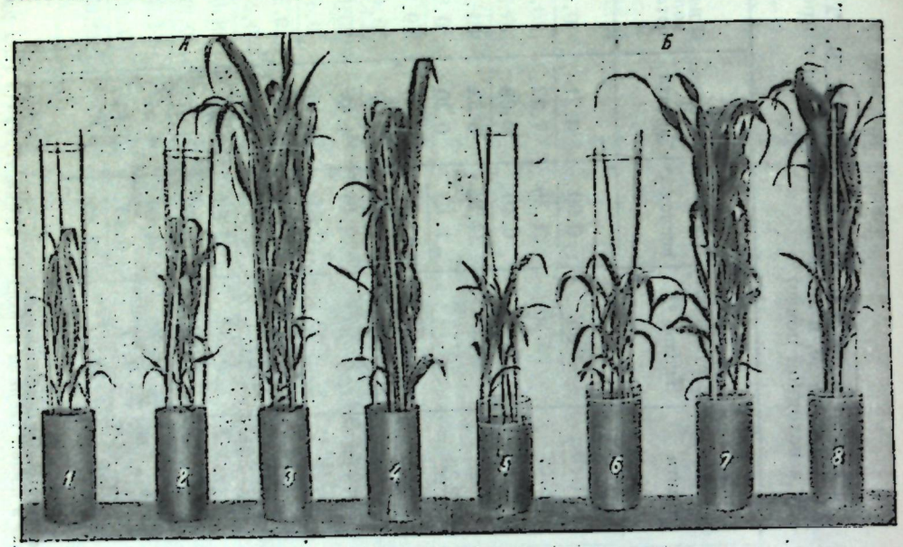


Рис. 2 (*А* и *Б*). Влияние минеральных удобрений на развитие кукурузы на серых лесных почвах с участка под лесом.

1 — с глубины 0–20 см (контроль); *2* — то же NK; *3* — то же NP; *4* — то же NPK; *5* — с глубины 20–40 см (контроль); *6* — то же NK; *7* — то же NP; *8* — то же NPK.

кислот к С фульвокислот <1 характеризует подзолообразовательный процесс. Следовательно, в серых почвах под лесом по этому признаку доминирует подзолообразовательный процесс; при переходе же этих почв под сельскохозяйственную культуру характер почвообразования сменяется и идет по степному типу. Этим подтверждается положение В. Р. Вильямса (1934) об изменении направления почвообразовательного процесса при смене одной растительной формации другой.

Таким образом, проведенные исследования показали как количественные, так и качественные различия в химической характеристике серых оподзоленных почв, находящихся под лесом и под пашней. Смеем думать, что при расширении и углублении работ в этом направлении будут выявлены различия и по другим признакам, например по характеристике микрофлоры, по составу коллоидов и т. д. Такие работы, несомненно, следует развивать, ибо сравнительное изучение почв разного культурного состояния, в конце концов, сводится к изучению почвы как объекта труда, что особенно важно для решения практических задач сельского хозяйства.

Вместе с тем подобные исследования помогут, очевидно, правильно решить и ряд генетических вопросов. Они заставляют более осторожно

подходить к оценке и трактовке данных химических анализов почв прежних исследований. Во всяком случае они указывают на необходимость отмечать в паспорте химических характеристик почв не только тип и вид анализируемых почв, но и угодье, к которому относится данная характеристика, что не всеми и не всегда соблюдается.

Следует заметить, что установленные нами различия в химизме серых лесных почв под лесом и под пашней справедливы только в случае слабой окультуренности почвы под пашней, вследствие предшествующей низкой культуры земледелия. При введении травопольных севооборотов и подъеме общей культуры земледелия различия между девственными лесными и культурными почвами будут, очевидно, иными.

ЛИТЕРАТУРА

Вильямс В. Р. Почвоведение. Сельхозгиз. М.—Л., 1939.
Егоров М. А. К выяснению причин, обусловливающих неравномерность распределения P_2O_5 по почвенному профилю. Харьковская обл., с.-х. оп. станция. Харьков, 1924.
Лазарев А. А. Влияние с.-х. культуры на свойства черноземов лесо-степной полосы. СОПС АН СССР, 1936.
Горшенин К. П. Влияние лесных посадок на химико-морфологическое строение черноземов. Почвоведение, № 3—4, 1924.
Докучаев В. В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни. СПб., 1899.
Лазарев А. А. Состав гумуса в серых оподзоленных почвах под лесом и под с.-х. культурой Докл. АН СССР, т. XV, № 5, 1949.
Ткаченко М. Е. О роли леса в почвообразовании. Изв. Лесн. инст., в. XVIII, СПб., 1908.
Тумин Г. М. Влияние лесных полос на почву в Каменной степи. Воронеж, 1930.
Тюрин И. В. Проблемы советского почвоведения. Изд. АН СССР, Сб. 11, 1940.
Тюрин И. В. К вопросу о генезисе и классификации лесостепных почв и лесных почв. Уч. зап. Казанск. гос. унив., кн. 3—4. Казань, 1930.
Шаврыгин П. И. К вопросу о реградации и деградации серых лесных почв. Тр. Почв. инст., № 10, М., 1934.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

И. И. БОЛОТИНА

ОБ АЗОТНОМ РЕЖИМЕ НА ЦЕЛИННЫХ СТЕПНЫХ ПОЧВАХ

Происхождение черноземных почв в большинстве работ освещается со стороны смены растительности, влияния материнской породы, рельефа, климатических условий, динамики распределения углесолей. В работах В. Р. Вильямса генезис почв рассматривается прежде всего с точки зрения изменения их плодородия, которое является основной отличительной особенностью почвы. К сожалению, эта сторона учения В. Р. Вильямса не получила дальнейшей экспериментальной и аналитической разработки; хотя понимание генезиса почв помогает выяснению путей повышения их плодородия, как это доказали классические работы Докучаева, Костычева и Вильямса.

Задачей настоящей работы является получение данных, характеризующих генезис чернозема со стороны пищевого режима типичных целинных степей. Эта работа входит в состав проводимого Институтом комплексного изучения эволюции черноземных почв как в условиях травопольной системы земледелия, так и в естественных условиях.

На данной стадии работы основное внимание было сосредоточено на азотном режиме черноземных степей и прежде всего на роли в нем бобовых растений. В черноземах накоплены огромные количества азота. Происходит ли это накопление под естественной травянистой растительностью вследствие большого содержания в ее составе бобовых растений? Определяется ли создание растительной массы избытком азота черноземных степей и недостатком зольных элементов?

В работах геоботаников имеется много общих указаний на большое число видов бобовых растений в составе травостоя черноземной степи, но мало данных о количественном участии в нем бобовых. Между тем без таких данных трудно судить о роли бобовых в азотном режиме степи. Поэтому прежде всего следует получить сведения о количестве бобовых в урожае травостоя. Далее, надо прямыми опытами установить, имеется ли избыток азота в распоряжении степной растительности, или урожай степи лимитируется прежде всего недостатком азота.

Объектом нашего исследования послужили целинные степи в заповедниках Курской и Пензенской обл. (Стрелецкая и Попереченская степи).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Количественный учет травостоя степи по группам растений злаковых (плюс осоки), бобовых и разнотравья производился в течение четырех лет (1945—1948 гг.) в период сенокоса посредством срезания трав на метровых площадках. В 1945 и 1946 гг. учет проведен на 10 точках каждой косимой и некосимой степи, в последующие годы на 72 делянках опыта с внесением удобрений, заложенного на косимом и некосимом участках степи. Растения срезались ножницами на высоте 0.5 см от поверхности почвы. Сноп разбирался на группы растений, высушивался в тени и взвешивался. На некосимой степи мертвый покров растительности не включался в вес урожая.

Количественный учет корневой массы производился в 1946 г. на глубину профиля в 50 см с расчленением на два слоя 0—30 и 30—50 см в столбиках почвы площадью 20 × 20 = 400 см². Корни отмывались водой на сите в 0.5 мм. Повторность проб для слоя 0—30 см была 4—5-кратная, для второго слоя — 2-кратная. В образцах растений, взятых в 1945 и 1946 гг., а также в корневой массе определялся общий азот.

Полевой опыт с действием удобрений заложен в мае 1947 г. по схеме: 0, N20 кг/га, N40 кг/га, PK, N20 PK, N40 PK в 6-кратной повторности. Удобрения внесены поверхностно: азот — в форме азотнокислого аммония, фосфор — в форме двойного суперфосфата, калий — хлористого калия. Фосфор и калий вносились из расчета 50 кг действующего начала на га. Площадь делянки 25 м² (5 × 5).

Весной, в мае 1948 и 1949 гг. было произведено повторное поверхностное внесение удобрений в тех же дозах.

Учет урожая трав в опыте производился путем среза травостоя на полосе размером 0.25 × 4 м (1 м²), расположенной вдоль делянки (в Курском заповеднике в 1-й половине, в Пензенском заповеднике во 2-й половине июля в период сенокоса).

При закладке опыта в 1947 г. на каждом участке степи были взяты почвенные образцы послойно — 0—5, 5—10, 10—20 и 20—30 см в четырех точках, расположенных по сторонам участка опыта. Кроме того, в Пензенском заповеднике были взяты образцы почв из разреза до глубины 110 см. В Курском заповеднике для анализа были использованы образцы из разреза 2К, сделанного почвоведом Афанасьевой (1947).

В образцах почв определялся гумус по методу Тюрина и общий азот по микрометоду Тюрина.

[КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СТЕПНЫХ УЧАСТКОВ]

Стрелецкая степь входит в состав Центрально-черноземного государственного заповедника им. Алехина и расположена в юго-западной части Средне-Русской возвышенности на водоразделе рек Сейм и Млодать.

Стрелецкая степь относится к разнотравным северным степям с широколистными корневищными злаками. В растительном покрове степи преобладают виды разнотравья. Из 220 видов растений в степи 180 видов представлены разнотравьем, 20 — злаками, 16 — бобовыми растениями и 4 — осоками. Максимальное количество видов на площадке в 1 м²—80. Границы ассоциации степи очерчены нерезко (В. М. Покровская, 1940). Наиболее распространенными из разнотравья являются: *Filipendula hexapetala, Salviata pratensis, Centaurea Marschalliana, Fragaria collina, Galium verum, Adonis vernalis, Scabiosa ochroleuca, Viola rupestris* и др. Из злаков обильно встречаются: *Bromus riparius, Festuca sulcata*, рассеянно встречаются: *Stipa stenophylla, Koeleria gracilis, Poa angustifolia*. Из осок — *Carex hymilis*. Из бобовых растений обильное распространение имеют: *Onobrychis arenaria, Trifolium montanum, Anthyllis polyphylla*; рассеянно встречаются: *Trifolium preatense, Trifolium repens, Vicia tenuifolia, Orobus*

albus, Medicago falcata; редко встречаются: *Lotus corniculatus, Astragalus danicus, Citisus ruthenicus, Trifolium alpestre* и др. (из описания растительности, сделанного по нашей просьбе, в 1948 г. ботаником заповедника Оловянниковой).

Абсолютно заповедными участками в степи с 1935 г. были оставлены два участка: один площадью в 5 га в западной наиболее красочно-разнотравной части степи тянется длинной полосой среди косимой степи от леса «Дубравщина» до дороги в усадьбу заповедника из селения Селихово (высота над уровнем моря около 256 м). Другой некосимый участок расположен против хутора Мясокомбината в восточной, наиболее возвышенной части Стрелецкой степи (263.5 м). Площадь его — около 150 га. Участок этот также вклинивается в косимую степь.

По наблюдениям Н. А. Прозоровского (1940) в Стрелецкой степи на некосимых участках видовой состав травостоя несколько изменился по сравнению с травостоем косимой степи. Уменьшилось общее число видов, растительный покров стал более однородным, менее красочным. Из бобовых растений на нескашиваемых участках не было зарегистрировано таких видов: *Astragalus danicus, Trifolium repens, Trifolium agrarium, Lotus corniculatus*. При условии нескашивания травостоя происходит изменение водного, воздушного и теплового режима почвы, что вызывает и изменение видового состава растительности (Алехин, Келлер и др.; по литературным данным в работе Прозоровского, 1940).

В Стрелецкой степи наиболее распространенной почвенной разновидностью является мощный слабовыщелоченный среднегумусный глинистый чернозем на светлопалевом лёссовидном суглинке (Е. А. Афанасьева, 1947).

Приводим из работы Е. А. Афанасьевой (1947) некоторые данные для агрохимической характеристики чернозема Стрелецкой степи, включая в таблицу и данные по общему азоту, полученные нами (табл. 1).

Таблица 1

Некоторые агрохимические данные для мощного слабовыщелоченного чернозема Стрелецкой степи

Глубина взятия образца, в см	pH	Гумус по Кнопу, в %	Обменные основания				Валовое содержание, в % на абс.-сух. почву		Общий азот, в %
			в %		в м-экв.				
			Ca	Mg	Ca	Mg	P_2O_5	K_2O	
Разрез 2К									
0—10	6.76	10.80	0.678	0.068	33.90	5.59	0.305	1.949	0.48
10—20	6.87	7.70	0.603	0.049	30.15	4.03	—	—	0.36
20—30	6.41	6.99	0.582	0.042	29.10	3.45	0.222	1.801	0.31
30—40	6.55	6.16	0.621	0.042	31.05	3.45	—	—	0.27
40—50	6.71	5.28	0.586	0.041	29.50	3.37	0.235	2.018	0.25
50—60	6.72	4.71	0.600	0.047	30.00	3.86	—	—	0.24
60—70	6.74	3.63	0.586	0.039	29.30	3.21	0.286	1.825	0.19
70—80	6.96	2.35	0.596	0.040	29.80	3.29	—	—	0.21
80—90	6.96	2.35	0.485	0.033	24.25	2.71	—	—	0.16
90—100	7.34	2.26	0.518	0.040	25.90	3.29	0.234	1.793	0.15
100—110	7.97	1.23	0.736	—	36.80	—	0.072	—	0.10
110—120	8.12	0.94	1.115	—	55.75	—	—	—	—

Примечание. Разрез 2К сделан на скашиваемом участке в западной части степи. A_0 0—5 дернина; A_1 0—76/79 гумусовый горизонт; 76/79—120 переходный горизонт.

Попереченская степь разнотравно-злаковая, расположенная в Телегинском районе Пензенской обл. (в юго-западном углу бывш. Пензенского уезда) на водораздельном плато между р. Хопер и его притоком — р. Арчедой; входит в состав Средне-Волжского госзаповедника.

Степь объявлена заповедной с 1923 г. Заповедник включает в себя травяную целинную степь, степную залежь различного возраста, куртины кустарниковой степи с господством бобовника и остатки степного западинного осинового куста (общая площадь около 200 га). Наши наблюдения проводились на травяной степи. И. И. Спрыгин, посвятивший изучению Пензенских степей несколько десятков лет, относит их к особому типу северных степей, свойственных более северной полосе чернозема, из-за отсутствия в их травостое ряда растений, находимых в более южных степях, а именно: *Stipa capillata, Salvia nutans, Scabiosa ochroleuca* и др.

Характерными чертами Пензенской степи является большая примесь к типчаку *Bromus erectus*, а в более пониженных местах и *Agrostis canina*, большее или меньшее развитие мохового покрова из *Thuidium abietinum* и большее или меньшее участие в составе травяного покрова форм влаголюбивых, а также двудольных растений, которые придают степи вид разнотравной степи. Ковыли в Пензенской степи встречаются двух видов: *Stipa stenophylla* и *Stipa Joannis*.

Большое распространение в степи отмечается для следующих видов растений: *Koeleria gracilis, Phleum Boehmeri, Avena Schelliana, Filipendula hexapetala, Galium verum, Adonis vernalis, Anemone patens, Ranunculus polyantemos, Fragaria viridis, Salvia dumetorum, Thymus Marschallianus, Iris aphylla, Achillea setacea* и др.

Из бобовых растений встречаются: *Trifolium montanum* и реже другие клевера, *Medicago falcata, Astragalus hypoglottis, Vicia cracca, Vicia tenuifollia, Lathyrus pratensis, Lathyrus pisiformis, Genista tinctoria*.

Общее количество видов растений — 150. Наиболее обильное распространение имеют 5 видов: *Festuca sulcata, Bromus erectus, Filipendula hexapetala, Trifolium montanum, Galium verum* (И. И. Спрыгин, 1923).

Рельеф травяной степи — почти ровное плато.

Микрорельеф на Попереченской степи выражен значительно слабее, чем на Стрелецкой степи, повидимому, вследствие того, что в этой степи незаметно роющей деятельности слепышей и других степных зверьков.

За последние три года в центральной части степи появились два деревца осины, достигших в 1948 г. примерно 2.5 м высоты. Расстояние между деревцами около 200 м. В 9 м от первого деревца по направлению к усадьбе заповедника на водоразделе заложен наш опыт с действием удобрений. Некоторая характеристика почвы этого участка дана в табл. 2.

Почвы степного заповедника представлены мощными выщелоченными и типичными глинистыми черноземами; в плоских западинах на водоразделе встречаются солоди.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА ТРАВОСТОЯ СТЕПИ

Пестрота в распределении травостоя в период сенокоса на каждом участке степи, как показывают данные по учету метровых площадок в 10 точках участка, довольно значительна (табл. 3).

В Стрелецкой степи метровые площадки располагались на расстоянии 30—50 м друг от друга на косимом участке в западной части степи вдоль очень пологого склона и на некосимом участке в восточной части степи, также вдоль еще более пологого склона к северу от хутора Мясокомбината.

Таблица 2

Некоторые данные по химической и физико-химической характеристике мощного тучного глинистого чернозема на Попереченской степи
(из материалов Н. Н. Розова, 1948)

Глубина образца, в см	% гумуса по Тюрину	pH		Поглощенные основания в мг-экв.		% CO_2
		водной суспензии	солевой суспензии	Ca	Mg	
0—4	14.91	6.36	5.44	51.1	6.2	—
4—10	9.76	—	—	42.4	5.7	—
10—15	9.36	—	—	47.0	5.4	—
15—20	9.08	6.72	5.83	50.8	5.8	—
20—25	8.19	—	—	—	—	—
25—30	7.99	7.41	6.52	53.0	5.4	—
30—40	7.28	—	—	—	—	—
40—50	6.94	7.53	6.50	53.8	5.0	—
50—60	6.49	—	—	—	—	—
60—70	5.80	—	—	—	—	0.71
70—80	5.32	—	—	—	—	0.84
90—100	5.51	—	—	—	—	0.59
100—110	3.32	—	—	—	—	0.69
120—130	1.60	—	—	—	—	5.23
140—150	0.88	—	—	—	—	5.70

Для 1947 и 1948 гг. приводятся данные учета по 6 контрольным делянкам опыта с действием удобрений, заложенного в степи косимой и некосимой на участке против хутора Мясокомбината.

На Попереченской степи метровые площадки были расположены в середине западной части степи вдоль степного участка, окруженного канавой. При этом несколько площадок захватили древнюю залежь с расположенными на ней едва заметными межами. Растительный покров этой залежи, как отмечал И. И. Спрыгин в 1925 г., уже тогда приобрел «типичный состав и габитус целинной степи». Для 1947 и 1948 гг. здесь так же, как и для Стрелецкой степи, приводятся данные учета по 6 контрольным делянкам опытного участка, находящегося в центральной части заповедной степи.

Колебания веса всей растительной массы по отдельным точкам по сравнению с средним урожаем составляют в большинстве случаев 15—16% (табл. 3). Эта пестрота в величинах общего урожая трав является значительно сглаженной по сравнению с пестротой в распределении составных частей травостоя по степи. Так, колебания в содержании злаковых трав по отдельным точкам достигают 20, 30 и 40%, в содержании разнотравья 50% и выше. И особенно резко колеблется в составе урожая травостоя количество бобовых растений. Пестрота распределения их или коэффициент вариации выражается в пределах величин 33—155.

Варьирование урожая трав на отдельных маленьких площадках вполне естественно, принимая во внимание, что если в составе травостоя на метровой площадке окажется какое-либо мощное растение из разнотравья, или мощный куст широколистного злака, то эти растения значительно увеличат вес сухой массы со всей площадки по сравнению с площадкой, расположенной среди малокустистых злаков, мелкого разнотравья.

Вместе с тем, полученные нами цифры урожая травостоя, средние как из 10 наблюдений, так и из 6, достаточно точно характеризуют общее количество сена, собираемого на степных участках. Точность определения

Таблица 3

Характеристика пестроты травостоя в степи

Место наблюдений и состав сена	1945		1946		1947		1948	
	Среднее из 10 определений				Среднее из 6 определений			
	M	V	M	V	M	V	M	V*
Стрелецкая косимая степь								
Общий вес сена, ц/га	20.6	16	14.6	15	25.5	—	24.2	13
m**	±1.03		±0.96				±1.29	
В ном злаков, ц/га	9.7	41	7.0	34	22.2	—	16.9	23
m	±1.27		±0.75				±1.57	
В ном разнотравья, ц/га	6.1	27	4.6	41	2.5	—	6.8	79
m	±0.52		±0.59				±0.22	
В ном бобовых, ц/га	4.8	33	3.0	63	0.8	—	0.5	99
m	±0.51		±0.60				±0.199	
Стрелецкая некосимая степь								
Общий вес сена, ц/га	14.4	31	13.1	16	26.4	16	32.8	18
m	±1.44		±0.67		±1.70		±2.44	
В ном злаков, ц/га	10.6	26	8.8	27	20.5	16	20.7	9
m	±0.87		±0.75		±1.38		±0.76	
В ном разнотравья, ц/га	2.9	42	3.3	50	4.4	40	7.3	51
m	±0.39		±0.53		±0.72		±1.52	
В ном бобовых, ц/га	0.9	53	0.9	105	1.4	80	4.8	82
m	±0.15		±0.30		±0.46		±1.62	
Попереченская некосимая степь								
Общий вес сена, ц/га	18.4	15	15.5	28	22.3	16	18.3	6
m	±0.85		±1.37		±1.50		±0.42	
В ном злаков, ц/га	11.4	26	11.5	45	9.4	14	6.6	27
m	±0.94		±1.65		±0.53		±0.73	
В ном разнотравья, ц/га	6.2	65	3.4	53	12.1	23	11.1	23
m	±1.27		±0.57		±1.16		±1.04	
В ном бобовых, ц/га	0.8	146	0.6	105	0.8	49	0.6	155
m	±0.37		±0.20		±0.16		±0.38	

* % σ от M = V — коэффициенту вариации; M — среднее арифметическое; σ — квадратическое отклонение отдельного наблюдения.
** m — квадратическая ошибка среднего арифметического.

урожая составляет 3—8% (% m от M, табл. 3), т. е. вполне допустимая в полевом исследовании.

При расчленении урожая на составные группы растений средний вес злаковых трав и разнотравья характеризуется несколько меньшей точностью. Данные о среднем весе бобовых растений, при том числе проб, которым мы располагали, характеризуются еще меньшей точностью, а именно около 33% (% m от M). Чтобы получить точность для весового количества бобовых растений в 10%, нужно взять на Стрелецкой косимой степи 40 точек, на некосимой 64 точки и на Попереченской степи 140 метровых площадок. При повышении точности до 5% число точек

увеличивается в среднем для всех степей до 350 точек, что представляет слишком трудоемкую работу.

При этом нужно отметить, что на Стрелецкой степи, как косимой, так и некосимой, встречаются изредка пятна сплошного стояния в травостое некоторых видов бобовых растений: *Vicia tenuifolia* (в западной и восточной частях степи), *Onobrychis arenaria*, *Anthyllis polyphylla* (в западной части степи). Пятна с *Vicia* достигают площадки в 1—2 м², пятна других бобовых менее значительны по размеру занимаемого ими пространства.

На Попереченской степи таких пятен бобовых растений почти не наблюдается.

Малое количество бобовых растений в урожае травостоя выражается низким процентным их содержанием в общем весе сена (в среднем 5.0%). Исключение составляет лишь участок косимой степи в западной части Стрелецкого заповедника, где бобовые растения составляют 22% урожая (табл. 4). Площадь этого участка невелика, по сравнению со всем массивом косимой заповедной степи, и отличается от него не только содержанием бобовых растений, но и вообще бо́льшим количеством разнотравья и соответственно этому меньшим содержанием злаковых трав.

Таблица 4

Групповой состав урожая травостоя Стрелецкой и Попереченской степей в % по весу

Место наблюдений и состав сена	1945	1946	1947	1948	За 2 года, 1947, 1948
	Среднее из 10 определений		Среднее из 6 определений		Среднее из 72 определений
Стрелецкая некосимая степь	Восточный участок				
Злаки	73	67	77	63	73
Разнотравье	20	26	17	22	20
Бобовые	6	7	6	15	7
Стрелецкая косимая степь	Западный участок		Восточный участок		
Злаки	47	48	87	70	82
Разнотравье	29	31	10	28	16
Бобовые	23	22	3	2	2
Попереченская некосимая степь	Западный участок		Центральный участок		
Злаки	62	74	42	36	44
Разнотравье	34	22	54	61	53
Бобовые	4	4	4	3	3

На Попереченской степи западная и центральная части ее также различны по групповому составу сена: вторая часть более разнотравна, чем первая. Количество же бобовых растений на обоих участках одинаково и составляет 4% от общего веса урожая.

Процентный состав в урожае травостоя групп растений — злаков, бобовых и разнотравья, как показывает табл. 4, является довольно устойчивым по годам для всех участков степи.

Каково соотношение отдельных ботанических групп в растительных покровах различных зон СССР, можно судить по некоторым материалам, приведенным в работе И. В. Ларина (1936). В лесной зоне (данные по Ленинградской обл.) злаково-разнотравная ассоциация на подзолисто-глеевой почве имеет в своем составе 23.3% злаков, 1.8% бобовых, 46.1% разнотравья и 28.8% осок. Лесостепь Западной Сибири — травостой на дерново-подзолистых почвах состоит из 30—40% злаков, 2—5% бобовых, 55—70% разнотравья, 1—5% осок; на средних (обыкновенных черноземах) — из 55—75% злаков, 1—5% бобовых, 30—40% разнотравья, 1—3% осок; на темноцветных почвах — из 60—80% злаков, 1—3% бобовых, 20—30% разнотравья и 1—5% осок.

Разнотравно-типчаково-ковыльная целинная степь на среднем глинистом черноземе (Чкаловская обл.) имеет в травостое в фазе цветения 53% злаков, 3.5% бобовых и 43.5% разнотравья.

Типчаково-ковыльная целина на темнокаштановых почвах (Казахстан) в фазе цветения имеет 85% злаков, 1.5% бобовых и 13.5% разнотравья.

Как видим, участие бобовых растений в весовом отношении в различных травостоях невелико.

Вывод из количественного учета ботанических групп в растительном покрове степи (наиболее для нас важный) следует такой: группа бобовых растений составляет незначительный процент в травостое, и, следовательно, роль бобовых растений, несмотря на их способность использовать азот воздуха в симбиозе с клубеньковыми бактериями, в азотном режиме на целинной степи ничтожна. Отсюда вытекает задача: во-первых, выяснить, в какой степени урожай трав в степи обусловливается наличием усвояемого азота в почве; во-вторых, выяснить, в какой степени выражается влияние всей надземной и подземной массы травостоя на баланс азота в целинных почвах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА С ВНЕСЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ

Для разрешения первой задачи, т. е. выяснения зависимости урожая трав в степи от наличия усвояемого азота в целинной почве, в 1947 г. на степных участках был заложен опыт с внесением удобрений. Методика проведения опыта указана выше (в разделе методики экспериментальной работы нашего исследования).

Прежде чем перейти к обсуждению полученных в опыте результатов, коротко остановимся на метеорологических условиях в течение 3 лет проведения опыта.

Погодные условия вегетационного периода 1947 г.— первого года опыта — были в некоторой степени неблагоприятные для роста трав, особенно в Стрелецкой степи. За период с апреля по июнь в районе Курского заповедника выпало 112 мм осадков, а с начала года до 1 июля — 150 мм (по многолетним данным количество осадков за первую половину года в этом районе составляет 238 мм).

Кроме того, предшествующий 1946 г. был беден осадками особенно за период до укоса трав: с апреля по июнь выпало всего лишь 68 мм. Засушливость 1946 г. не могла не сказаться на развитии степной растительности. Об этом свидетельствует широкое распространение по всей степи в 1947 г. ковыля.

В Попереченской степи в 1947 г. осадки выпадали более или менее регулярно. По данным ближайшей метстанции в Пачелме, за период с апреля по июнь выпало 142 мм осадков.

Динамика физиологически усвояемой влаги в
по данным А. Ф. Большакова

Глубина взятия образца, в см	Косимый участок							
	1947						1948	
	19/V	28/V	10/VI	20/VI	10/VII	1/VIII	15/VI	2/VIII
0—5	12.8	12.2	4.8	16.1	—0.2	7.3	14.7	0.4
5—10	12.4	5.9	2.7	1.9	—1.1	1.6	10.3	1.8
10—20	14.4	9.9	4.1	2.7	0.1	6.8	11.4	2.7
20—30	15.3	12.7	7.3	4.6	1.4	0.9	13.1	1.4
30—40	14.2	10.3	7.7	5.1	1.2	1.0	12.0	3.7
40—50	12.8	11.8	7.9	6.0	1.9	1.0	10.1	4.1
50—60	13.2	13.2	8.1	6.5	3.3	1.6	11.6	4.8
60—70	8.6	8.6	7.9	6.4	4.4	2.3	12.4	6.7
70—80	7.7	7.7	9.0	7.2	4.6	2.9	12.0	7.3
80—90	6.4	6.4	8.4	7.6	5.3	4.1	12.3	7.8
90—100	5.8	5.8	7.1	8.1	5.2	4.7	13.0	8.7

В 1948 г. на Попереченской степи за период до укоса трав выпало лишь ничтожное количество осадков, тогда как в Стрелецкой степи за этот же период выпало 141 мм.

В 1949 г. состояние влажности почвы было более или менее благоприятное в районах обоих заповедников.

В табл. 5 приводятся некоторые данные по динамике влажности почвы в Стрелецкой степи из материалов А. Ф. Большакова по водному режиму.

Приведенные в табл. 5 величины физиологически усвояемой влаги получены путем вычитания из цифр влажности почвы в % на абсолютно-сухую почву цифр влажности завядания, полученных сотрудниками лаборатории стационара Почвенного института в заповеднике. Влажность завядания определена посредством наблюдения за проростками яровой пшеницы (А. Ф. Большаков, 1949).

Динамика доступной для растений влаги отражает значительно большее увлажнение почвы в 1948 г. по сравнению с 1947 г. Сопоставление величин влажности почвы косимого и некосимого участков степи в 1947 г. показывает, что на некосимой степи в весенне-летний период до августа в слое почвы примерно до 50—60 см глубины физиологически усвояемой влаги содержалось на 1—3% больше, чем на косимой степи. При этом урожай трав на некосимом участке был незначительно (на 3.5%) выше по сравнению с урожаем скашиваемого участка (табл. 6).

Для более влажного года, каким был 1948 г. (а затем и 1949 г.), разница в увлажнении почв обоих участков степи, вероятно, должна быть более резкой, если судить по высоте их урожаев,—33—34 ц/га на некосимой и 24—25 ц/га на косимой степи. Лучшее развитие растительности на участках первой степи, повидимому, обусловилось большим содержанием влаги в почве.

К сожалению, для косимой степи в 1948 г. нет декадных определений влажности почвы, а по двум имевшимся срокам наблюдения (15/VI и 2/VIII), в которые влажность на некосимой степи несколько выше, чем на косимой, нельзя представить более или менее полной картины динамики влажности почвы.

Таблица 5

почве Стрелецкой степи (в %)
(в сокращенном виде)

Некосимый участок											Влажность завядания
1947						1948					
20/V	28/V	11/VI	21/VI		1/VIII	21/V		11/VI	21/VI	2/VIII	
16.9	14.4	5.8	11.3	3.0	7.0	8.3	42.6	15.3	22.7	6.4	14.2
15.8	9.1	5.4	2.6	1.0	2.8	9.8	23.5	13.3	13.5	2.6	14.2
13.2	12.0	7.7	3.5	1.4	2.7	13.1	20.7	14.6	10.9	3.0	13.1
15.8	13.4	10.8	6.1	3.0	2.3	14.8	18.8	15.1	11.2	4.5	11.8
15.5	13.5	10.7	5.5	2.9	1.9	14.8	15.7	13.8	12.1	4.9	12.2
12.3	12.8	10.5	5.6	1.8	1.9	13.6	14.8	12.8	11.7	5.9	12.3
13.3	12.1	9.7	5.4	2.9	2.2	14.4	14.5	12.8	11.3	7.5	11.7
11.9	11.8	10.3	6.6	3.3	2.9	13.9	13.3	12.4	12.3	8.0	11.1
9.0	8.5	7.6	5.9	4.4	3.6	14.7	13.8	13.1	12.7	8.6	10.7
5.5	5.4	5.3	4.8	5.2	3.7	15.3	14.4	13.5	14.2	9.7	10.2
4.4	4.5	5.3	4.2	5.4	4.4	15.5	14.0	13.5	13.5	9.7	10.4

Учет травостоя как на косимой, так и на некосимой степи показал, что повышение урожая трав зависит главным образом от наличия усвояемого азота в почве. Ежегодное внесение азотного удобрения увеличило количество сена, по сравнению с урожаем неудобренных и удобренных фосфорно-калийными солями делянок, в Стрелецкой степи на 14—35% в 1947 г., на 13—58% в 1948 г. и на 21—43% в 1949 г. В Попереченской степи от разных доз азотного удобрения урожай повысился на 21—34% в 1947 и 1948 гг. и на 25—66% в 1949 г. Эта прибавка в урожае сена от внесения азотного удобрения вполне достоверна, что доказывается данными математической обработки (табл. 7).

От внесения фосфорно-калийного удобрения увеличения урожая трав по сравнению с неудобренными делянками или совсем не было, или оно было мало и недостоверно.

В связи с различными метеорологическими условиями действие разных доз азотного удобрения сказалось неодинаково. В 1947 г., более засушливом по сравнению с двумя последующими годами, обе дозы в 20 и 40 кг/га азота дали одинаковую прибавку в сене как на косимой, так и на некосимой степи, а именно: 24 и 26% на косимой степи, 27 и 26% на некосимой Стрелецкой степи и 21% на некосимой Попереченской степи. В 1948 и 1949 гг., более влажных в районе Курского заповедника, доза в 40 кг/га азота на косимой Стрелецкой степи повысила урожай трав в большей степени, чем доза в 20 кг (примерно в 2 раза). На некосимом участке в эти годы укос трав был очень высок по сравнению с урожаем на рядом лежащем участке косимой степи. По всем вариантам опыта, включая и делянки без удобрения, укос трав был процентов на 35—40 выше, чем на таких же вариантах косимого участка. Повидимому, условия влажности на некосимой степи были более благоприятны для роста растений, создав лучшие условия для азотного питания за счет естественного азота. Об этом свидетельствует сравнение величин прибавки на некосимой и косимой степях. На некосимой степи процент прибавки от 20 кг/га азота удобрения в среднем за 2 года составил 18%, от 40 кг/га азота — 23%. В то же время на косимой степи увеличение массы сена от азотного удобрения достигло при дозе

Урожай травостоя и ботанических групп его в заповед
(ц/га; ± *m* для величин

Варианты / год опыта	Стрелецкая					
	Косимая				Неко	
	Злаки	Разнотравье	Бобовые	Общий урожай	Злаки	Разнотравье
Без удобрений						
1947	22.2	2.5	0.8	25.5	20.5	4.4
1948	16.9	6.8	0.5	24.2±1.3	20.7	7.3
1949	16.4	7.5	0.7	24.7±1.2	20.8	11.2
Среднее	18.5	5.6	0.7	24.8±0.38	20.7	7.6
PK						
1947	22.9	3.4	0.3	26.6	20.9	4.4
1948	16.1	6.8	0.9	23.8±1.2	20.8	9.8
1949	19.7	6.7	1.4	27.7±2.7	20.2	12.7
Среднее	19.6	5.6	0.9	26.1±1.15	20.6	9.0
Азот 20 кг/га						
1947	28.2	3.2	0.3	31.7	25.2	6.6
1948	21.0	7.2	0.6	28.8±2.0	28.0	8.4
1949	25.3	5.6	0.9	31.8±2.0	28.0	10.7
Среднее	24.8	5.3	0.6	30.7±0.98	27.1	8.6
Азот 40 кг/га						
1947	28.6	2.6	1.0	32.2	26.4	5.6
1948	28.0	5.4	1.1	34.5±1.3	29.5	9.5
1949	28.3	5.2	1.5	35.0±1.2	24.8	15.6
Среднее	28.3	4.4	1.2	33.9±0.86	26.9	10.2
N20 PK						
1947	27.6	2.4	0.3	30.3	28.6	6.1
1948	24.8	6.4	0.6	31.7±1.9	28.0	9.2
1949	27.7	7.3	0.7	35.6±1.9	28.8	12.4
Среднее	26.7	5.4	0.5	32.5±1.58	28.5	9.2
N40 PK						
1947	27.1	2.7	0.6	30.5	26.6	5.9
1948	30.8	6.3	0.5	37.6±2.0	28.6	9.3
1949	31.4	7.3	0.8	39.6±1.5	28.1	16.0
Среднее	29.8	5.4	0.6	35.9±2.76	27.8	10.4

* Цифры общего урожая не совпадают точно с суммой урожая по группам растений, так

в 20 кг/га азота 26%, при дозе в 40 кг/га—64.5% (среднее за 1948 и 1949 гг.).

На Попереченской некосимой степи во влажный год действие различных доз азотного удобрения наблюдается иное, более резкое, чем на некосимой Стрелецкой степи. В 1949 г., довольно обильном осадками в весенне-летний период, доза в 40 кг/га азота повысила урожай сена на 66% по сравнению с контрольными делянками, тогда как при 20 кг/га азота прибавка урожая выразилась в 29%. Повидимому, черноземы Попереченской некосимой степи обладает при большем, чем в Стрелецкой степи, количестве общего азота (см. табл. 1 и 2) меньшим содержанием подвижного азота в почве по сравнению с черноземом Курского заповедника. На это указывает и более низкий урожай контроля в 24.7 ц/га на Попереченской степи

Таблица 6

ных степях на разных вариантах исследования
общего урожая)

степь	Попереченская степь					
симая	Некосимая					
Бобовые	Общий урожай	Злаки	Разнотравье	Бобовые	Общий урожай
1.4	26.4±1.7	9.4	12.1	0.8	22.3±1.5
4.8	32.8±2.4	6.6	11.1	0.6	18.3±0.4
2.2	34.2±1.8	10.6	14.4	0.3	24.7±0.8*
2.8	31.1±2.39	8.9	12.5	0.6	21.8±1.87
1.2	26.5±1.9	12.3	10.6	0.7	23.6±1.9
5.2	35.9±2.7	6.7	11.1	0.4	18.2±1.5
2.6	35.5±2.6	10.7	15.0	0.7	26.1±1.4
3.0	32.6±3.07	9.9	12.2	0.6	22.6±2.33
1.6	33.5±1.4	11.4	14.1	1.5	27.1±1.2
1.7	38.2±1.5	10.5	12.1	0.6	23.2±0.9
2.9	41.7±2.7	14.6	16.6	1.3	33.0±1.9
2.1	37.8±2.37	12.2	14.3	1.1	27.8±2.84
1.2	33.2±2.5	14.1	12.1	0.9	27.1±1.2
0.8	39.9±1.0	10.9	12.9	0.2	24.0±1.0
1.5	42.0±1.5	22.0	18.8	0.4	41.1±2.9
1.2	38.4±2.65	15.7	14.6	0.5	30.7±5.26
1.2	35.9±2.3	11.3	13.5	0.9	25.7±1.4
3.2	40.4±1.3	8.8	13.3	0.1	22.2±0.7
1.9	43.1±3.2	16.2	17.0	0.8	32.6±2.6
2.1	39.8±2.09	12.1	14.6	0.9	26.8±3.06
1.2	33.7±1.5	13.3	16.1	1.3	30.7±1.6
3.3	41.2±2.3	11.3	13.2	0.1	24.6±0.8
2.8	46.9±1.0	15.9	21.0	0.7	43.4±3.8
2.4	40.6±3.78	13.5	16.8	0.7	32.9±5.54

как для 1949 г. групповой состав в Попереченской степи выведен по 3 повторностям из 6.

против урожая с неудобренной делянки в 34.2 ц/га для этого же года на Стрелецкой некосимой степи.

Повышение массы сена при внесении азотного удобрения произошло на косимой степи за счет увеличения в урожае количества злаковых трав; на некосимых степях повысилось абсолютное содержание и злаков и разнотравья (см. табл. 6).

Несмотря на сравнительно короткий — 3-годичный срок систематического внесения азотного удобрения и сравнительно небольших его доз, анализ травостоя по проценту в нем ботанических групп (табл. 8) показал намечающуюся тенденцию в изменении группового состава урожая под влиянием азотного удобрения. При этом на косимой степи увеличилось

Таблица 7

Прибавка урожая сена от азотного удобрения и ее достоверность

Варианты	1947			1948			1949			За 3 года средняя прибавка, в %
	Прибавка ц/га	Прибавка %	t по Стюденту и Фишеру (вероятность в %)	Прибавка ц/га	Прибавка %	t по Стюденту и Фишеру (вероятность в %)	Прибавка ц/га	Прибавка %	t по Стюденту и Фишеру (вероятность в %)	
Стрелецкая косимая степь										
N20 кг/га	6.2	24	—	4.6	19	±1.9 (90%)	7.1	29	±3.0 (99%)	24
N40 кг/га	6.7	26	—	10.3	43	±5.6 (99.9%)	10.3	42	±6.0 (99.9%)	37
N 20 PK	3.7	14	—	7.5	33	±3.1 (99%)	7.9	24	±2.4 (95%)	25
N 40 PK	3.9	15	—	13.4	58	±5.6 (99.9%)	11.9	43	±3.9 (99%)	38
Стрелецкая некосимая степь										
N20 кг/га	7.1	27	±3.2 (99%)	5.4	16	±1.9 (90%)	7.5	22	±2.3 (95%)	21
N40 кг/га	6.8	26	±2.3 (95%)	7.1	22	±2.7 (98%)	7.8	23	±3.4 (98%)	23
N20 PK	9.4	35	±3.3 (99%)	4.5	13	±1.4 (80%)	7.6	21	±1.8 (90%)	22
N40 PK	7.3	27	±3.0 (99%)	5.3	15	±1.4 (80%)	11.4	32	±4.2 (99%)	24
Попереченская степь										
N20 кг/га	4.8	21	±2.8 (98%)	4.9	27	±5.1 (99.8%)	8.3	34	±4.0 (99%)	27
N40 кг/га	4.8	21	±2.5 (98%)	5.7	31	±5.2 (99.8%)	16.4	66	±5.4 (99.9%)	41
N20 PK	2.1	9	±0.9 (50%)	4.0	22	±2.4 (95%)	6.5	25	±2.2 (95%)	19
N40 PK	7.1	30	±3.0 (99%)	6.4	34	±3.8 (99%)	17.3	66	±4.3 (99%)	45

наличие злаковых растений и относительно снизилось участие в урожае разнотравья, которое в абсолютных цифрах осталось в составе сена на удобренных вариантах почти без изменения по сравнению с неудобренным фоном. На некосимой Стрелецкой степи группа злаков также повысилась в урожае сена, но при резком снижении процента бобовых растений и при незначительном изменении в ту и другую сторону относительного количества разнотравья.

Таблица 8

Влияние удобрений на состав травостоя

Варианты опыта	Процент ботанических групп в травостое в среднем за 3 года								
	Стрелецкая степь косимая			Стрелецкая степь некосимая			Попереченская степь		
	Злаки	Разнотравье	Бобовые	Злаки	Разнотравье	Бобовые	Злаки	Разнотравье	Бобовые
Без удобрений	74.6	22.6	2.8	66.6	24.4	9.0	40.5	56.8	2.7
PK	75.1	21.5	3.4	63.2	27.6	9.2	43.6	53.8	2.6
N20	80.8	17.3	1.9	71.7	22.7	5.6	44.2	51.8	4.0
N40	83.4	13.0	3.6	70.2	26.6	3.2	51.0	47.4	1.6
N20 PK	82.0	16.6	1.5	71.6	23.1	5.3	43.8	52.9	3.3
N40 PK	83.2	15.1	1.7	68.5	25.6	5.9	43.5	54.3	2.2

На Попереченской степи влияние азотного удобрения на процентный состав травостоя резко сказалось лишь в случае внесения дозы азота в 40 кг/га. Здесь сильно увеличился процент злаков и уменьшился процент разнотравья и бобовых. В остальных удобренных вариантах наблюдается незначительное повышение процента злаковых трав за счет понижения разнотравья.

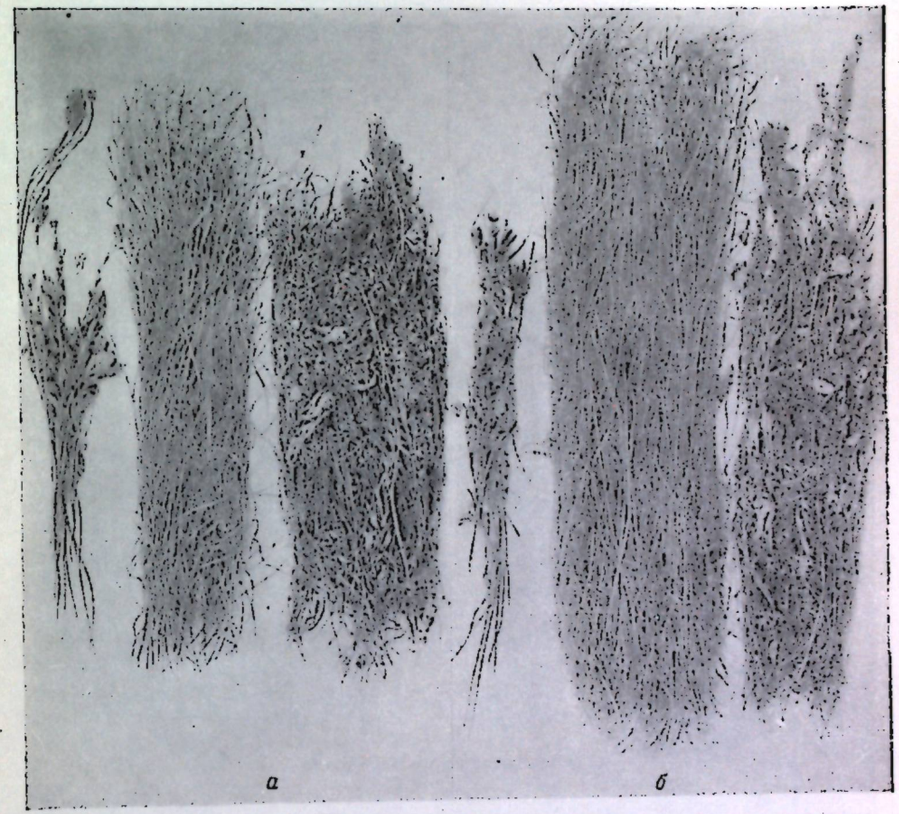


Рис. 1. Попереченская некосимая степь.
а — без удобрения; *б* — удобренная N 20 кг/га.

Фосфатно-калийное удобрение за срок своего действия не повлияло на процентный состав степного травостоя, повидимому, вследствие того, что содержание фосфора и калия в почве обеспечивает в настоящий момент развитие трав на целинных черноземах.

В отношении влияния удобрений на ботанический состав растительного покрова в литературе имеются указания, главным образом, для луговой растительности (П. И. Ромашев, 1949).

На основании данных из многочисленных опытов с удобрениями выявлено, что азотные минеральные удобрения на лугах способствуют развитию злаковых трав за счет относительного уменьшения участия в травостое бобовых и разнотравья. Калийные и фосфорные удобрения способствуют увеличению бобовых за счет, главным образом, разнотравья, особенно если в почве калий или фосфор находятся в минимуме.

Из результатов опыта с внесением удобрений на целинной черноземной степи можно сделать следующее заключение.

1. Урожай трав на целинной степи не обеспечен имеющимся в почве количеством доступного растениям азота. Уже небольшая доза азотного удобрения в размере 20 кг/га азота дает значительную прибавку в урожае — 21—23%. При этом недостаточное увлажнение почвы ограничивает

Рис. 2. Стрелецкая некосимая степь

а — без удобрения; *б* — удобренная N 20 кг/га.

действие азотного удобрения на повышение массы урожая; доза в 40 кг/га азота действует так же, как доза в 20 кг. При более или менее достаточной влажности почвы на косимой степи бо́льшая доза азотного удобрения дает и более высокую прибавку в урожае сена (43% против 19% и 58% против 33%). На некосимой степи (Стрелецкая степь) при тех же погодных условиях, но большей влажности почвы, сохраняемой в ней благодаря рыхлому мертвому растительному покрову, урожай трав повышается в большей степени от условий влажности почвы и, повидимому, от ее влияния на азотный питательный режим почвы, чем от внесения азотного удобрения.

2. Внесение фосфатных и калийных удобрений не влияет на высоту урожая сена, что свидетельствует о достаточном количестве доступных для растений соединений P и K в целинной почве при данных условиях развития растительности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА С ПОЛИВОМ

В связи с недостаточным естественным увлажнением в вегетационный период 1947 г., весной 1948 г. был заложен опыт с поливом на участках, прилегающих к делянкам опыта с внесением удобрений, по схеме: без удобрения и 40 кг/га азота (в 2-кратной повторности). Площадь поливавшейся делянки составляла 4 м². Полив производился лейкой два раза за вегетационный период до укоса по 25 мм каждый раз. В 1949 г. на Стрелецкой степи было дано три полива; в Попереченской степи по техническим обстоятельствам полив не произведен. В Курском заповеднике вода для полива бралась из пруда около хутора Мясокомбината, в Пензенском заповеднике — из родника в логу вблизи заповедного участка (табл. 9).

Таблица 9

Урожай трав опыта с поливом в степи

Год опыта	Средние урожаи, в ц/га		Прибавка от азота, в %	Прибавка от полива, в % от урожая без полива	
	без удобрений	40 кг/га N		без удобр.	40 кг/га N
Стрелецкая косимая степь					
1948	25.6	35.3	38	6	5
1949	34.7	46.4	33	40	32
Стрелецкая некосимая степь					
1948	34.1	37.3	9	4	0
1949	34.3	50.5	47	0	20
Попереченская степь					
1948	22.5	29.7	32	23	24

Первый полив производился непосредственно после внесения удобрений. Второй полив в Стрелецкой степи в 1948 г. не был сделан вследствие регулярного выпадения осадков в июне и количества их в 30 мм, выпавшего в день срока второго полива. Поэтому в Стрелецкой степи мы не получили дополнительного повышения урожая трав на поливных делянках, по сравнению с неполивавшимися. На Попереченской же степи при засушливом периоде в мае — июле эффект от двух поливов 31 мая и 30 июня в 50 мм выразился прибавкой сена в 23—24%, но действие азотного удобрения не изменилось. Мы получили те же 32% увеличения урожая от 40 кг/га азота, что и на неполивавшихся делянках, удобренных такой же дозой азота (см. табл. 7).

По внешнему виду растительность поливных делянок в Попереченской степи резко отличалась от растений на рядом расположенном опыте без полива более темной окраской зеленой листвы, большей густотой травостоя, но меньшей его высотой. Такое же отличие поливных делянок, но

значительно менее резкое, наблюдалось и на косимом участке Стрелецкой степи; на некосимом участке поливные делянки по своему виду были совершенно неотличимы от неполивных.

В 1949 г. в Стрелецкой степи произведено 3 полива — 16 мая, 4 июня и 18 июня. На косимой степи эффект от полива достиг высокого процента — 40 и 32, на делянках без удобрения и с азотом 40 кг/га. На некосимой степи на поливных делянках урожай увеличился по сравнению с неполивными только на варианте с N 40 кг/га, при этом азотное удобрение повысило урожай трав на 47%.

Из полученных результатов по опыту с поливом, несмотря на малочисленность данных, можно сделать следующее заключение.

1. В засушливый вегетационный период в условиях Попереченской степи два полива по 25 мм повысили урожай трав на 23—24% по сравнению с неполивными делянками опыта. Азотное удобрение при такой норме полива не дало дополнительной прибавки в урожае сена; прибавка была такая же, как и без полива.

2. Во влажный вегетационный период в условиях Стрелецкой степи три полива (по 25 мм каждый) на косимой степи повысили урожай трав на 32—40% сравнительно с неполивными вариантами, при этом прибавка от азотного удобрения при поливе оказалась несколько меньшей, чем без полива. На некосимой степи при тех же погодных условиях полив вызвал резкое повышение действия азотного удобрения; прибавка урожая здесь достигла 47% против 23% увеличения урожая сена по азоту без полива.

РОЛЬ ТРАВОСТОЯ В БАЛАНСЕ АЗОТА НА ЦЕЛИНЕ

В связи с тем, что бобовые растения в большинстве случаев, вследствие своего незначительного количества в травостое степи, не могут оказывать существенного влияния на азотный режим целины, мы попытались учесть влияние на него всей массы травостоя, надземной и подземной. Данные по содержанию корней растительности в полуметровом слое почвы приведены в табл. 10. Результаты определения общего азота в травостое и корневой массе представлены в табл. 11.

Таблица 10

Количество корней в слое почвы 0—50 см

Участок степи	Глубина взятия образца, в см	Вес возд.-сухих корней, в г с площади 20×20 см						Вес корней в т/га средний
		1	2	3	4	5	Среднее	
Стрелецкая степь								
Некосимая	0—30	65.5	76.2	84.6	65.0	80.0	74.2±3.88	18.5
»	30—50	—	—	—	8.2	4.9	6.5	1.6
Косимая	0—30	46.8	71.7	71.9	71.2	—	65.4±6.20	16.3
»	30—50	5.2	—	—	5.2	—	5.2	1.3
Попереченская степь								
Некосимая	0—30	52.5	54.0	68.0	51.5	—	56.5±3.96	14.1
»	30—50	—	6.2	6.6	—	—	6.4	1.6

Таблица 11

Содержание общего азота в травостое и корнях

(в % на абс.-сухое вещество)

Группы растений	Стрелецкая степь						Попереченская степь	Примечание
	косимая			некосимая			некосимая	
	1945	1946	среди.	1945	1946	среди.	1946	
Бобовые	2.33	2.16	2.245	2.60	2.14	2.37	2.51	Среднее для 1945 г. из 9, для 1946 г. из 6 определений
Злаки	1.43	1.29	1.36	1.67	1.49	1.58	1.24	Среднее из 2 определений в смешанных пробах с 5 точек
Разнотравье	1.70	1.52	1.61	1.78	1.28	1.53	1.74	
Общий урожай	1.71	1.54	1.62	1.75	1.47	1.61	1.39	Вычислено путем деления суммарного количества азота в составных частях урожая на количество общего урожая
Корни								
Слой 0—30 см	—	1.25	—	—	1.24	—	1.13	Среднее из 4—5 определений
» 30—50 »	—	1.15	—	—	1.26	—	1.56	Среднее из 2 определений

Различие в содержании корней в слое 0—30 см на некосимом и косимом участках Стрелецкой степи не является достоверным ($t = \pm 1.2$) вследствие значительного варьирования количеств корневой массы по отдельным точкам внутри этих участков.

Разница же между количествами корней на участках Попереченской некосимой степи и Стрелецкой некосимой степи в 24% в сторону уменьшения на первой степи вполне достоверна, так как t выражается величиной 4.0 (99%). Эта разница достоверна и в том случае, если для сравнения с содержанием корней в почве Попереченской степи взять среднее количество корней с обоих участков косимой и некосимой Стрелецкой степи ($t \pm 2.6$, или 95—96%).

Меньшее количество корней в верхнем наиболее корнеобитаемом слое почвы на Попереченской степи объясняется тем, что в травостое этой степи больше разнотравья по сравнению со Стрелецкой степью (см. табл. 4).

Как показывает табл. 11, процент азота наиболее высок в бобовых растениях — 2.1—2.6%. Разнотравье в большинстве случаев содержит несколько больший процент азота, чем злаковые травы. Содержание азота в общем урожае колеблется от 1.4 до 1.75%, составляя в среднем 1.57%.

Качество сена исследовавшихся целинных степей в отношении содержания азотистых веществ близко к средней кормовой ценности (по азотистым веществам) степной растительности, по литературным данным. Согласно последним (И. С. Попов, 1935), среднее содержание общего азота в степном сене составляет примерно 1.65% (по сырому протеину в 10.3%). И. В. Ларин (1936) для среднего травостоя злаково-разнотрав-

ного на выщелоченных черноземах лесостепи Западной Сибири дает количество протеина во время цветения в 11.1%, что соответствует примерно 1.77% общего азота. Для разнотравно-типчаковой степи на легкосуглинистом обыкновенном черноземе и для разнотравно-злакового травостоя на средних черноземах этой же лесостепи процент общего азота составляет 1.5. По данным И. В. Ларина (1936), для различных зон СССР содержание общего азота в злаковых растениях во время их цветения колеблется в среднем от 1.28 до 1.92% (8—12% протеина), в бобовых растениях от 2.4 до 3.2% (15—20% протеина).

К сожалению, из-за малочисленности показаний химического состава степной растительности на разных почвенных типах нельзя выявить влияние различных почв на содержание азота в степных растительных сообществах.

Для характеристики количеств азота, накапливаемого в зеленой массе травостоя к моменту укоса, в табл. 12 приведены величины содержания его в меньшем, среднем и высшем урожае степной растительности, учтенном нами за 4 года наблюдений.

Таблица 12

Количество азота в сене и корнях

(в кг/га)

	Стрелецкая степь						Поперечен-ская степь	
	косимая			некосимая			некосимая	
	1945	1946	1947	1945	1946	1948	1946	1947
Количество азота:								
в злаках	13.2	8.6	28.7	16.8	12.4	31.0	13.5	11.0
в разнотравье	9.8	6.6	3.8	4.9	3.9	10.5	5.5	19.6
в бобовых	10.6	6.1	1.7	2.2	1.8	10.8	1.4	1.9
в общем урожае	33.6	21.3	34.2	23.9	18.1	52.3	20.4	32.5
В корнях:								
в слое почвы 0—30 см	—	190.7	—	—	215.8	—	152.5	—
в слое почвы 30—50 см	—	14.1	—	—	19.0	—	23.2	—
Урожай сена в ц/га								
злаков	9.7	7.0	22.2	10.6	8.8	20.7	11.5	9.4
разнотравья	6.1	4.6	2.5	2.9	3.3	7.3	3.4	12.1
бобовых	4.8	3.0	0.8	0.9	0.9	4.8	0.6	0.8
общий	20.6	14.6	25.5	14.4	13.1	32.8	15.5	22.3

Примечание. Содержание азота в урожаях 1947 и 1948 гг. вычислено на основе среднего процента азота в растениях по данным за 1945 и 1946 гг.

Количество азота в урожае трав колеблется в Стрелецкой степи на косимом участке от 21 до 34 кг/га, в среднем составляя 27.5 кг, на некосимом участке от 18 до 52 кг/га, в среднем 35 кг. На Поперечненской некосимой степи содержание азота в урожае колеблется от 20 до 32 кг/га, в среднем 26 кг.

Главная масса азота урожая содержится в основной преобладающей по весу группе травостоя — в злаковых растениях. Больший процент

азота, характерный для бобовых трав, при низком в большинстве случаев весовом их количестве в урожае дает своеобразную картину соотношения количеств азота в бобовых и других группах растений. Так, если урожай бобовых в $1\frac{1}{2}$ раза ниже урожая разнотравья, то азота в урожае бобовых столько же по количеству, как и в урожае разнотравья; если бобовых в 3 раза меньше, чем разнотравья, количество азота в них меньше лишь в два раза по сравнению с содержанием азота в разнотравье. Приведенное сопоставление подчеркивает значение увеличения группы бобовых растений в урожае трав для повышения качества сена, с одной стороны, и повышения накопления атмосферного азота в почве — с другой.

Полученные нами цифры содержания азота в степной растительности и ее корнях позволяют представить роль растительности в азотном режиме целины в следующем приближенном виде.

На некосимой степи остающийся с растительным отмирающим покровом азот в сумме 26—35 кг/га составляет 0.20—0.27% общего азота почвы слоя 0—30 см.

В табл. 13 представлен анализ степных черноземов на общий азот и гумус и запас этих элементов в т/га.

Таблица 13

Общий азот и гумус в степных черноземах

Глубина взятия образца, см	Стрелецкая степь								Поперечен-ская степь			
	косимая				некосимая				некосимая			
	общ. азот		гумус		общ. азот		гумус		общ. азот		гумус	
	%	запас, т/га	%	запас, т/га	%	запас, т/га	%	запас, т/га	%	запас, т/га	%	запас. т/га
0—5	0.532	4.6	10.7	—	0.563	4.9	10.7	—	0.701	—	15.8	—
5—10	0.426		8.6	—	0.444		8.6	—	0.612	—	14.5	—
10—20	0.355	4.1	7.6	—	0.369	4.3	7.7	—	0.533	—	12.2	—
20—30	0.326	3.4	6.9	—	0.330	3.7	6.3	—	0.506	—	10.8	—
0—30	—	12	—	288	—	13	—	288	0.532	16	12.8	384
30—50	0.259	6	5.8	121	—	—	—	—	0.450	10	7.8	182

Содержание азота в корнях в процентах от общего азота почвы слоя 0—30 см составляет 1.6—1.7% для Стрелецкой степи и 0.9% для Поперечненской степи. В нижележащем почвенном слое 30—50 см азот корневой массы выражается небольшой величиной в 0.2—0.3% от общего содержания азота в этом слое почвы.

Органическое вещество корней в горизонте 0—30 см составляет 5.7—6.4% от количества гумуса почвы для Стрелецкой степи и 4.2% для Поперечненской степи. Для слоя почвы 30—50 см такое соотношение представляет 1.0—1.3%.

Полученные нами соотношения азота и органического вещества в корневой системе степной растительности и общего азота и гумуса в почве подтверждают данные по этому вопросу, имеющиеся в литературе (И. В. Тюрин, 1946).

Для составления баланса азота в исследуемых нами черноземах в настоящее время мы не имеем полной картины исследования поступления азота в почву (с атмосферными осадками, в результате деятельности

микроорганизмов, усвоющих азот из воздуха) и выноса азота из почвы (в грунтовые воды, путем денитрификации).

Данные по содержанию азота в почве и растительности, которыми мы располагаем, позволяют представить лишь неполно круговорот азота в почве и в значительной мере в грубых чертах. Более или менее определенные количественные показатели участия в этом движении почвенного азота мы имеем для надземной части растительности и крайне приближенные для корневой массы.

И. В. Тюрин (1946), на основании имеющихся в литературе данных по изучению корневой системы растений, указывает, что в достаточно увлажняемых почвах (подзолистых, черноземах и орошаемых почвах сухих зон) под естественной травянистой растительностью из общего количества корней ежегодно поступает в верхний слой почвы до 25 см 3—4 т/га сухого вещества в качестве источника для развития вторичных форм органического вещества в почве.

Если мы допустим, что в наших черноземных степях ежегодно участвует в балансе органического вещества почвы 3—4 т/га сухого вещества корневой системы, то для баланса азота мы будем иметь 37—50 кг/га азота, содержащегося в этой корневой массе.

Со стороны надземной части растительности на некосимой степи в балансе азота участвует 26—35 кг/га азота, имеющегося в сухом веществе отмершего растительного покрова. Следовательно, общая величина азота растительности, ежегодно поступающего в почву, выражается в 60—85 кг/га, что составляет 0.5—0.6% от общего азота почвы, накопившегося в верхнем слое почвы (в 25 см) в процессе черноземообразования.

ВЫВОДЫ

1. Группа бобовых растений в весовом количестве представлена в травостое большей части целинных степей (Курская и Пензенская обл.) в крайне небольшом размере — 5.0% от общего веса. Следовательно, бобовые травы не могут оказывать существенного влияния на азотный режим целины.

2. Роль в балансе азота на целинной почве надземной и корневой массы степной растительности в приближенных цифрах выражается в количестве 60—85 кг/га азота в органическом веществе, поступающем ежегодно в почву на некосимой степи.

3. Урожай трав на целинной степи ограничивается имеющимся в почве количеством доступного растениям азота. Внесение азотных удобрений вызывает значительную прибавку в урожае сена. Фосфорно-калийное удобрение, по данным опыта за 3 года, достоверной прибавки в урожае не дало. Следовательно, развитие растительности в степи обусловливается содержанием в почве усвояемого азота (и влажности) при достаточной в данное время обеспеченности почвенным фосфором и калием.

4. Сравнение состава травостоя по ботаническим его группам на косимой и некосимой Стрелецкой степи показало, что скашивание вызывает увеличение весового количества злаковых трав в общем урожае сена за счет уменьшения разнотравья и бобовых растений.

Внесение азотных удобрений на фоне косимой степи еще более повышает весовой процент злаков в составе сена, по сравнению с таковым на некосимой степи, при этом уменьшение разнотравья и бобовых трав получается более резким (см. табл. 9).

5. В засушливые годы влияние различных доз азотных удобрений на травостой косимой и некосимой Стрелецкой степи проявляется в одинаковой прибавке сена (24—27%). Во влажные годы на косимой степи азотное удобрение сказывается более эффективно, чем на некосимой степи (при дозе 20 кг/га N 24% прибавки в урожае трав на косимой степи против 19% на некосимой степи, при дозе 40 кг/га N 43% прибавки на косимой степи против 22% на некосимой степи). Во влажные годы урожай трав на некосимой степи без удобрения получается на 37—40% выше урожая трав с неудобренной скашиваемой степи. Более высокая влажность почвы на некосимой степи по сравнению с влажностью почвы косимого участка, повидимому, обеспечивает более благоприятный питательный режим, способствующий лучшему развитию травостоя на некосимой степи.

ЛИТЕРАТУРА

Афанасьева Е. А. Происхождение, состав и свойства мощных черноземов Стрелецкой степи. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXV, 1947.

Большаков А. Ф. Водный режим мощных черноземов в период засухи 1946—1947 гг. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXXII, 1950.

Ларин И. В. Материалы по динамике растительной массы и химич. веществ травостоев в течение вегетационного периода в различных зонах СССР. Тр. Инст. физ. геогр., 21. Изд. АН СССР, 1936.

Покровская В. М. Стрелецкая степь в аспективных картинах. Тр. Центр.-черноз. гос. запов., в. 1, 1940.

Попов И. С. и Елкин Г. М. Корма СССР, состав и питательность. Сельхозгиз, М., 1935.

Прозоровский Н. А. Изменение растительности Стрелецкой степи при отсутствии пастьбы скота и сенокошения. Тр. Центр.-черноз. гос. запов., в. 1, 1940.

Ромашев П. И. Удобрение лугов и пастбищ. Сельхозгиз, 1949.

Спрыгин И. И. Борьба леса со степью в Пензенской губ. Изд. Пензен. губзем-упр., 1922.

Спрыгин И. И. Материалы к описанию степи около д. Поперечной Пензенского уезда и заповедного участка на ней. Раб. по изуч. Пенз. запов., в. 1. Пенза, 1923.

Спрыгин И. И. Травяные степи Пензенской губ. Отдел охраны природы Главнауки НКП, в. 4. Тр. по изуч. запов. М., 1925.

Тюрин И. В. О количественном участии живого вещества в составе органической части почв. Почвоведение, № 1, 1946.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

В. В. ЦЕРЛИНГ

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ЯРОВЫХ ХЛЕБОВ

Среди основных средств повышения урожая сельскохозяйственных культур важную роль играют минеральные удобрения и среди них особенно азотные удобрения.

Это особое значение азотных удобрений вполне понятно, если учесть роль азота в синтезе главнейшего компонента живой материи — белка и отсутствие его в первичном составе земной коры.

Ведущая роль в изучении вопросов азотного обмена в растении и необходимости применения азотных удобрений принадлежит основоположнику советской агрохимии академику Д. Н. Прянишникову.

Наша работа была поставлена в развитие учения о значении азота в питании растений, для выяснения влияния азота на обмен веществ и формирование репродуктивных органов яровых злаков — яровой пшеницы, овса и проса, на темп этого процесса, его количественные и качественные показатели. В настоящей статье дается материал о влиянии азота на развитие репродуктивных органов растений.

Согласно теории академика Т. Д. Лысенко о стадийном развитии растений, развитие растений обусловливается качественными изменениями, проходящими в растительном организме и обеспечивающими переход растения к формированию репродуктивных органов. В своем онтогенетическом развитии растение проходит ряд последовательных этапов, стадий, качественно различных друг от друга. Выделяют первые две стадии — яровизации и световую, и высказывают предположение о существовании других, последующих стадий. Указывается, что, во-первых, разные растения требуют разных условий для своего развития, во-вторых, эти условия должны быть различны на разных этапах развития растения и, в-третьих, различны для обеспеченности прохождения разных процессов.

В свете поставленной перед нами задачи важно приурочивать изменения условий питания растений к этапам их развития, причем мы руководствовались сведениями о морфологических характеристиках того или иного периода развития растения, почерпнутыми как из литературных данных (В. Г. Александров, 1936, 1939; М. Г. Вейдеман, 1940; Г. З. Заблуда, 1940; Ф. М. Куперман, 1941; Bonnett, 1935, 1936, 1937 и др.), так и из собственных наблюдений, результаты которых приведены в табл. 1. Следует иметь в виду условность этих данных, так как темп развития растения зависит от сортовых особенностей, от условий внешней среды и пр.

Табл. 1 дает общее представление о фазах развития растения (яровой пшеницы) и формировании репродуктивных органов.

Таблица 1

Состояние верхушечной точки роста стебля яровой пшеницы в различные фазы развития

№ п/п	Фаза развития растения	Состояние верхушечной точки роста стебля
1	Через несколько дней после цветения	В точке роста зародыша закладывается зачаток I листа
2	Молочная спелость	Закладывается зачаток II листа
3	Восковая спелость	» » III листа
4	Через двое суток после замачивания зерна	» » IV листа
5	Появление колеоптиле	Закладываются V лист и точки роста боковых побегов
6	Растение с одним зеленым листом	Дифференцируется VI лист
7	Два зеленых листа	Дифференцируется VII лист и конус роста начинает вытягиваться
8	Три зеленых листа	Дальнейшее вытягивание конуса роста, появление валиков — зачатков колосков
9	Четыре зеленых листа. Начало выхода в трубку	Закладка цветочных бугорков — «фаза жолудя». Начало дифференциации колосковых бугорков у боковых побегов
10	Пять зеленых листьев	Дифференциация органов цветка. Редукционное деление
11	Шесть листьев	Обособление пыльцевых зерен с выделением генеративной клетки
12	Семь листьев. Начало колошения	Дальнейшее развитие пыльцы и зародышевого мешка
13	До цветения	Дозревание пыльцы
14	Цветение	Оплодотворение

Из табл. 1 можно видеть, что дифференциация листовых зачатков начинается в формирующемся семени еще на материнском растении, а дифференциация зачаточного соцветия начинается у растений, имеющих 3—4 зеленых развернутых листа. Почти так же происходит процесс дифференциации надземных органов у овса. У проса развитие (в условиях Москвы) проходит несколько медленнее и, прежде чем перейти к дифференциации соцветия, в верхушечной точке роста стебля закладывается большее число, чем у яровой пшеницы или овса, листовых зачатков.

В отличие от злаковых с верхушечным конечным соцветием, соцветия пазушные, например у махорки, дифференцируются не после окончания дифференциации листовых зачатков, а одновременно с верхними листьями, но начало дифференциации первых бутонов наступает лишь после образования определенного числа листьев. Листья, образовавшиеся после начала бутонизации, никогда не достигают такой большой величины, как листья, образовавшиеся до бутонизации.

На основании наших наблюдений, а также литературных данных, мы считаем, что у яровых зерновых репродуктивные органы закладываются рано — в период развертывания первых двух-трех листьев, и потому большой интерес для изучения условий питания по периодам развития приобретают первые периоды — от посева до первых фаз дифференциации соцветия. Из этих соображений мы изменяли условия азотного питания в следующие периоды развития растений:

1) от посева до перехода верхушечной точки роста стебля к дифференциации соцветия (для яровой пшеницы и овса — до третьего листа), причем, учитывая особенную важность этого первого периода развития, иногда он делился на еще более дробные периоды;

2) начало дифференциации соцветий до редукционного деления (фаза четырех листьев, начало выхода в трубку);

3) дальнейшая дифференциация органов цветка, выделение пыльцевых зерен и пр. (фаза пяти-шести листьев, выход в трубку).

В последующие фазы условия питания не изменялись и оставались равными нормам полной смеси Гельригеля.

В опытах изучались три яровых злака — яровая пшеница, овес и просо и как представитель мелкосемянного растения с малым запасом питательных веществ в семени — махорка.

Опыт проводился вегетационным методом в водных сменных культурах на питательной смеси Гельригеля с добавлением микроэлементов по смеси Гогланда, с изменением доз азота в течение вегетационного периода: доза азота или временно удваивалась или уменьшалась до 0.5 или 0.1 или 0 дозы азота по Гельригелю. До начала и после периода изменения режима питания растения получали полную смесь Гельригеля. Контролем служили растения, получавшие в течение всего вегетационного периода полную смесь Гельригеля.

Таким образом, схема опытов может быть представлена в следующем виде (табл. 2)

Таблица 2

№ варианта	Условное обозначение (дозы азота)	Содержание варианта опыта
I	1—1—1—1—1N (контроль)	Полная смесь Гельригеля, т. е. одна доза азота все время
II	0—1—1—1—1N	Без N от посева до 3 листьев, до дифференциации соцветия, а после 3 листьев до созревания — полная доза азота (1N)
III	0.1—1—1—1—1N	0.1 дозы азота в тот же период
IV	0.5—1—1—1—1N	0.5 дозы азота в тот же период
V	2—1—1—1—1N	2 дозы азота в тот же период
VI	1—0—1—1—1N	1 доза азота от посева до 3 листьев, без азота — в период от 3 до 4 листьев (начало дифференциации соцветия), затем до созревания — полная доза азота (1N)
VII	1—2—1—1—1N	2 дозы азота в тот же период дифференциации соцветия
VIII	1—1—0—1—1N	1 доза от посева до 4 листьев; без азота от 4 листьев до 5 (дифференциация цветов), затем 1 доза азота до созревания
IX	1—1—2—1—1N	2 дозы азота — в тот же период дифференциации цветов
X	1—1—1—0—1N	Для проса: без азота в период дифференциации соцветия при 5—6 листьях. До и после этого периода 1 доза азота
XI	1—1—1—2—1N	2 дозы азота в тот же период дифференциации соцветия проса

Часть растений убиралась для аналитических целей в течение вегетационного периода до и после изменения условий питания, часть оставалась до созревания зерна.

Растения анализировались: 1) морфологически для изучения различий в формировании органов, определяющих урожай, и 2) химически для изучения особенностей обмена веществ в зависимости от вида растения, периода его развития и условий питания.

ЗНАЧЕНИЕ УСЛОВИЙ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ В ПЕРВЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОЦВЕТИЙ

Полученные данные показывают различную реакцию изучаемых четырех растений на условия азотного питания, в отношении срока перехода верхушечной точки роста стебля к дифференциации соцветия.

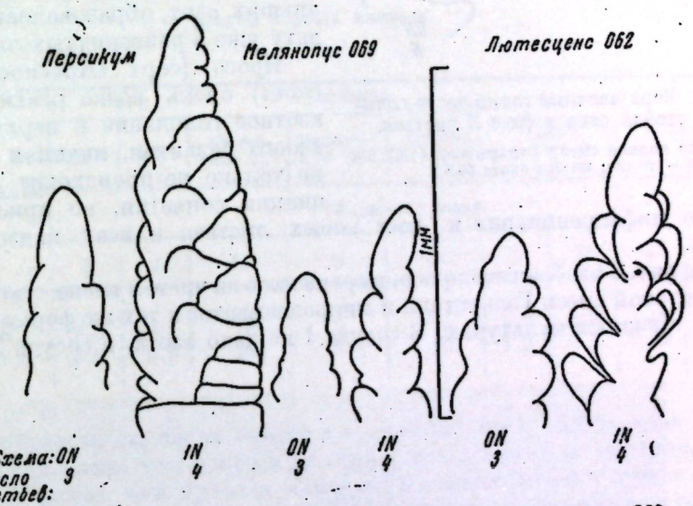


Рис. 1. Зачаточные колосья пшениц: Персикум, Мелянопус 069 и Лютесценс 062.
Растения в фазе 3—4 листьев.

Яровая пшеница испытывалась в опытах с тремя сортами: Лютесценс 062, Мелянопус 069 и Персикум. Все три сорта одинаково реагировали на азотное голодание в первом периоде, начиная с посева.

На рис. 1 изображены зачаточные колосья пшениц, причем в вариантах без азота будущие колоски еще только намечаются в форме бугорков, а в вариантах по азоту они находятся в фазе «жолудя», т. е. намечается дифференциация уже внутри колоска. Колоски наиболее дифференцированы в середине колоса и наименее наверху колоса.

Все три сорта при азотном голодании задержали переход точки роста стебля к дифференциации соцветия. Также задержано образование листьев: растения, не получившие азота, развернули только 3 листа, а растения, получившие азот — 4 листа. Этот вывод получался во всех наших опытах с пшеницей, проведенных в 1944, 1946, 1947 и 1948 гг.

Овес (сорт Московский 315-А) во все годы изучения (1944—1948) всегда выявлял отличную от пшеницы реакцию, заключающуюся в том, что при азотном голодании он ускорял переход точки роста стебля к дифференциации соцветия, что можно видеть на рис. 2, где изображены верхушечные точки роста стебля и зачаточная метелка овса на растениях в возрасте 16 дней от посева: у растения, получившего норму азота

(1N) дифференциация еще не началась, и мы видим недифференцированный конус роста, прикрытый сверху только что дифференцированным листовым зачатком.

На правом рисунке изображена точка роста растения, не получившего азота в питательной среде; точка роста стебля начала дифференцировать колоски метелки; можно видеть зачаточные колоски в фазе «желудя».

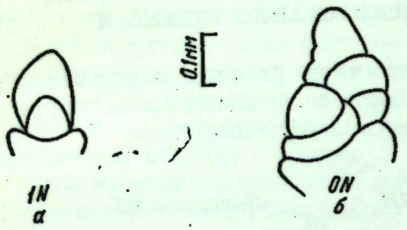


Рис. 2. Верхушечные точки роста главного стебля овса в фазе 3 листьев.

а — по полной смеси Гельригеля (1N); *б* — то же, но без азота (0N).

На числе же развернутых листьев недостаток азота сказался на овсе так же, как и на пшенице, т. е. у растений без азота образовалось лишь 3 развернутых листа (не считая листовых зачатков), а у растений, получивших азот, образовалось на ту же дату уже 4 развернутых листа.

Просо (сорт «Красное Тойденское») очень резко реагировало на азотное голодание в первый период своего развития, начиная от посева: не только не происходит дифференциации соцветия, но приостанавливается дифференциация и рост новых листьев и всех надземных органов.

На рис. 3 изображено просо, выращенное на чистом песке с добавлением питательной смеси Гельригеля и микроэлементов в тех же формах и дозах, как и в водных культурах. В сосуде 1 не дано азота, в сосуде 2 азот дан

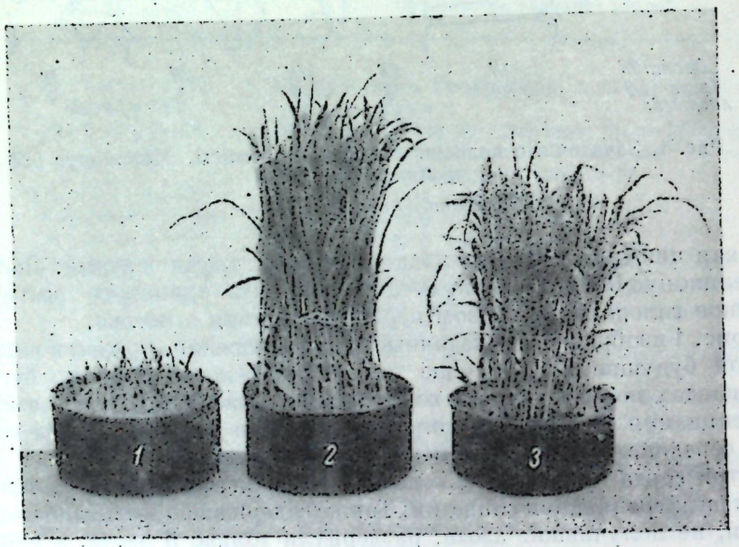


Рис. 3. Просо в возрасте 30 дней.

1 — растения не получили азота; *2* — полная доза азота по норме смеси Гельригеля; *3* — двойная доза азота по той же смеси.

в полной норме Гельригеля, а в сосуде 3 — двойная доза азота по Гельригелю. Все остальные элементы даны во всех сосудах по полной норме смеси Гельригеля. Все сосуды были засеяны просом в один день. Фо-

тографирование произведено на 30-й день после посева. Можно видеть, что без азота растения не растут и не развиваются и имеют лишь 2—3 листа, тогда как по азоту число развернутых листьев достигает 5—6 на одно растение.

Так же, как просо, резко реагирует на азотное голодание в этот период и махорка.

Такая почти одинаково резкая реакция проса и махорки на азотное голодание в первый период, очевидно, стоит в связи с малым запасом питательных веществ в семени по сравнению с овсом и яровой пшеницей, у которых ростовые процессы почти не изменились, что можно видеть из величин длины первых двух листьев этих растений, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Длина первых листьев

(в см)

№ п/п	Варианты	Овес		Пшеница			Просо		Махорка	
		29/V	2/VI	Лютесценс 062	Мелянопус 069	Перспикум				
		№ листьев снизу								
		I	I	II	II	II	I	II	I	III
1	1N	7.0	10.4	16	9	14	4.0	8.8	1.04	0.25
2	Без N	6.6	9.5	13	8	10	1.3	3.2	0.12	0

Таким образом, два злака — овес и яровая пшеница, обладающие более крупными семенами, чем просо и махорка, реагировали на азотное голодание менее резко, чем просо и махорка, имеющие мелкие семена. Очевидно, запас азотистых веществ в семени имеет значение для самых ранних фаз роста и развития растений, и, чем этот запас меньше, тем резче приостановка роста и развития растения при недостатке азота во внешней среде.

Отрицательное действие недостатка азота с начала прорастания сказывается во внешнем облике проса и махорки с первых дней жизни. На яровой пшенице и овсе в величине и даже окраске первых 2—3 листьев отсутствие азота в питательной среде почти не сказывается, но создает предпосылки для изменения точек роста стебля, выражающегося в изменении темпа начала дифференциации соцветия, разного для овса и пшеницы.

Удвоение дозы азота в этот период почти не оказывает или оказывает лишь слабое замедляющее действие на переход растения к началу дифференциации соцветий у всех испытываемых четырех растений, но сказывается в последующем развитии, что будет видно из дальнейшего изложения.

Установлено, что переход точки роста стебля к дифференциации соцветия у яровой пшеницы и овса происходит, когда растение имеет 3 развернутых зеленых листа, а у проса — несколько позже, при наличии не менее 5 развернутых листьев (в условиях длины дня московской весны) (см. рис. 4).

Указанные выше различия между яровой пшеницей и овсом могут быть отнесены за счет различных природных качеств этих растений: различного

состава белков и аминокислот в семенах овса и пшеницы, различного ферментативного аппарата, различия в содержании сахаров: овсяное растение содержит больше сахаров, чем пшеница; овес при азотном голодании быстрее расходует белковый и минеральный азот и т. д., о чем

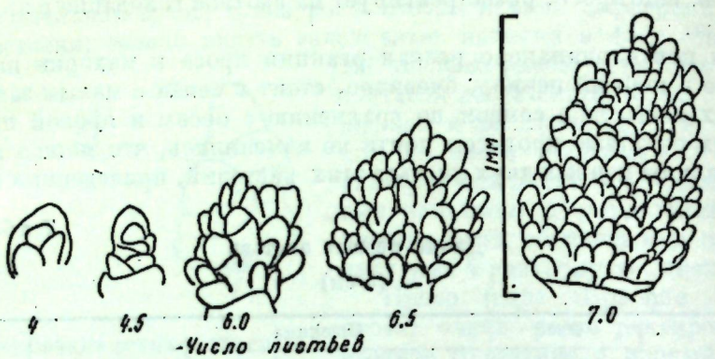


Рис. 4. Просо. Начало дифференциации соцветия (метелки) в верхушечной точке роста стебля.

говорят проведенные нами биохимические исследования (В. В. Церлинг, 1950) и данные других авторов (Н. Н. Иванов, 1936 и 1948; М. И. Княгиничев, 1936, 1939 и 1948; М. И. Лишкевич 1936; М. А. Кудрявцева, 1936).

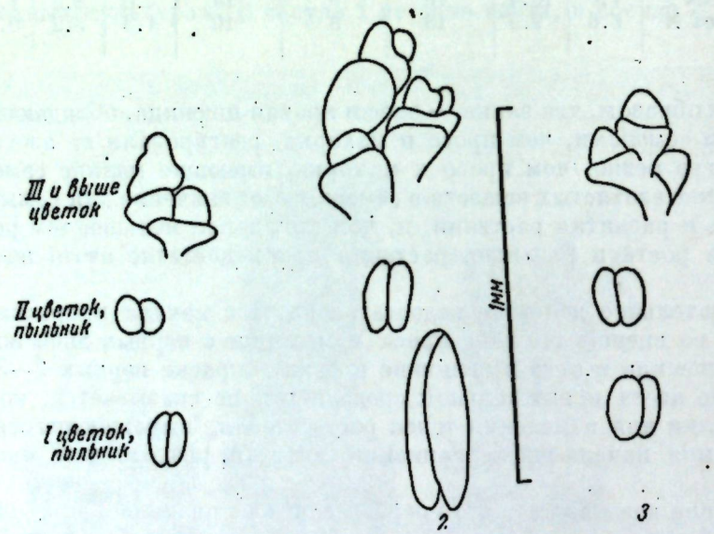


Рис. 5. Пшеница. Пыльники и верхушечные зачаточные цветы при полной норме азота по Гельригелю (1N).

1 — верхнего; *2* — среднего и *3* — нижнего колоска главного колоса.

Кроме биохимических признаков, эти два растения различаются рядом других признаков. Так, одним из наиболее нас интересующих признаков является различное расположение меристемы соцветий: у овса (так же как и проса) ткани, образующие новые колоски, расположены у основания метелки, и верхние колоски, как ранее дифференцированные, раньше других заканчивают свое формирование.

У пшеницы первые колоски образуются в середине колоса, затем вверху и внизу, причем внизу быстро прекращается новообразование колосков, после чего новые колоски образуются лишь в самой верхней части колоса. Поэтому в период дифференциации колоса — фазы стеблевания и выхода в трубку — наиболее далеко ушедшими в своем развитии являются средние колоски и наиболее молодыми — верхние.

При отсутствии азота в питательной среде было обнаружено иное соотношение в развитии средних и верхних колосков колоса пшеницы, чем у пшеницы, получавшей полную дозу азота. Так, на рис. 5 можно видеть, что средние колоски колоса пшеницы из контрольного варианта ушли в развитии органов цветка (пыльников) гораздо дальше, чем верхние.

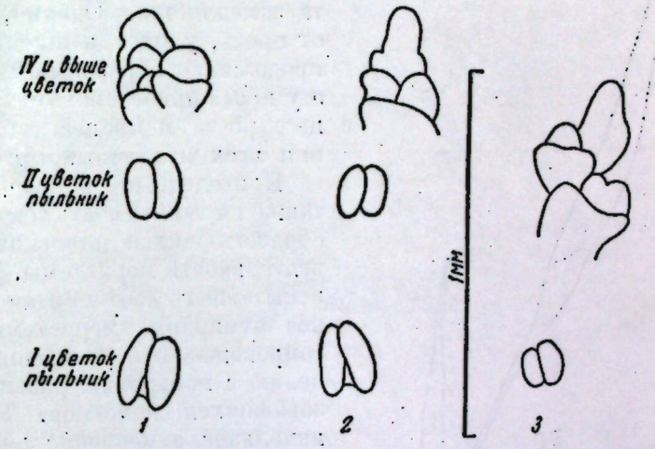


Рис. 6. Пшеница, испытавшая ранее азотное голодание, а затем получившая азот (0—1N). Пыльники и верхушечные зачаточные цветы.

1 — верхнего; *2* — среднего и *3* — нижнего колоска главного колоса.

А на рис. 6, изображающем части колосков у пшеницы, испытавшей азотное голодание, верхний колосок является равным по развитию ниже его лежащему колоску (судя по величине пыльников), т. е. он одновременно с ним дифференцировался, и после него новых колосков не образовалось; следовательно, верхушечная меристема колоса отмерла, результатом чего явилось резкое снижение числа колосков в колосе, по сравнению с контрольным растением, что будет показано дальше.

На рис. 7 представлены две зачаточные метелки овса: первая с растения, получавшего азот, и вторая с растения, не получавшего азота в период от посева до начала дифференциации соцветия. Можно видеть, 1) что верхние колоски развиваются раньше, чем нижние, 2) что местом новообразования колосков является основание метелки и 3) что такой небольшой период недостатка азота, как от посева до 3 листьев (начало дифференциации метелки), сроком в 12—15 дней уже вызвал резкое снижение числа колосков (рис. 7 *А* — 20 колосков, *Б* — 5 колосков).

У проса недостаток азота в питательной среде в период от посева до 3 листьев (т. е. задолго до начала дифференцировки) вызвал значительное замедление темпа жизнедеятельности точки роста стебля (см. рис. 8), но не ее отмирание, а после внесения азота повысилась ее жизнедеятельность и начали дифференцироваться колоски, конечное число которых близко к таковому у контрольного растения, что будет показано ниже.

Таким образом, разобранный материал дает основание сделать следующие выводы.

Для высокой жизнедеятельности меристематической ткани стебля нужен азот, поступающий из внешней среды с первых дней роста растения из семени; только при этом условии эти ткани способны дифференцировать новые и крупные органы.

Отмечены различия в развитии трех изучаемых злаков: 1) при недостатке азота быстрее всех отмирает точка роста соцветия у овса и медленнее всего у проса; 2) при азотном голодании овес быстрее переходит к дифференциации соцветия, тогда как у пшеницы наступление этого момента замедляется. Однако, в отличие от проса, у овса и пшеницы листья продолжают образовываться и расти, а у проса приостанавливаются и процесс роста и процесс новообразования всех надземных органов.

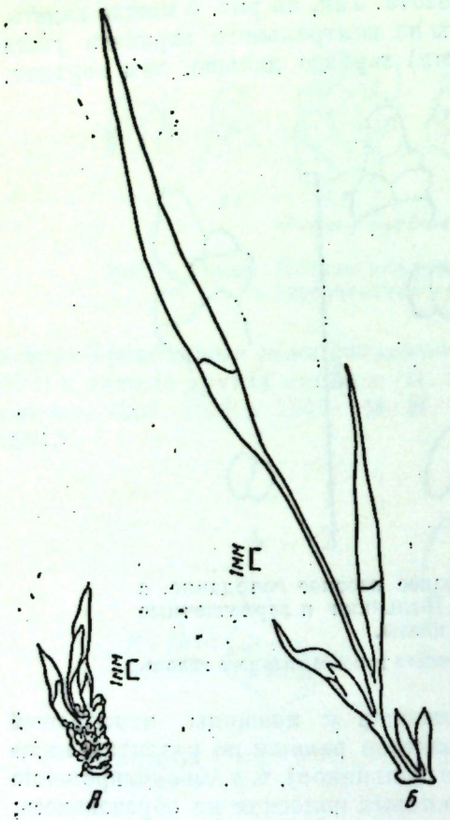


Рис. 7. Овес. Зачаточные главные метелки одинакового по числу дней возраста. *А* — по полной дозе азота (1N); *Б* — при азотном голодании в период от посева до начала дифференциации соцветия, а затем при получении азота (0—1N).

Приведенные данные указывают также на зависимость темпа развития образовавшихся колосков от жизнедеятельности меристемы. Так, у овса, испытавшего азотное голодание, раннее отмирание меристемы соцветия сопровождалось ускоренным по сравнению с контролем развитием образовавшихся колосков. У пшеницы начальное замедление дифференциации колоса при азотном голодании сменяется ускорением развития малого числа образовавшихся колосков, как следствие отмирания меристемы из-за недостатка азота. Так, на рис. 9 изображены три молодых колоса пшеницы в фазе выхода в трубку растений, посеянных в один день. Сравнивая первый и третий рисунки, можно видеть, что: 1) у третьего растения резко снижено число колосков, т. е. на ранней фазе было прекращено новообразование колосков, видимо, как следствие раннего прекращения жизнедеятельности меристемы в период азотного голодания, и 2) колоски третьего растения значительно крупнее новых колосков первого контрольного растения, т. е. третье растение после прекращения дифференциации новых колосков в эту фазу начинает обгонять в своем развитии контрольное растение, что в конечном счете приведет к ускоренному выколашиванию и созреванию, как это обычно и наблюдается в поле при недостатке азота.

На то же указывают скорости прироста в сутки в длину зачаточных соцветий пшеницы и овса, приведенные в табл. 4 и 5. Все сорта пшеницы задерживают прирост колоса при недостатке азота и только когда или меристема отмирает (Лютесценс, 28. VI — 4. VII), или когда дан азот

(Персикум, 1944, 4—17. VII), скорости прироста колосьев вариантов без азота и 0—1 N обгоняют контрольные.

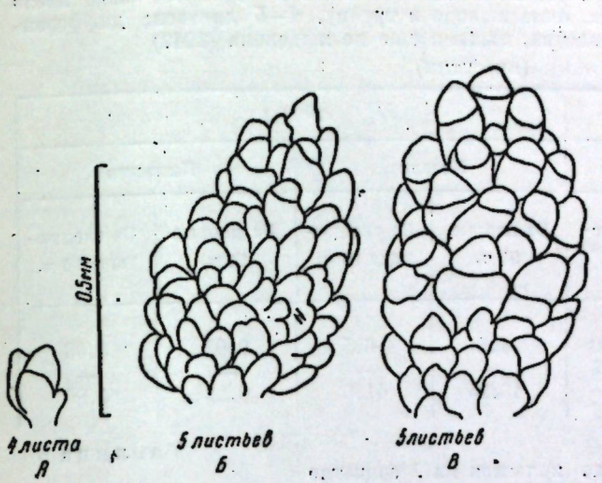


Рис. 8. Просо. Зачаточные главные метелки одинакового по числу дней возраста.

А—без азота (0N); *Б*—по полной норме азота (1N); *В*—вначале по одной дозе азота, а затем по двойной (1—2N).

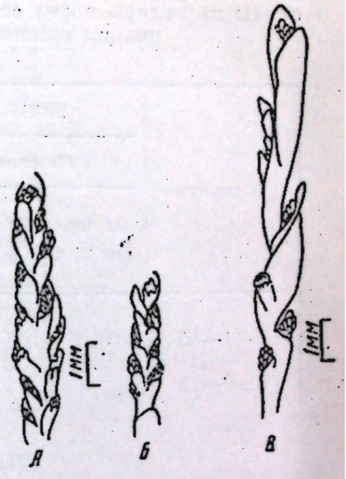


Рис. 9. Пшеница. В фазу выхода в трубку: *А* — по полной дозе азота (1N); *Б* — вначале при дозе азота 0.1N, а затем при полной (0.1—1N); *В* — вначале без азота, а затем по полной дозе азота (0—1N).

У овса же, наоборот, при недостатке азота суточный прирост и метелки и пыльников гораздо больше, чем у растения, получающего азот.

Таблица 4

Скорость прироста в длину зачаточного колоса пшеницы (мм/сутки). Фаза — выход в трубку

Варианты	1944				1946				
	Персикум		Персикум		Мелянопус		Лютесценс 062		
	1—4/VII	4—17/VII	20—24/VI	24—28/VI	20—24/VI	24—28/VI	20—24/VI	24—28/VI	28/VI—4/VII
	3 листа	3—5 листьев	3—5 листьев		3—5 листьев		3—5 листьев		5—6 листьев
1—1N	0.271	0.077	0.283	0.040	0.155	0.090	0.224	0.230	0.580
Без N	0.138	—	0.155	0.028	0.095	0.064	0.145	0.130	1.210
0—1N	—	0.095	—	—	—	—	—	—	—

Как сказалось это раннее азотное голодание, а также и усиление дозы азота на последующем развитии этих трех растений?

В табл. 6 представлено конечное число образовавшихся колосков в главных и боковых соцветиях изучаемых растений, причем в это

Таблица 5

Скорость прироста зачаточной метелки и пыльников овса через 96 часов после смены на полную норму азота. Фаза выхода в трубку, 4—5 листьев; дифференциация органов цветка, пыльца еще не выделена (1947)

(мм/сутки)

Варианты	29/VII		8/VIII			
	Метелка		Метелка		Пыльник	
	За первые 24 ч.	За следующие 96 ч.	За первые 24 ч.	За следующие 96 ч.	За первые 24 ч.	За следующие 96 ч.
1—1—1N	0.08	0.30	1.6	6.5	0.02	0.08
0—1N	0.28	1.13	—	—	—	—
1—0—1N	—	—	10.25	41.0	0.22	0.89

Таблица 6

Число колосков на 1 соцветие

№ варианта	Варианты	Главный стебель				II стебель				III стебель			
		1944	1945	1946	1947	1944	1945	1946	1947	1944	1945	1946	1947
	Яровая пшеница												
I	1N все время	17.5	—	16.3	16.0	18.0	—	14.5	16.1	—	—	—	—
II	Без N до 2 листьев	15.2	—	—	—	16.4	—	—	—	—	—	—	—
III	Без N до 3 листьев	13.9	—	9.0	11.6	16.9	—	9.5	12.9	—	—	—	—
IV	0.1 N то же	—	—	—	12.2	—	—	—	13.4	—	—	—	—
V	2 N » »	—	—	—	16.2	—	—	—	15.3	—	—	—	—
	Овес												
I	1 N все время	39.1	40.0	28.7	36.6	32.4	6.5	13.7	21.9	30.9	0	11.0	0
II	Без N до 3 листьев	7.7	8.0	9.2	5.7	10.0	8.2	9.9	11.6	10.7	4,6	7.1	9.7
III	0.1 N то же	—	—	—	20.4	—	—	—	14.8	—	—	—	0
IV	2 N » »	—	46.1	30.0	39.4	—	13.5	21.6	22.3	—	0	10.1	0
	Просо												
I	1 N все время	—	—	611	518.0	—	—	—	—	—	—	—	—
II	Без N до 3 листьев	—	—	509	—	—	—	—	—	—	—	—	—
III	0.1 N то же	—	—	—	450.0	—	—	—	—	—	—	—	—
IV	0.5 N » »	—	—	558	464.0	—	—	—	—	—	—	—	—
V	2 N » »	—	—	595	625.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	Махорка*												
I	1 N все время	—	89.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	Без N до 3 листьев	—	47.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
III	2 N до начала дифференциации бутонов	—	95.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Для махорки дается общее число образовавшихся бутонов (на 1 растение).

число колосков вошли все образовавшиеся колоски — вполне развитые и недоразвитые.

Можно видеть, что недостаток азота в первый период жизни растения еще задолго до образования соцветий (сменепный затем полной дозой азота, при питании которой происходило все образование соцветия) вызывает длительное отрицательное последействие, которое приводит к снижению числа колосков в соцветиях. Это указывает на то, что качество меристемы соцветий определяется условиями питания очень рано, задолго до того как образовалось соцветие.

В связи с этим необходимо отметить, что предлагаемая некоторыми авторами (Чижов, 1946) азотная подкормка, внесенная в срок, установленный по диагностированию потребности пшеницы в азотной подкормке на основании уменьшения длины листьев у голодающего растения, может привести лишь к малой эффективности подкормок по следующим причинам. Первые 3—4 листа очень слабо изменяются под влиянием азотного питания, и на их длину не влияет недостаток азота в питательной смеси; длина 4-го снизу листа яровой пшеницы: по азоту 23.5 см, без азота 22.1 см. Только по длине 5-го и выше листьев может быть отмечено значительное уменьшение листа при недостатке азота. Однако выше мы установили, что растение уже в фазе 3 листьев начинает дифференцировать соцветие, и недостаток азота до этого периода вызывает необратимое ухудшение соцветия. Таким образом, подкармливая растение после появления 5-го листа, мы опаздываем с воздействием азота на число колосков в колосе — этого одного из главных элементов структуры урожая зерновых, и сможем повлиять лишь на налив зерна, вследствие чего будет снижена возможная эффективность азотной подкормки яровой пшеницы. Для наибольшей ее эффективности она должна быть дана не позже фазы 3 листьев.

Из данных табл. 6 видно более резкое снижение числа колосков у овса при недостатке азота, чем у пшеницы и других растений, что является подтверждением отмеченной выше резкой реакции этого растения на недостаток азота.

Не полное исключение азота из питательной смеси, а лишь уменьшение его дозы до 0.1 и 0.5 сопровождалось хотя не столь резким, как в первом случае, но значительным снижением числа колосков.

Удвоение дозы азота в этот первый период несколько увеличивает число колосков в соцветиях всех изучаемых растений.

На боковых побегах влияние азотного питания в этот первый период сказывается не так резко, как на первых побегах, видимо потому, что внесение азота после голодания совпало для боковых побегов с более ранними сроками их развития, чем у главных стеблей.

Этим же следует объяснить различие между пшеницей и овсом: у овса и на вторых и на третьих стеблях при недостатке азота образовалось значительно меньше колосков, чем у контрольных растений, тогда как у пшеницы в колосьях II стебля эта разница сглаживается. Это различие находится в связи с более длительным сроком жизнедеятельности меристемы соцветий пшеницы, чем у овса. Поэтому внесение азота после периода голодания (во втором варианте) у боковых побегов пшеницы пришлось на более ранние фазы и на более жизнедеятельную меристему точек роста стебля, чем у овса.

В различном темпе развития боковых почек у овса и яровой пшеницы в зависимости от азотного питания можно убедиться из рис. 10, 11, 12, 13 на которых приводятся зарисовки с помощью аппарата Аббэ главных зачаточных соцветий и точек роста боковых побегов II порядка, образовавшихся в пазухах колеоптиле и I, II и III листьев (считая листья сниз

главного стебля). В пазухах же листьев стеблей II порядка образовались почки побегов III порядка — у овса они уже дифференцировались, а у пшеницы их еще нет.

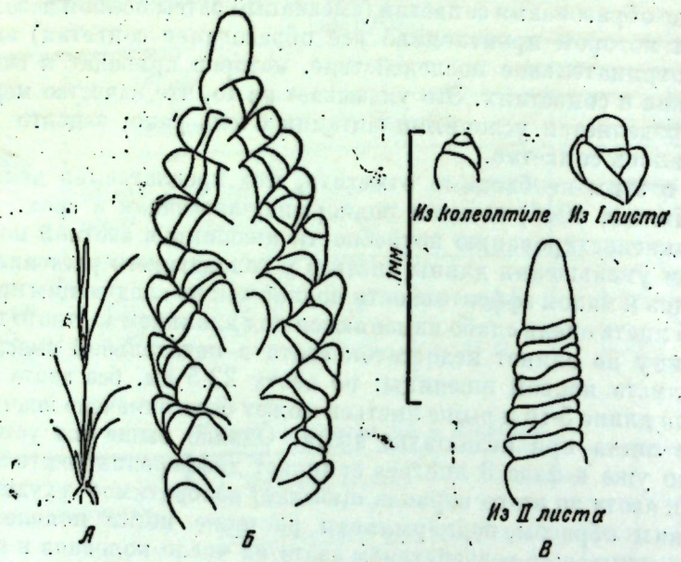


Рис. 10. Пшеница. 16/VI 1948. Фаза 4 листа, по полной смеси Гельригеля: *А* — все растение (уменьшено в два раза); *Б* — зачаточный главный колос; *В* — точки роста пазушных побегов.

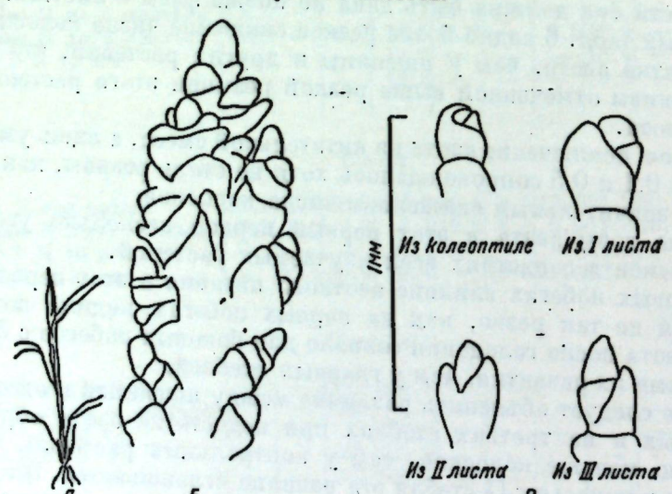


Рис. 11. Пшеница. 16/VI 1948. Фаза — 4 листа; в период до 3 листьев — без азота, затем по полной дозе азота (0—1N). *А* — все растение (уменьшено в 2 раза); *Б* — зачаточный главный колос; *В* — точки роста пазушных побегов.

Из рисунков можно видеть наличие более поздних фаз дифференциации боковых побегов у овса, чем у пшеницы, особенно при недостатке азота. Интересно также отметить, что у обоих растений наиболее развитым является побег, образовавшийся в пазухе III листа, хотя по времени они

заложены позже, чем побеги в пазухах первых двух листьев и колеоптиле. Побеги из пазух колеоптиле часто отмирают на ранних фазах развития.

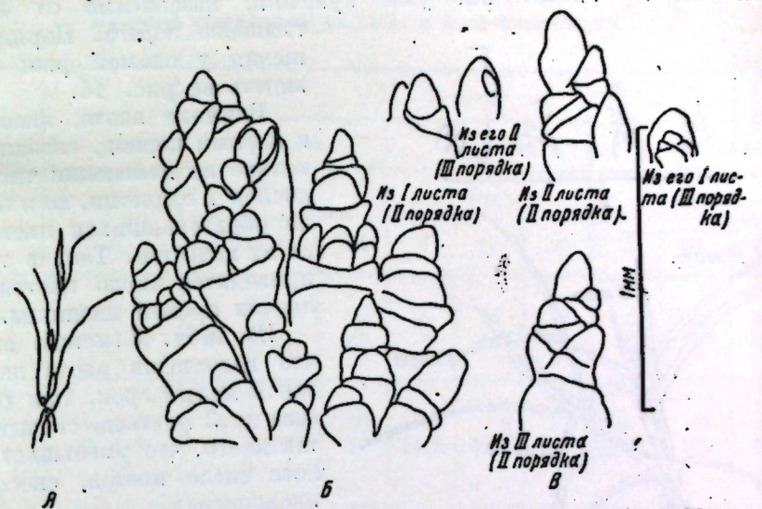


Рис. 12. Овес. 18/VI 1948. Фаза 4 листа; по полной дозе азота (1N). *А* — все растение (уменьшено в 2 раза); *Б* — зачаточная главная метелка; *В* — точки роста пазушных побегов II и III порядков.

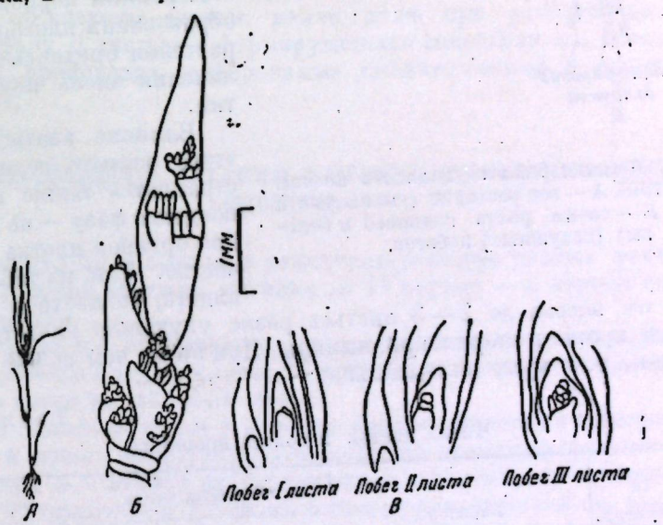


Рис. 13. Овес. 18/VI 1948. Фаза — 5 листьев; в период от посева до 3 листьев без азота, затем по полной дозе азота (0—1N). *А* — все растение (уменьшено в 2 раза); *Б* — зачаточная главная метелка; *В* — точки роста пазушных побегов II и III порядков.

Факт наилучшего развития бокового побега из пазух III или II листа, а не из I листа, вероятно, может быть объяснен исходя из концепции академика Т. Д. Лысенко о большем стадийном возрасте вышерасположенных листьев, чем нижних.

Из рисунков растений можно видеть, что узел кущения есть не что иное, как пазушные почки нижних листьев, междуузлия которых сбли-

жены. В результате раннего отмирания первых листьев, особенно в полевых условиях и тем более у озимых форм, остающиеся сближенные побеги создают впечатление узла кущения, независимо от листьев главного побега. Порядок кущения у озимой ржи можно видеть на рис. 14.

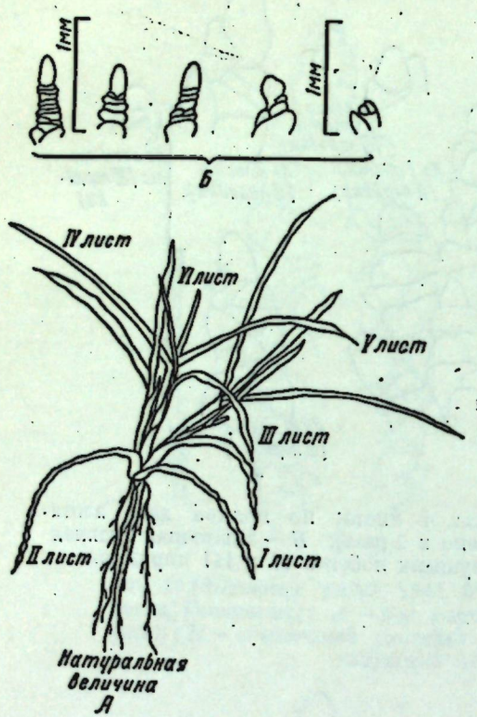


Рис. 14. Озимая рожь с полевого посева. 22. XI. 1948. *А* — все растение (уменьшено в 2 раза); *Б* — точки роста главного и боковых (пазушных) побегов.

Влияние азота, внесенного в первый период, сказалось не только на изменении числа колосков в соцветии, но и на числе образовавшихся цветков и на их качестве. Так, в табл. 7 приводится число цветов в колосьях яровой пшеницы.

Из табл. 7 можно видеть, что недостаток азота даже за такой малый срок, как от посева до 2 листьев, сказывается так долго, что уменьшает в колосе число цветов, способных плодоносить.

С другой стороны, временное усиление азотного питания в этот ранний период (задолго до образования цветков) создает в растении предпосылки для увеличения числа цветов в соцветии.

Влияние азотного питания этого раннего периода распространяется также и на более позднюю фазу — на формирование органов цветка и на их качество. Так, из табл. 8 можно видеть, что азотное голодание в период от посева до 2—3 листьев резко ухудшило качество пыльцы, увеличив процент стерильной пыльцы. При этом, чем позже образовался цветок, тем хуже его пыльца.

Таблица 7

Число цветов в колосе пшеницы

№ варианта	Варианты	Главный колос		Боковые колосья
		1944	1947	1947
I	1N все время	51.7	42.2	36.6
II	Без N до 2 листьев . .	44.5	—	—
III	Без N до 3 листьев . .	39.0	25.8	30.9
IV	0.1 N то же	—	31.4	33.1
V	2 N » »	—	51.2	37.8

Таким образом, разобранный материал дает возможность установить роль азотного питания в ранний период роста и развития растения от посева

Таблица 8

Процент стерильной пыльцы в фазу колошения

Опытное растение	Варианты	Колоски								
		верхний			средний			нижний		
		Цветы			Цветы			Цветы		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Пшеница	1—1 N	0	0	0	0	0	0	0	30	100
	0—1 N	15	25	100	0	10	18	80	100	100
Овес	1—1 N	0	0	10	0	0	15	0	15	60
	0—1 N	0	33.3	89	16.5	44.3	100	100	100	100

Примечание. Гев N сменено на 1 N 6/VI, а определение стерильности проведено 9/VII

до 3 листьев — до начала дифференциации соцветия; в этот период растения должны быть обеспечены азотом, иначе даже при условии азотной подкормки в фазу 3 листьев в формирующихся соцветиях как главных, так и боковых происходят неисправимые количественные и качественные ухудшения.

ЗНАЧЕНИЕ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ В ПЕРИОД ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СОЦВЕТИЯ

В наших опытах была выявлена различная реакция разных растений на изменение условий азотного питания во II период — в период дифференциации соцветия.

Так, у овса, как и в предыдущем случае, наблюдалось ускорение развития при недостатке азота (см. рис. 15 и 16), причем оно отмечается уже через 96 часов после выключения азота.

Для яровой пшеницы, проса и махорки вопрос решается в зависимости от того, в какой период дифференциации соцветия производится изменение азотного питания — в начале дифференциации соцветия или в конце его. Если вначале, то процессы и развития и роста резко тормозятся, меристематические ткани быстро стареют, и если азот не будет дан до отмирания меристемы, то довольно быстро наступает прекращение жизнедеятельности этой ткани, выражающейся в прекращении образования новых колосков и в ускорении последующего развития. Если же недостаток азота приходится на более поздний период, к окончанию дифференциации соцветия, то тогда происходит более быстрое прекращение жизнедеятельности меристемы и наступает ускорение прохождения последующих этапов развития без периода замедления темпа.

На рисунках зачаточных соцветий проса (рис. 17) можно видеть затормаживающее влияние недостатка азота в первые дни воздействия, причем ясно видно особенно сильное затормаживающее влияние недостатка азота в момент начала дифференциации соцветия.

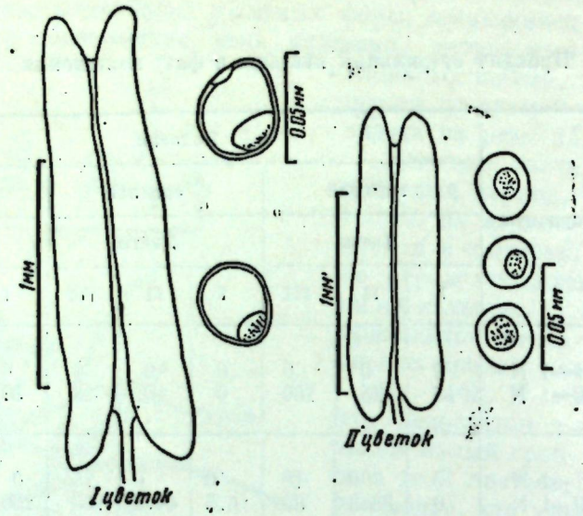


Рис. 15. Овес. 14/VIII 1944. По полной дозе азота. Пыльники и пыльца верхнего, самого крупного колоска. В пыльце II цветка нет еще II оболочки и не выделено генеративное ядро.

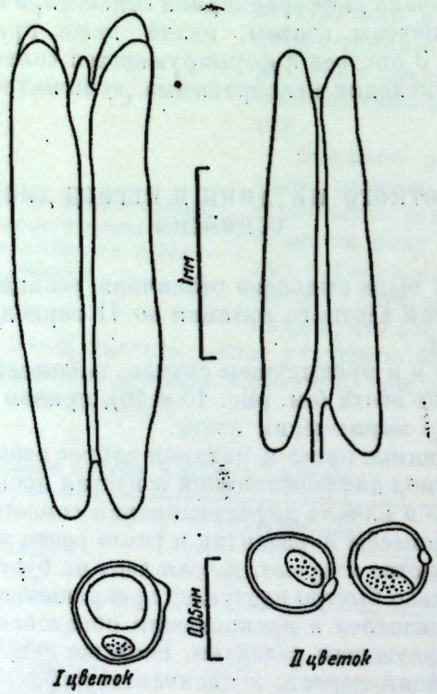


Рис. 16. Овес. 14/VII 1944. В период начала дифференциации соцветия без азота, до и после этого периода по полной дозе азота (1—0—1N). Пыльники и пыльца верхнего, самого крупного колоска главной метелки более развиты, чем пыльники и пыльца контрольного растения (ср. с рис. 15).

Приостановка жизнедеятельности меристемы соцветия в формировании новых колосков вызвана у пшеницы 6-дневным отсутствием, а у проса 14-дневным отсутствием азота.

Эта задержка развития распространяется также и на верхушечные точки роста боковых стеблей у пшеницы. У проса в условиях нашего опыта кущения из пазушных почек нижних листьев обычно не наблюдалось; в случае, когда после начала дифференциации главного соцветия эта дифференциация нарушалась недостатком азота, после внесения азота пробуждались пазушные почки верхних листьев и образовывались короткие

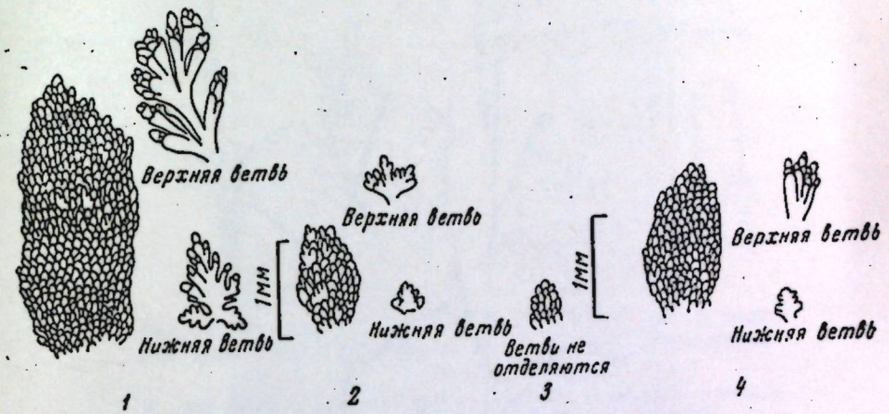


Рис. 17. Просо. Зачаточные главные метелки:

1 — по полной дозе азота (1N); *2* — в период от посева до 3 листьев — без азота, затем полная доза азота (0—1N); *3* — в период начала дифференциации соцветия — без азота, до и после этого периода полная доза азота (1—0—1N); *4* — после начала дифференциации — без азота, затем полная доза азота (1—1—0—1N).

ветви со сближенными мелкими листьями и метелкой. Эти последние, очевидно в силу позднего и исключительного ненормального своего образования, не дали правильно развитых, хорошо озерненных колосков. На рис. 18 растение контрольное (№ 1) получило полную питательную смесь, а растение № 2 не имело азота в период начала дифференциации соцветия.

Внесение двойной дозы азота в эти сроки вызвало различную реакцию у опытных растений: у овса отмечается некоторое замедление в формировании как главного, так и боковых соцветий. У пшеницы и проса замедления не замечается, даже скорее можно говорить о некотором ускорении. Так, у пшеницы и главный колос и боковые побеги из пазухи II листа значительно крупнее (рис. 19), чем таковые у контроля (рис. 10), и число листьев в этом варианте больше (5.5), чем у контроля (4.5).

У проса (рис. 20) отмечено значительное ускорение формирования соцветия при внесении двойной дозы азота к концу периода дифференциации его (вариант 1—1—2—1N). В этом случае наряду с хорошим формированием главной метелки отмечено образование боковых метелок из пазух трех верхних листьев и из пазухи нижнего первого листа. На рис. 21 контрольное растение № 1 получило одну норму питательных веществ, а № 2 получило двойную дозу азота в период дифференциации метелки.

Отмеченное изменение жизнедеятельности меристемы соцветия под влиянием временного недостатка или усиления азотного питания не могло не сказаться на числе колосков в соцветиях. В табл. 9 приведено число колосков в соцветиях пшеницы. Из этой таблицы можно видеть,

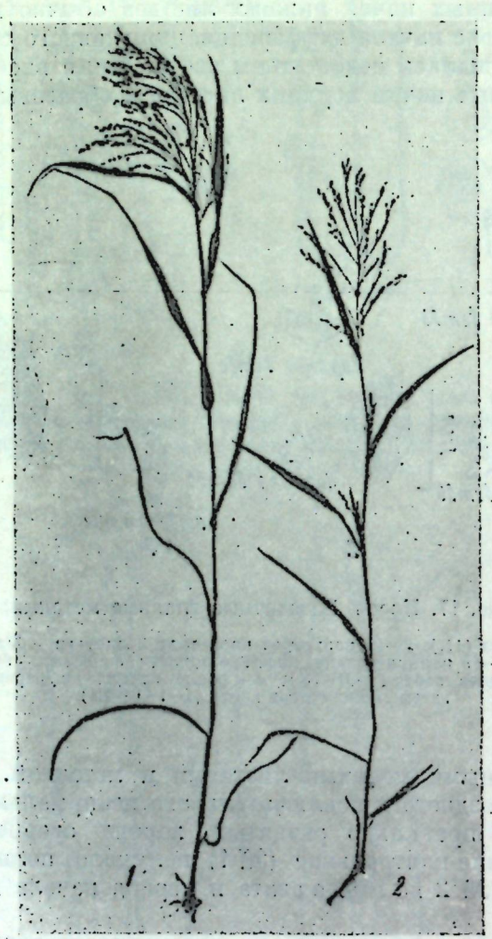


Рис. 18. Просо.

1 — контрольное по полной дозе азота; *2* — без азота в период начала дифференциации главного соцветия, до и после этого периода дана полная доза азота.

что недостаток азота в период дифференциации соцветия уменьшил число колосков как в главных, так и в боковых колосьях, что явилось следствием преждевременного отмирания меристемы соцветия. Удвоение же дозы азота, удлиняя период жизнедеятельности меристемы соцветия, способствовало увеличению числа колосков.

Эти же закономерности, только в еще более резких различиях, можно отметить для овса и проса (см. табл. 10, 11 и 12).

Из табл. 10 можно видеть, что удвоение дозы азота в период дифференциации соцветия способно вызвать большое увеличение числа колосков в главной метелке овса, если это удвоение дозы азота дано в период не

позже дифференциации цветков (вар. VI и VIII). Изменение дозы азота в более поздний период (дифференциация пыльцы) не изменило числа колосков в главной метелке ни при удвоении дозы азота, ни при выклю-

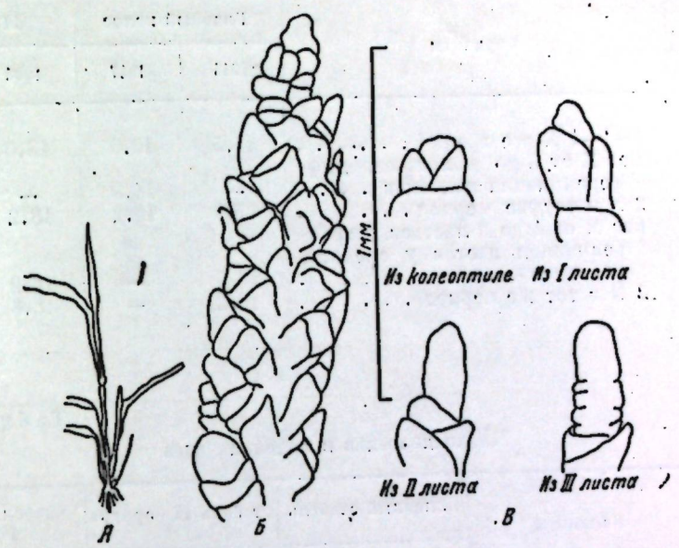


Рис. 19. Пшеница. 16/VI 1948. Фаза — 5 листьев. По двойной дозе азота в период от посева до начала дифференциации.

А — все растение (уменьшено в 2 раза); *Б* — зачаточный главный колос; *В* — точки роста боковых (пазушных) побегов.

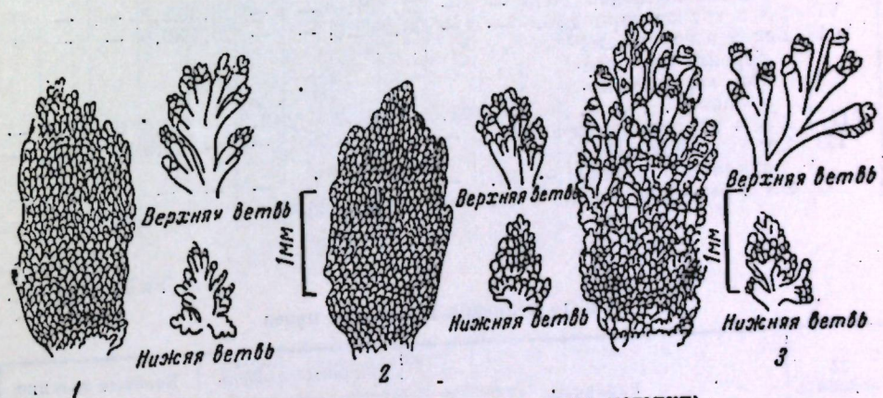


Рис. 20. Просо. Зачаточные главные метелки:

1 — по полной дозе азота (1N); *2* — по удвоенной дозе азота до начала дифференциации; до и после этого периода — по одной дозе азота (1—2—1N); *3* — по удвоенной дозе азота в период начала дифференциации соцветия; до и после этого периода — по одной дозе азота (1—1—2—1N).

чении его. Однако воздействие азотом в этот период более резко, чем в другие периоды, сказалось на боковых соцветиях, видимо вследствие того, что боковые соцветия в этот период проходили фазы дифференциации цветков или даже колосков.

Так же как для пшеницы и овса, наиболее высокий эффект от удвоенной дозы азота обнаружен у проса при условии ее внесения в период дифференциации соцветия, видимо за счет удлинения периода жизнедеятель-

Таблица 9

Число колосков в колосьях пшеницы

№ варианта	Варианты	Главный колос		II стебель	
		1944	1947	1944	1947
I	1—1—1 N все время	17.5	16.0	18.0	16.1
V	Без N от 3 до 4 листьев, дифференциация колосков	—	14.8	—	12.5
VI	2 N в тот же период	17.8	16.2	18.2	16.6
VII	Без N от 4 до 6 листьев, дифференциация цветов у средних колосков	16.0	—	16.2	—
VIII	2 N в тот же период	18.2	—	18.8	—

Таблица 10

Число колосков в метелках овса

№ варианта	Варианты	Главный стебель				Стебель II порядка				Стебель III порядка			
		1944	1945	1946	1947	1944	1945	1946	1947	1944	1945	1946	1947
I	1 N все время . . .	39.1	40.0	28.7	36.6	32.4	6.5	13.7	21.9	30.9	0	11.0	0
V	Без N от 3 до 4 листьев, дифференциация колосков	31.8	—	—	22.2	21.6	—	—	13.3	23.2	—	—	0
VI	2 N в тот же период	40.6	—	—	38.2	32.6	—	—	20.5	30.0	—	—	0
VII	Без N в период дифференциации цветов верхних колосков	38.3	35.0	24.6	—	27.2	4.2	19.5	—	26.6	0	10.6	—
VIII	2 N в тот же период	40.4	45.4	—	—	35.1	18.1	—	—	32.9	11.1	—	—
IX	Без Nв период дифференциации пыльцы	—	40.1	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—
X	2 N в тот же период	—	41.1	—	—	—	23.4	—	—	—	13.6	—	—

Таблица 11

Число колосков в метелке проса

№ варианта	Варианты	Главный стебель		Боковые метелки	
		1946	1947	1946	1947
I	1 N все время	611	518	—	—
III	Без N до начала дифференциации соцветия	—	437	—	—
IV	2 N в тот же период	—	594	—	—
V	Без N в период дифференциации соцветия	64.8	—	85.8*	—
VI	2 N в тот же период	963.5	—	—	—

* Приводится сумма числа колосков 4 метелок, образовавшихся из пазух 4 верхних листьев.

ности меристемы и, как следствие этого, образования большего числа колосков в соцветии. В этот же период отмечено также и наиболее сильное отрицательное влияние временного недостатка азота, что снизило число колосков почти в 10 раз по сравнению с контролем.

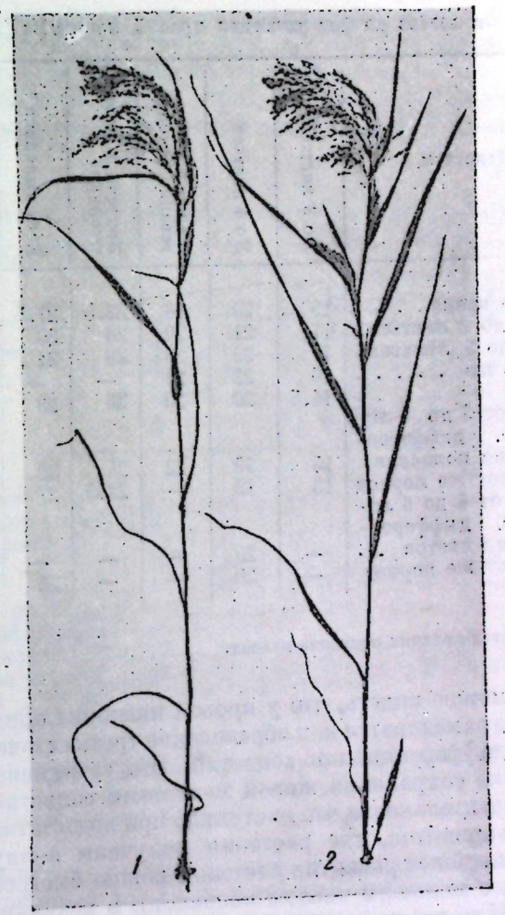


Рис. 21. Просо.

1 — контрольное по полной дозе азота; *2* — в период дифференциации главной метелки по двойной дозе азота, до и после этого периода — по одной дозе азота.

Таким образом, разобранный материал позволяет установить зависимость величины и качества соцветия от наличия азота в питательной среде в определенный период его формирования.

ВЛИЯНИЕ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ФАЗ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Недостаток азота в питательной среде сокращает период жизнедеятельности меристемы, что приводит к уменьшению числа колосков в соцветии. Поэтому условия азотного питания не могут не отразиться на скорости прохождения растением последующих фаз развития — фаз коло-

шения, цветения и созревания зерна. В табл. 12, 13 и 14 приводятся средние (за все годы исследований) числа дней от посева до наступления той или иной фазы, а также конечное число листьев на главном стебле.

Таблица 12

Число дней от посева до фаз развития яровой пшеницы (главный колос)

№ варианта	Варианты	До 3 листьев	До 4 листьев	До начала образования бутонов	Колоски в фазе «колуда»	Есть пыльники *	До начала колошения	До начала цветения	Число листьев на главном стебле в фазу цветения
I	1 N все время	15	20	18	22.5	27.5	52	56.3	7.4
II	Без N до 2 листьев .	17	21	20	26	30	51	55	7.0
III	Без N до 3 листьев .	17	23	23	26	31	52	56.6	6.8
IV	0.1N то же	16	22	23	—	—	—	—	7.0
V	2N » »	14.5	20	20	26	28	52	58	7.6
VI	Без N от 3 до 4 листьев, дифференциация колосков	15	19	22	24	30	46	53	7.0
VII	2 N в тот же период	13	19	—	22.5	27.5	50	53.5	7.4
VIII	Без N от 4 до 6 листьев, дифференциация цветов . .	—	20	—	—	—	46	50	—
IX	2N в тот же период	—	20	—	—	26	52	56	—

* В первых цветах средних колосков колоса.

Из табл 12 можно видеть, что у яровой пшеницы при недостатке азота в первый период замедляется как образование третьих и четвертых листьев, так и начало дифференциации соцветий. Это замедление продолжалось в пределах срока сохранения живой меристемы соцветий. После прекращения ее жизнедеятельности, что наступило при недостатке азота несколько ранее, чем у вариантов, где растения получали полную или двойную дозу азота, дальнейшее развитие растения пошло быстрее (за счет образования соцветия с меньшим числом колосков); в результате, растения вариантов II и III догнали контроль к фазе колошения и цветения.

Удвоение дозы азота до появления 3 листьев (вариант V) способствовало некоторому замедлению как дифференциации соцветия, так и запозданию последующей фазы цветения.

Недостаток азота во II и III периоды (в фазу 3—4 листьев, в начале дифференциации соцветия, вариант VI, как и в фазу 5—6 листьев в конце дифференциации колоса) сопровождался сначала задержкой дифференциации соцветия, а затем быстрым прохождением последующих фаз, выразившимся в более раннем наступлении фаз колошения и цветения, чем в контрольных растениях (вариант I).

Удвоение дозы азота в начале дифференциации соцветия (вариант VII) не сказалось на темпе образования соцветия, но несколько ускорило наступление фаз колошения и цветения.

Удвоение дозы азота позже этого периода (варианты IX и X), вызвав некоторое ускорение в развертывании 3-го зеленого листа, почти не изменило темпа прохождения последующих фаз по сравнению с контролем.

Приведенные цифры являются общими для сортов Мелянопус 069 и Персикум. Несколько отличается от них Лютесценс 062. Так, недостаток азота в период от посева до начала дифференциации соцветия (до 3 листьев) сопровождался, так же как и у первых двух сортов, замедлением процесса дифференциации главного колоса, однако, видимо, в силу большей скороспелости этого сорта, наступление последующих фаз после дифференциации соцветия — фаз колошения и цветения — не только сравнялось с контролем (как у первых двух сортов), но началось на три дня раньше.

В табл. 13 приводятся аналогичные данные по овсу (средние за 5 лет).

Таблица 13

Число дней от посева до фаз развития овса (главная метелка)

№ варианта	Варианты	До 3 листьев	До 4 листьев	До начала образования бугорков	Колоски в фазе «колуда»	Есть пыльники *	До начала колошения	До начала цветения	Число листьев на главном стебле в фазу цветения
I	1 N все время	17	22	20	22	28	49	53	7.3
II	Без N до 2 листьев .	20	25	18	20	28	48	53	7.1
III	Без N до 3 листьев .	22	27	14	16	23	44	49	6.0
IV	0.1 N то же	19	26	—	—	—	48	51	7.2
V	2 N » »	17	22	21	23	28	48.5	53	7.4
VI	Без N от 3 до 4 листьев, дифференциация колосков	17	26	18	21	27	48	52	7.0
VII	2 N в тот же период .	17	22	—	22	28	48.5	55	7.5
VIII	Без N от 4 до 6 листьев, дифференциация цветения . . .	17	22	—	—	—	48	52	7.3
IX	2 N в тот же период .	17	22	—	22	28	50	54	7.5

* В первых цветах самых верхних колосков.

На овсе, так же как и на пшенице, задерживающее влияние недостатка азота в первый период (от посева до 3 листьев) сказалось на скорости развертывания листьев, но в отличие от пшеницы, как уже отмечалось выше, недостаток азота ускорил дифференциацию метелки, причем это ускорение сохранилось до фаз цветения и созревания главных стеблей. Это ускорение получено за счет снижения числа колосков в метелке, главным образом в нижних ее ярусах, как следствие преждевременного отмирания меристемы соцветия.

Удвоение дозы азота в этот период (вариант V) не изменило темпа развития. Недостаток азота в период начала дифференциации соцветия (вариант VI) вызвал задержку в развертывании 4-го листа и некоторое ускорение формирования главного соцветия. Удвоение дозы азота в этот же период (вариант VII) задержало лишь начало цветения. Следует напомнить, что в этом варианте получено наибольшее число колосков в главной метелке (табл. 10). Недостаток азота в более поздний период — в конце дифференциации метелки — сказался лишь в ускорении начала цветения.

Удвоение дозы азота как в этот период, так и двойная доза в течение всего вегетационного периода почти не изменили темпа прохождения фаз развития главного соцветия.

В табл. 14 приводятся данные по просу (средние за 3 года) по числу дней от посева до наступления той или иной фазы, откуда можно видеть, что в отличие от пшеницы и овса просо реагирует на недостаток азота в период от посева до 3 листьев задержкой не только в развертывании листьев, но и в дифференциации соцветия (в отличие от овса), а также и в прохождении всех последующих фаз — колошения, цветения и созревания (в отличие от пшеницы). Последнее обстоятельство, как отмечалось выше, находится в связи со способностью меристемы верхушечной точки роста стебля проса сохранять свои функции дольше, чем у пшеницы, и особенно чем у овса; по внесении азота точка роста стебля у проса способна развить растение, немногим меньше контрольного, тогда как пшеница и особенно овес развивают значительно меньшее, чем контрольное, растение с малым соцветием.

Таблица 14

Число дней от посева до фаз развития соцветия проса (главная метелка)

№ варианта	Варианты	До 3 листьев	До 4 листьев	До 7 листьев	До выхода в трубку	До начала колошения	До начала цветения верха метелки	До начала созревания метелки: верха	середины	низа	Число листьев на главном стебле в фазу цветения
I	1 N все время . . .	19	28.5	37	40	51	59	81	94	97	11
II	Без N до 3 листьев	—	30.5	41	42	55.5	65	88	110	—	10
III	0.1 N то же	19	28.5	38	—	51	62	84	—	—	11
IV	0.5 N » »	—	28.5	38	—	51	59	81	—	—	11
V	2 N » »	19	25	37	40	51	59	81	94	97	11
VI	Без N от 3 до 5 листьев, до дифференциации соцветия	—	33	37	42	59	67	90	112	—	11
VII	2 N в тот же период	—	26	35	40	51	63	81	—	94	11
VIII	Без N в начале дифференциации соцветия	—	27.5	37	40	56	60	78	—	96	9
IX	2 N в тот же период	—	23	35.5	38	50	58	80	—	—	11

Полдозы азота, как и удвоенная доза, внесенные в этот первый период (варианты IV и V), не изменили темпа формирования метелки.

Несколько более сильное затормаживающее действие оказал недостаток азота в период от 3 до 5 листьев, т. е. в период, когда верхушечная точка роста стебля еще не перешла к дифференциации соцветия.

Недостаток азота в период, когда точка роста начала дифференцировать соцветие (вариант VIII), наоборот, вызвал значительное ускорение в прохождении всех фаз развития, что стоит в прямой зависимости от сокращения периода деятельности меристемы соцветия и, как следствие этого, резкого уменьшения числа колосков в соцветии (см. табл. 11).

Удвоение дозы азота в этот период вызвало сначала несколько более значительное ускорение, чем в более поздние фазы. При двойной дозе, даваемой во все время вегетации, ускорение первых фаз сменилось некоторым замедлением в созревании.

На рис. 22 представлены растения махорки различных вариантов азотного питания:

1 — контроль, все время была дана доза азота;
2 — вначале, от посева до 2—3 листьев, не было азота, затем дана одинарная доза азота;
3 — в тот же период, сначала двойная доза, затем после промывки сменена одинарной дозой;
4 — в начале фазы бутонизации был выключен азот, а до и после этого периода была дана одинарная доза;
5 — в тот же период дана двойная доза азота.

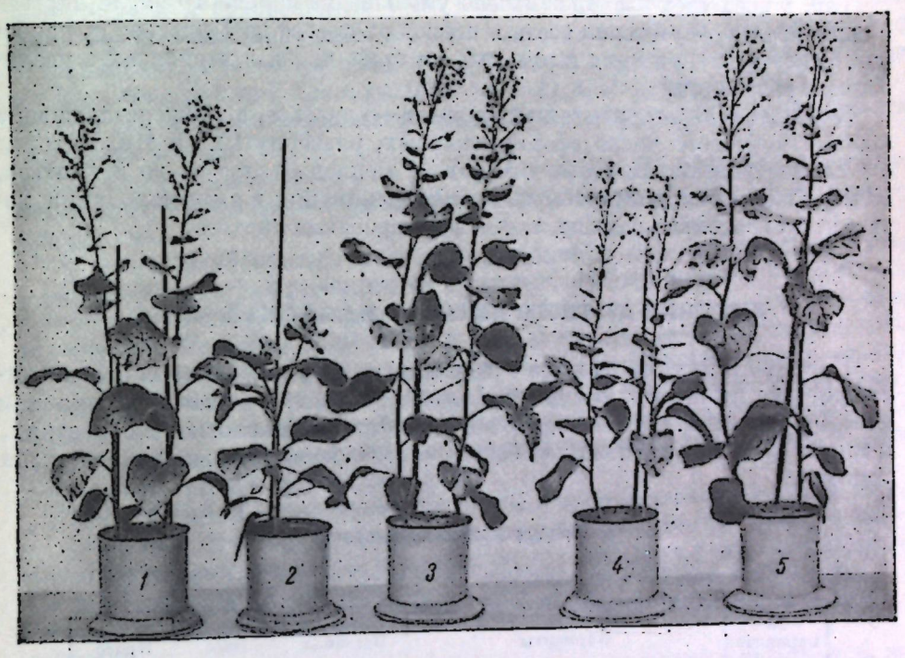


Рис. 22. Махорка.

1 — по одинарной дозе азота; *2* — в период от посева до 2—3 листьев без азота, затем по одинарной дозе азота; *3* — в период от посева до 2—3 листьев по удвоенной дозе азота, затем по одинарной дозе азота; *4* — в начале фазы бутонизации был выключен азот, до и после этого периода дана одинарная доза азота; *5* — в начале фазы бутонизации дана двойная доза азота, до и после этого периода — одна доза азота.

На рис. 22 видно затормаживающее влияние недостатка азота в первый ранний период и отсутствие замедления темпа перехода к фазам бутонизации, цветения и образования коробочек в варианте *4* при недостатке азота в период после перехода точки роста стебля к дифференциации соцветия.

Удвоение дозы азота ни в первом периоде (вариант *3*), ни во втором (вариант *5*) не вызвало замедления в прохождении фаз бутонизации, цветения и завязывания коробочек.

Таким образом, разобранный нами материал по влиянию азотного питания на скорость прохождения фаз формирования соцветий у всех четырех изучаемых растений дает нам возможность сделать следующие заключения: во-первых, отмеченные различия между изучаемыми растениями должны быть отнесены прежде всего за счет различия их биологических особенностей. Во-вторых, значение одного и того же фактора — азотного питания — различно в зависимости от а) растения и б) от фазы

развития растения. В-третьих установлена взаимозависимость между внешним фактором — азотным питанием, с одной стороны, и длительностью периода жизнедеятельности меристемы стебля и соцветия, числом колосков в соцветии и числом дней до прохождения той или иной фазы, с другой стороны.

Азотное питание, особенно его недостаток, изменило не только число колосков в соцветии, но также и число листьев на главном стебле, в чем можно убедиться из цифр, приведенных в крайних графах табл. 12, 13 и 14.

Так, у всех трех злаков отмечено уменьшение конечного числа листьев в вариантах с отсутствием азота в период от посева до 3 листьев и, наоборот, некоторая тенденция к увеличению этого числа в вариантах с увеличением доз азота.

Замедление в развертывании первых 3—4 листьев, а также уменьшение общего, конечного числа сформированных, развернутых листьев говорят о том, что недостаток азота, особенно в период от посева до 3 листьев, начинает сказываться не только в дифференциации и в формировании метелки, но несколько раньше, т. е. в формировании листьев.

ВЛИЯНИЕ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА УРОЖАЙ ЗЕРНА

Приведенные выше данные о влиянии на формирование соцветий растений уже дают материал для прогноза изменений урожая под влиянием азотного питания. Особенно ярко это видно из числа колосков в соцветиях, а также в развитии боковых побегов и в образовании того или иного числа листьев.

Таблица 15

Продуктивная кустистость

(число соцветий на 1 растение в среднем за все годы изучения)

№ варианта	Варианты	Пшеница	Овес	Просо
I	1 N все время	4.4	1.7	1.0
II	Без N до 3 листьев	2.8	1.8	1.1
III	0.1 N то же	2.9	1.8	—
IV	0.5 N » »	—	—	1.0
V	2 N » »	2.3	1.1	1.0
VI	Без N от 3 до 4 листьев .	2.3	2.0	1.1
VII	2 N то же	4.0	2.4	1.0
VIII	Без N от 4 до 5 листьев .	1.5	1.5	—
IX	2 N то же	5.4	2.4	—
X	Без N от 5 до 6 листьев .	—	—	1.3
XI	2 N то же	—	—	1.2

В табл. 15 приводятся данные о влиянии азотного питания на продуктивную кустистость у различных видов злаковых растений. Общеизвестно, что этот признак сильно зависит также от сортовых особенностей растения. В данном случае приводятся результаты по пшенице Персикум, овсу Московскому А-315 и просу Красному Тойденскому.

Пшеница во всех случаях временного уменьшения дозы азота реагировала снижением кустистости, особенно резко при выключении азота

в период дифференциации цветов главного соцветия, т. е. в фазу 4—6 листьев, в фазу выхода в трубку (вариант VIII).

Снижение кустистости в варианте V, очевидно, является следствием снижения дозы азота с 2N до 1N в период начала дифференциации главного соцветия.

Наибольшая кустистость в опыте с пшеницей получена в последнем варианте — при удвоении дозы азота в период дифференциации цветов главного соцветия, что для боковых побегов приходится на более ранние фазы дифференциации их колосьев.

У овса и проса изучаемых сортов в условиях нашего опыта кустистость вообще мала и сравнительно мало варьирует в зависимости от азотного питания. В отличие от пшеницы, овес и просо не снизили, а даже немного повысили кустистость при снижении дозы азота в первый период и внесении азота в последующие периоды (варианты II и III), что, очевидно, находится в связи с худшим развитием главной метелки (особенно у овса) в этих вариантах опыта.

На удвоение дозы азота овес реагировал так же, как пшеница: при раннем временном удвоении дозы азота кустистость снижалась, при позднем — повышалась.

У проса наибольшая кустистость получена при выключении азота в период начала дифференциации соцветия, что приходится на фазу 5—6 листьев (вариант VIII), причем главная метелка в этом варианте получена наихудшей. Удвоение дозы азота в этот период вызвало дополнительное кущение. Следует отметить, что у пшеницы и овса боковые побеги образовывались из пазух нижних листьев, тогда как у проса — из пазух самых верхних листьев главного стебля. Как известно, у пшеницы и овса колоски многоцветковые, а у проса одноцветковые и изредка двухцветковые, причем 2-й цветок обычно недоразвивается.

Так как не все образовавшиеся цветы в колосках способны дать зерно и, кроме того, колоски и цветки, последние по времени образования могут и совсем не дать зерна, то число зерен в соцветии определяется двумя противоположными процессами — увеличением количества цветов в колоске и увеличением количества недоразвитых колосков и цветов в соцветии.

Условия питания, и в том числе азотного, не могут не сказаться на количестве зерен в соцветии. Так, из табл. 16 можно видеть, что условия азотного питания резко изменили количество зерен и в главных и в боковых соцветиях всех изучаемых растений.

Можно отметить следующую зависимость: чем позже пшеницей и овсом испытывается недостаток азота, тем меньше причиненный им вред; у проса же наибольший вред оказал недостаток азота в период начала дифференциации соцветия, т. е. в фазу 5—6 листьев.

Для боковых соцветий овса отмечена обратная зависимость по сравнению с главным соцветием того же растения. Так, в варианте II в боковых соцветиях зерен больше, чем в их главных, что должно быть объяснено тем, что внесение азота после периода азотного голодания совпало с более ранней фазой развития боковых соцветий, чем главных, и поэтому могло оказать большее влияние на боковые соцветия, чем на главные.

Наоборот, выключение азота в последующие периоды оказало более вредное действие на боковые соцветия, чем на главные, так как азотное голодание в этих случаях пришлось на более ответственные периоды развития боковых стеблей, чем главных.

Обращает внимание вариант VIII проса, где совершенно изменился весь габитус растения: вместо крупной главной метелки, образована более

Таблица 16

Число зерен в одном соцветии

(в среднем за все годы изучения)

№ варианта	Варианты	Яровая пшеница		Овес			Просо	
					Метелки			
		Главное соцветие	Боковые соцветия	Главная метелка	II порядка	III порядка	Главная метелка	Метелки из пазух листьев
I	1 N все время	22.5	14.7	44.1	20.2	3.0	420.6	—
II	Без N до 3 листьев	16.5	13.2	6.1	7.4	7.2	346	21.7
III	0.1 N то же	17.2	12.7	25.0	23.3	0	—	—
IV	0.5 N » »	—	—	—	—	—	358.3	0
V	2 N » »	21.7	17.6	47.8	17.7	0.2	383	0
VI	Без N от 3 до 4 листьев у проса до дифференциации соцветия	17.4	11.9	31.6	6.5	0.8	250	16.1
VII	2 N то же	24.3	16.2	54.9	26.4	6.0	466	0
VIII	Без N от 4 до 5 листьев в период дифференциации колосков	20.3	12.4	28.0	16.0	1.3	—	—
IX	2 N то же	26.0	14.5	57.6	27.2	7.2	—	—
X	Без N от 5 до 6 листьев	—	—	—	—	—	176.6	47.5
XI	2 N то же	—	—	—	—	—	593.9	105.3

Таблица 17

Вес 1000 зерен

(среднее за все годы изучения, в г)

№ варианта	Варианты	Пшеница		Овес		Просо	
		Главный стебель	Боковой стебель	Главный стебель	Боковой стебель	Главный стебель	Боковой стебель
I	1 N все время	29.7	19.0	35.0	26.6	5.26	0
II	Без N до 3 листьев	22.8	18.5	30.0	27.7	4.25	2.90
III	0.1 N то же	23.3	20.6	33.8	20.7	—	—
IV	0.5 N » »	—	—	—	—	5.17	0
V	2 N » »	33.0	20.1	31.8	25.3	4.86	0
VI	Без N от 3 до 4 листьев	25.3	16.6	32.4	27.8	3.67	1.82
VII	2 N то же	34.3	29.5	31.8	30.4	5.50	0
VIII	Без N от 4 до 5 листьев	28.0	19.0	32.6	0	—	—
IX	2 N то же	35.5	30.3	37.5	32.8	—	—
X	Без N от 5 до 6 листьев	—	—	—	—	4.27	2.79
XI	2 N то же	—	—	—	—	6.00	3.13

чем в два раза меньшая метелка и наряду с этим обнаружены мелкие, плохо озерненные метелки из пазух 4 верхних листьев, что мы видим на рис. 18.

Образование укороченных побегов из пазух верхних листьев обнаружено также в вариантах, где в конце периода дифференциации главной метелки была внесена двойная доза азота (см. рис. 21). Таким образом, образование укороченных побегов из пазух верхних листьев проса является следствием позднего усиления азотного питания главного соцветия и вследствие вызванного азотом пробуждения пазушных почек верхних листьев. Обнаружено также в единичных случаях появление, наряду с побегами из пазух верхних листьев, побегов из самых нижних, уже высохших к этому времени листьев.

Из табл. 16 можно также видеть, что удвоение дозы азота у всех растений сопровождалось увеличением числа зерен в соцветии, особенно если доза была удвоена в период дифференциации цветов в колосках соцветий.

В табл. 17 приводятся средние величины за все годы изучения веса 1000 зерен, откуда можно видеть влияние условий азотного питания на этот показатель урожая зерна.

Так, все три злака образовали наиболее полновесное зерно при удвоении дозы азота в период не ранее фазы 4—6 листьев, т. е. фазы полного выхода в трубку, фазы дифференциации соцветия.

Обращает внимание сильное отрицательное влияние на налив зерна недостатка азота в первый период — от посева до начала дифференциации соцветия, т. е. задолго до образования и налива зерна. Этот факт снова подтверждает особо важное значение в формировании урожая зерна именно этого периода: недостаток азота в этот период вызывает такие глубокие изменения во всем растительном организме, что он сказывается даже на таком позднем этапе, как налив зерна, и это повреждение не может быть полностью исправлено последующим внесением азота.

В табл. 18 приводится вес урожая зерна с 10 растений. У пшеницы и у овса наиболее низкий урожай получен во II варианте, главным образом за счет резкого снижения урожая главного соцветия и боковых соцветий (стеблей II порядка кущения). Наиболее высокий урожай и у всех трех злаков получен в IX варианте, т. е. при удвоении дозы азота в период дифференциации цветов; в этом случае получен большой вес зерна главного соцветия и наибольший вес боковых соцветий.

У проса, так же как у пшеницы и у овса, наибольший урожай зерна главного соцветия получен в варианте, когда удвоенная доза азота была дана в конце периода дифференциации соцветия, т. е. в дифференциацию цветов. Однако в отличие от овса и пшеницы наименьший урожай главной метелки у проса получен при недостатке азота в период дифференциации соцветия (вариант VIII), что находит объяснение в отмечавшихся уже особенностях темпа развития этих растений.

Общим для всех трех злаков является то, что удвоение дозы азота во все сроки дает некоторое увеличение урожая, но наибольший эффект от него у всех растений получен при усилении азотного питания в период дифференциации соцветия, при наличии однократной дозы азота в предыдущий период.

Относительно значения азотного питания на урожай боковых побегов необходимо отметить следующее.

Изучаемая яровая пшеница, главным образом Персикум, оказалась более лабильной в части продуктивной кустистости, чем овес, вследствие чего у пшеницы отмечены более резкие изменения в урожае зерна подгона, чем у овса. Чаще урожай подгона у пшеницы выше урожая главного стебля за счет большей кустистости, т. е. большего числа боковых колосьев,

Урожай зерна (в г

№ варианта	Варианты	Пшеница					Овес					Просо			
		Главный стебель	II стебель	III стебель	Всего	%	Главный стебель	II стебель	III стебель	Всего	%	Главный стебель	Боковой стебель	Всего	%
I	1 N все время	6.67	11.79	0.51	18.97	100.0	15.44	6.69	0	2.13	100.0	22.10	0	22.1	100.0
II	Без N до 3 листьев	3.77	6.12	0.70	10.59	55.9	1.83	3.40	0.91	6.14	27.7	14.1	0.6	14.7	66.8
III	0.1 N то же	4.02	7.59	0	11.61	61.4	8.45	8.43	0	6.88	75.9	—	—	—	—
IV	0.5 N » »	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.5	0	18.5	84.0
V	2 N » »	7.16	8.16	0	15.32	81.0	—	—	—	—	—	18.7	0	18.7	84.8
VI	Без N от 3 до 4 листьев	4.40	4.66	0	9.06	47.9	15.25	4.85	0	20.05	90.5	8.72	0.35	9.07	41.0
VII	2 N то же	8.32	17.78	1.16	27.26	143.8	10.24	2.65	0	12.89	58.3	25.6	0	25.6	116.1
VIII	Без N от 4 до 5 листьев	5.67	3.54	0	9.21	48.6	17.36	7.42	1.96	26.74	120.0	—	—	—	—
IX	2 N то же	9.22	22.08	1.62	32.92	173.5	9.14	5.32	0	14.46	65.1	—	—	—	—
X	N от 5 до 6 листьев	—	—	—	—	—	21.39	12.32	1.90	35.61	163.1	7.54	1.08	8.62	39.1
XI	2 N то же	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35.40	3.30	38.70	175.1
							—	—	—	—	—				

и лишь при условии недостатка азота в период дифференциации как главных, так и боковых побегов качество и количество подгона уменьшались и их урожай зерна был ниже урожаев главных колосьев (вариант VI). У овса же во всех случаях урожай зерна подгона ниже урожая их главных метелок в силу слабой кустистости и мелких боковых метелок.

Таким образом, разобранные данные по урожаю позволяют сделать следующие заключения.

Просо из трех изучаемых злаков наиболее отзывчиво и наиболее требовательно к присутствию азота в питательной среде, особенно в период дифференциации соцветий, и при недостатке азота в этот период снижает урожай до 39.1% по сравнению с контролем.

Овес — второе растение по отзывчивости на недостаток азота и снижает урожай до 27.7% от контроля, но в отличие от проса наиболее чувствительным периодом к недостатку азота у овса является первый период — от посева до начала дифференциации.

У пшеницы также в этот период наибольшее ухудшение от недостатка азота отмечено у главного колоса, в связи с этим снижается общий урожай зерна до 55.9% от контроля. Наибольшее снижение общего урожая зерна у пшеницы отмечено в варианте VI; как видно из табл. 8, оно получено за счет худшего развития и главного и боковых соцветий. В варианте VIII получен наименьший урожай зерна пшеницы.

Таким образом, для развития главного колоса пшеницы и главной метелки овса важно присутствие азота в первый период вегетации — до 3 листьев, т. е. до перехода точки роста к дифференциации соцветия; недостаток азота в этот период определяет наихудший урожай главного соцветия.

Для боковых соцветий пшеницы наибольший вред оказывает недостаток азота в период дифференциации цветов главного колоса, т. е. в фазу 4—6 листьев.

У овса этот период наступает несколько раньше — в фазу 3—4 листьев, т. е. в начале дифференциации главной метелки.

На просе вредное влияние на урожай главной метелки оказал недостаток азота как в период накануне начала дифференциации соцветия (вариант VI), так и особенно в течение дифференциации его (вариант VIII).

Таблица 18

на 10 растений)

Сопоставляя все разнообразные факты для трех изучаемых злаков, можно сказать, что для обеспечения хорошего развития главного соцветия необходимо присутствие доступной формы азота в питательной среде в периоды как накануне перехода точки роста стебля к дифференциации соцветия, так и в период дифференциации его.

По отзывчивости изучаемых злаков на повышенные дозы азота они располагаются в несколько иной ряд, чем по отзывчивости на недостаток азота, а именно, наиболее отзывчивыми оказались просо и яровая пшеница, а затем овес.

Наилучший в условиях данного опыта урожай всех трех злаков получен, когда одинарная доза азота первого периода, от посева до начала дифференциации соцветия, сменяется удвоенной дозой, т. е. когда к достаточной дозе азота добавляется в виде подкормки еще доза азота к фазе 4 листьев.

Так как у проса в условиях московских весны и лета дифференциация соцветия происходит при большем, чем у яровой пшеницы и овса, числе листьев, то и наиболее эффективный срок воздействия дополнительным азотом приходится на несколько более позднюю фазу, а именно — фазу 6 листьев.

Материалы настоящей работы дают возможность разобраться в особенностях реакции изучаемых растений на условия азотного питания и наметить пути к наиболее эффективному его применению в целях повышения урожайности.

Таким образом, условия плодородия почвы, в частности — снабжение растения легкодоступными формами азотистых соединений, должны быть различны, во-первых, для каждого из трех изучаемых яровых злаков и, во-вторых, различны для разных этапов развития одного и того же растения.

Результаты изучения подобных зависимостей в полевых условиях составляют содержание отдельной нашей работы. Ниже приводятся некоторые данные полевых опытов с удобрениями в условиях севооборотов на дерново-подзолистой почве Долгопрудной агрохимической опытной станции НИУИФ (Московская обл.) за 1948 г., иллюстрирующие значение изменения условий питания в формировании репродуктивных органов

хлебных злаков, в частности — в изменении элементов структуры урожая.

В опыте с яровой пшеницей изучались повышающиеся дозы полного минерального удобрения (NPK) по фону извести. Почва хорошо окультуренная.

Удобрения вносились в соотношении доз N : P : K = 1 : 1.2 : 1.5, причем в сумме за севооборот внесено 1 NPK = 200 кг/га действующего начала, 2 NPK = 400 кг/га и 3 NPK = 600 кг/га.

В табл. 19 приводятся результаты структурного анализа урожая (среднее из 20 определений).

Таблица 19

Яровая пшеница (полевой опыт)

№ варианта	Варианты	Продуктивная кустистость	В колосе число			% колосков с числом зерен					Среднее число зерен в колоске
			колосков	цветов	зерен	0	1	2	3	4	
I	Без удобрения .	1.0	12.1	32.5	18.6	17.2	25.4	48.4	8.2	0.8	1.54
II	1 NPK	1.37	16.6	56.8	34.0	6.6	19.3	47.6	22.3	4.2	2.05
III	2 NPK	1.78	18.1	61.1	38.4	6.6	16.9	38.3	36.1	2.1	2.12
IV	3 NPK	2.15	17.9	70.5	43.1	3.9	10.1	45.6	29.8	10.6	2.41

Из табл. 19 можно видеть, что удобрения сказываются на всех элементах структуры урожая: с увеличением доз удобрений вдвое увеличивается продуктивная кустистость, увеличивается число колосков, цветов и зерен в колосе, а также и озерненность колосков, причем следует отметить, что озерненность колосков увеличивается за счет уменьшения процента пустых колосков и увеличения числа 3- и 4-зерных колосков, т. е. усиление питания растений способствует лучшему развитию не только растения в целом, но и органов цветка, увеличивая его фертильные[1] качества. Об этом же говорят результаты микроскопического изучения зачаточных и молодых колосьев, которое нами проводилось с растениями с этого опыта.

Значение отдельных элементов питания в формировании урожая можно видеть из данных следующих двух опытов с овсом и озимой рожью, проведенных также Долгопрудной агрохимической опытной станцией в 1948 г. в условиях травопольного севооборота, на дерново-подзолистой почве, несколько менее окультуренной, чем в предыдущем опыте.

Из табл. 20 можно видеть большое значение азота, особенно в сочетании с фосфором, в формировании крупной, хорошо озерненной метелки. Так, в варианте II без азота отмечается даже некоторое ухудшение против контроля во всех показателях метелки; в варианте III без фосфора увеличились кустистость и озерненность метелки, причем последняя — за счет уменьшения числа пустых колосков и увеличения 3-зерных колосков, что указывает на роль азота в повышении фертильных свойств цветков.

Однако азот без фосфора в условиях данной почвы не мог оказать того высокого эффекта, какого он достигает в вариантах IV и V в сочетании с фосфором: в этих случаях сохраняется его положительное действие на озерненность цветков и всей метелки и наряду с этим резко возрастает

[1] Т. е. увеличивается способность органов цветка плодоносить.

Таблица 20

Овес (полевой опыт)

№ варианта	Варианты	Продуктивная кустистость	Число в главной метелке					Число зерен в колоске
			колосков (всего)	в том числе с зернами	зерен	колосков пустых	с 3 зернами	
I	Без удобрения	1.05	19.8	19.2	37.9	0.6	2.0	1.92
II	PK	1.05	15.0	13.2	24.6	1.8	0	1.64
III	NK	1.20	18.4	18.3	38.7	0.1	4.0	2.10
IV	NP	1.40	32.1	30.1	65.2	1.0	6.0	2.03
V	NPK	1.30	33.0	32.6	66.3	0.4	3.0	2.01

число колосков в метелке и число боковых побегов, что говорит об увеличенной способности меристематических тканей растения в начале развития овса дифференцировать большое количество репродуктивных органов как на главном побеге, так и из пазушных почек нижних листьев, о чем также говорят результаты наших микроскопических изучений молодых растений овса, взятых с этого опыта.

В опыте с озимой рожью (табл. 21), проведенном в том же севообороте, что и предыдущий опыт с овсом, еще более четко выявилась роль отдельных элементов питания и значение их сочетания в питательной смеси в процессах развития и формирования репродуктивных органов. Снова отмечается значение азота в увеличении числа колосков и зерен в колоске; азот в сочетании с фосфором (вариант IV) повысил также и озерненность колоса, уменьшив процент пустых колосков. В тройных комбинациях (NPK) эти показатели достигают еще более высоких выражений.

Таблица 21

Озимая рожь (полевой опыт)

№ варианта	Варианты	Главный колос						Среднее число зерен в колоске	Боковые колосья						Среднее число зерен в колоске
		число в колосе		% колосков с числом зерен					число в колосе		% колосков с числом зерен				
		колос	зерен	0	1	2	3		колосков	зерен	0	1	2	3	
I	Без удобрения . . .	29.0	48.5	8.9	22.0	70.1	0	1.67	20.5	13.9	45.4	39.6	15.0	0	0.68
II	PK	30.1	49.4	9.0	15.7	74.6	0	1.64	22.4	22.6	32.5	34.5	33.0	0	1.01
III	NK	35.2	63.0	4.5	12.2	83.3	0	1.79	24.2	17.5	50.5	28.6	20.9	0	1.72
IV	NP	34.4	63.8	2.0	10.9	86.9	0.2	1.85	21.2	20.9	35.3	31.1	33.6	0	0.98
V	NPK . . .	36.9	70.8	1.0	7.2	91.8	0	1.92	29.9	34.4	24.8	33.8	41.4	0	1.15
VI	NP_2K . . .	37.3	69.6	1.6	11.4	86.4	0.6	1.86	30.6	36.6	27.9	25.7	46.4	0	1.20
VII	N_2PK . . .	36.6	68.8	1.1	10.1	88.8	0	1.88	33.2	51.0	14.3	18.1	67.6	0	1.53

В этом опыте обращают внимание еще следующие два обстоятельства.

Как известно, многоцветковые колоски ржи дают обычно лишь два зерна. Это происходит потому, что на очень ранних фазах развития третий и последующие цветки многоцветковых колосков ржи отмирают. Однако

в варианте VI, где на фоне азотно-калийного удобрения усилена доза фосфорного удобрения, обнаружены несколько случаев появления 3-зерных колосков в средней части колоса. Следовательно, можно условиями питания изменить фертильные качества третьих цветков ржаного колоса, причем усиление фосфатного питания на фоне обеспечения азотом и калием может служить одним из факторов такого воздействия.

Вторым моментом, обращающим на себя внимание, является действие усиленной дозы азота на развитие и озерненность боковых колосьев. Так, в варианте VII, где дана удвоенная доза азота на фосфорно-калийном фоне при малых отличиях в главном колосе по сравнению с вариантом V, можно видеть, что боковые колосья только в этом варианте из всего опыта достигли такого хорошего развития, что по всем показателям и особенно по озерненности сравнялись с главными колосьями.

Таким образом, изменяя условия питания, приурочивая их к определенным фазам развития, с учетом особенностей возделываемых растений, мы можем направлять формирование урожая в заданном нами направлении, используя разнообразные биологические свойства растительного организма.

ВЫВОДЫ

Вегетационные опыты, проведенные с четырьмя растениями — яровой пшеницей, овсом, просом и махоркой, а также и полевые опыты позволяют сделать следующие выводы о влиянии азотного питания на развитие растений.

1. Периодические изменения в азотном питании растений влияют на темп их развития, на интенсивность роста и величину урожая.

2. Азотное питание по-разному влияет на темп прохождения фаз у разных растений. Наступление времени цветения зависит от изменения темпа предыдущих этапов развития растения.

3. При обеспеченности другими факторами, кроме азотного питания, для прохождения стадий яровизации и световой, недостаток азота вызывает ускоренное окончание жизнедеятельности меристемы верхушечных точек роста стебля, прекращение функции образования новых органов, уменьшение числа их, а усиление азотного питания удлиняет срок деятельности меристемы и увеличивает число образованных органов.

4. Биологические особенности растений выявляются также и в способности меристематических тканей точек роста: 1) различно длительно противостоять ухудшению внешних условий и 2) с различной активностью реагировать на улучшение этих условий.

5. Степень резкости реагирования растения на условия азотного питания зависит от вида растений и этапа их онтогенетического развития и, следовательно, от возраста верхушечных точек роста стебля; причем важно, когда происходят эти воздействия: до начала дифференциации соцветия или в период ее.

6. У овса, по сравнению с яровой пшеницей и просом, при ухудшении азотного питания сильнее нарушается жизнедеятельность верхушечных точек роста стебля, особенно при недостатке азота в первый период — до начала дифференциации соцветия, что выражается в резком уменьшении числа колосков, ускорении всего цикла развития и уменьшении урожая.

7. Точки роста стебля яровой пшеницы способны несколько больше противостоять недостатку азота, чем точки роста овса. Временное торможение дифференциации соцветия является следствием этой особенности точек роста стебля яровой пшеницы.

8. Просо, а также и махорка, хотя и реагируют резкой приостановкой процессов роста и развития на недостаток азота в первый период жизни, но их точки роста стебля относительно долго сохраняют способность перейти к последующим фазам развития при улучшении азотного питания.

Более старая меристема проса (в период дифференциации соцветия) реагирует на недостаток азота так же резко, как и у овса (в первый период),— ускорением окончания своей жизнедеятельности, уменьшением числа образованных органов и ускорением прохождения оставшихся фаз развития.

9. Усилением азотного питания можно удлинить срок жизнедеятельности точек роста стебля и соцветий, что приводит к увеличению числа образовавшихся органов, к увеличению урожая и изменению темпа прохождения фаз.

10. Наиболее эффективным в целях повышения урожая является усиление азотного питания к началу периода дифференциации соцветия. Для яровой пшеницы и овса этот период соответствует фазам не позже 3 листьев, а для проса — не позже 5 листьев.

11. Боковые побеги в основном повторяют биологические особенности главных стеблей данного вида растений, но с различиями во времени развития боковых побегов по ярусам.

12. Условия питания, измененные с учетом особенностей возделываемых растений и фаз их развития, являются мощным фактором направленного формирования растительного организма.

ЛИТЕРАТУРА

Александров В. Г. и Александрова О. Г. Морфология завязи и молодого плода пшеницы. ДАН СССР, т. 23, в. 4, 1939.

Александров В. Г. и Александрова О. Г. Анатомия зерна пшеницы. Тр. Прикл. бот., ген. и сел., сер. V А, № 2, 1936.

Вейдеман М. Г. Микроморфологическое исследование колосков ржи и пшеницы. Зап. Ленингр. с.-х. инст., каф. ген. и сел., т. 1, в. 11, 1940.

Вильямс В. Р. Почвоведение. 1947.

Заблуда Г. З. Формирование вегетативных и генетических органов у пшеницы и ржи при замедленном темпе их развития. ДАН СССР, т. 26, № 9, 1940.

Иванов Н. Н. и Княгиничев М. И. Биохимия пшеницы. Сб. «Биохим. культ. раст.», т. 1, 1936.

Иванов Н. Н. Проблема белка в растениеводстве. Сб. «Биохим. культ. раст.», т. 8, 1948.

Княгиничев М. И. Проблема изменчивости белка в растениеводстве. Сб. «Биохим. культ. раст.», т. 8, 1948.

Княгиничев М. И. Белок в зерне пшеницы Сов. Союза. Изв. АН СССР, отд. биол., 1939.

Кудрявцева М. А. Биохимия проса. Сб. «Биохим. культ. раст.», т. 1, 1936.

Куперман Ф. М. О морфологической изменчивости озимых пшениц в связи с условиями прохождения II стадии развития. Яровизация, № 1, 1941.

Лишкевич М. И. Биохимия овса. Сб. «Биохим. культ. раст.», 1936.

Лысенко Т. Д. Агробиология, 1948.

Минина Е. Г., Игрицкая Е. Б., Мацкевич П. П. Влияние влажности почвы и воздуха и температуры воздуха на образование колосков в колосе пшеницы. ДАН СССР, т. 26, № 2, 1940.

Мичурин И. В. Сочинения, 1948.

Пряшников Д. Н. Юбилейный сборник к 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции. АН СССР, т. II, 1947.

Саногин А. А. Ход развития колоса. ДАН СССР, т. 18, № 3, 1938.

Церлинг В. В. Влияние азотного питания на обмен веществ и развитие репродуктивных органов яровых злаков, 1950. (В печати).

Чижов Б. А. Особенности роста листьев яровой пшеницы и влияние на них азотного питания. ДАН СССР, т. II, № 4, 1946.
Яковлев М. С. Число сосудисто-волокнистых пучков в ячмене и овсе. ДАН СССР, т. 17, № 1—2, 1937.
Bonnet O. T. The development of the barley spike, vol. 51, N 5. Journ. Agr. Res., 1935.
Bonnet O. T. The development of the wheat spike, vol. 53, N 6. Journ. Agr. Res., 1936.
Bonnet O. T. The development of the oat panicle, vol. 54, N 12. Journ. Agr. Res., 1937.
Percival V. The wheat plant. London, 1924.
Schuster. («Внутренняя морфология завязи злаков»). Flora. 1909.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Н. С. ТУРКОВА

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕВРАЩЕНИЯ АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ И РОСТ РАСТЕНИЙ

Едва ли можно сомневаться в том, что от интенсивности и направленности окислительных процессов в тканях растений в значительной степени зависит характер роста и формообразования.

Опыты Таусона (1944) показали влияние условий аэрации на формообразовательные процессы в черенках корней кок-сагыза: в зависимости от кислородного снабжения из каллюса черенков можно было получить придаточные корни или зачатки листьев.

Наши наблюдения и исследования (Туркова, 1940, 1944, 1945) над изменением наклона к вертикали побегов и листьев растений привели к заключению о зависимости между особенностями окислительно-восстановительной системы тканей и характером ростовых реакций. Подобных примеров можно привести много.

Однако характер взаимосвязи, существующий между окислительными процессами, протекающими в тканях, и особенностями роста и формообразования, еще далеко не ясен. Уяснение характера этой зависимости дало бы возможность влиять на процессы роста при помощи воздействия на окислительные процессы.

Прежде всего, необходимо иметь отчетливое представление о том, какой характер дыхательного процесса наиболее благоприятствует синтезу белковых веществ, как основе новообразования живого вещества; имеющиеся по этому вопросу данные противоречивы.

Относительно влияния окислительно-восстановительных условий на направленность ферментативной деятельности целым рядом работ установлено, что воздействие восстановителя (SH-соединениями и т. п.) усиливает гидролитическую активность, тогда как окислители способствуют синтетическим процессам.

По поводу протеолитических ферментов подобное положение было установлено Мотесом (1933), Благовещенским (1936) и др. Однако это положение справедливо лишь в определенном, довольно ограниченном смысле.

Если проследить особенности окислительных процессов разных тканей в разные периоды жизни растений, то не удается обнаружить прямой зависимости между активностью дыхания и синтезом белковых веществ. При прорастании семян (или других органов) в тканях, содержащих запасные питательные вещества, происходит довольно интенсивное дыхание. Согласно исследованиям Прянишникова (1895), кривая дыхания прора-

стающих семян вики соответствует кривой распада белка. В меристематических тканях, согласно исследованиям Руланда и Рамсгорна (1938) и Смирнова (1943), поглощение кислорода идет относительно слабо, дыхание носит характер «аэробного брожения». Известно также, по данным Кидда и Веста (1934), что для развертывания почек многих деревьев (каштан и др.) является оптимальным пониженное содержание кислорода (2—10%). Процесс созревания плодов и старения вегетативных органов ускоряется такими агентами, как этилен, действие которого характеризуется активированием дыхания, усилением активности оксидаз, т. е. стимуляцией преимущественно заключительной фазы дыхания — необратимых окислений (Туркова, 1945). Согласно Курсанову (1935) и др. для этилена характерно усиление гидролитических процессов.

В литературе имеется также много указаний на то, что при условиях, неблагоприятных для роста, наблюдается высокая активность окислительных процессов.

Таусон приводит факты, показывающие, что при применении ингибитора для цитохромоксидазы при значительной общей активности окислительных процессов (очевидно, за счет активирования других систем) синтетические процессы и рост мицелия Aspergillus fl. более или менее подавляются. Дюфренуа (1925) отмечает угнетение роста междоузлий сахарного тростника при активировании оксидаз. Ван-Овербек (1938) обнаружил в карликовом сорте кукурузы повышенную активность оксидаз. Гребинский (1945) при изучении особенностей биохимизма высокогорных растений нашел, что неблагоприятные экологические условия способствуют большой напряженности окислительных процессов.

В опытах 1946—1947 гг., изучая влияние соотношения K и Ca на обмен веществ в проростках пшеницы, мы сопоставляли действие изучаемых факторов на азотный обмен с изменениями в характере окислительных процессов, и между ними обнаружилась определенная зависимость.

Результаты опытов показали, что накопление амидов в проростках идет тем сильнее, чем активнее окислительные процессы (дыхание, активность оксидаз) и чем меньше сумма органических кислот. В то же время активность синтеза белковых веществ в растениях, выдерживаемых при различном ионном составе среды (в условиях нормального снабжения кислородом и при одинаковом возрастном состоянии), изменяется, как правило, параллельно активности каталазы и восстановительной активности тканей и, повидимому, до известного предела находится в обратной зависимости от активности заключительных фаз дыхания. При отклонениях от оптимального состава питательной среды наблюдаются, как правило, усиление дыхания, уменьшение содержания органических кислот и некоторое ослабление восстановительной активности тканей. Значение промежуточных продуктов дыхания для биологических синтезов отмечал Буткевич (1940).

Таким образом, для прогрессивного синтетического направления превращений азотистых веществ в растениях чрезвычайно существенным внутренним фактором является способность тканей в условиях высокой активности обмена веществ противостоять слишком быстрому окислению углерода до CO_2.

Положительное действие калия на синтез белковых веществ, не раз отмечавшееся в литературе, согласно нашим данным, связано с усилением восстановительной активности, увеличением суммарной емкости обратимых окислительно-восстановительных систем в тканях и ослабленной активностью необратимых окислений.

С нашими выводами вполне согласуются данные работы В. В. Яковлевой (1950) по изучению обмена веществ в растениях, выращиваемых при различном снабжении бором. Ее исследования показывают, что оптимальные дозировки бора способствуют понижению активности оксидаз и энергии дыхания и повышению активности каталазы. Недостаток бора и его избыток, т. е. отклонения в ту или иную сторону от оптимальных дозировок, приводят к активированию окислительных процессов.

В наших опытах 1948 г. изучались следующие вопросы:

1. Влияние снабжения фосфором на действие соотношения K и Ca на обмен веществ проростков. Ввиду того, что опыты прошлого года проводились без дополнительного внесения фосфора, нужно было испытать варьирование дозировок K и Ca, вносимых в форме фосфатов.

2. Влияние соотношения анионов Cl и SO_4 в питательном растворе на азотный обмен и дыхание.

3. Проверка закономерностей в обмене веществ, выявленных в опытах с проростками пшеницы, на других растениях, отличающихся химическим составом запасных питательных веществ.

. . . . . .

СХЕМА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Как и в предыдущие годы, опыты проводились с проростками, выдерживаемыми на парафинированных сетках, покрывающих стеклянные кристаллизаторы (1 или 2 л) с питательными растворами. Продолжительность опыта была обычно 4 дня (96 часов).

Предварительно семена проращивались на дистиллированной воде (только в опыте с люпином пришлось использовать водопроводную воду, так как корни растений сильно страдали на дистиллированной воде).

Схема опыта была следующая:

I. Контроль
II. K_5
III. K_4Ca_1 — Аналогично изменялось соотношение Cl и SO_4
IV. $K_{2,5}Ca_{2,5}$ — в опытах с испытанием соотношения анионов
V. K_1Ca_4
VI. Ca_5

(Цифровые индексы показывают число миллиэквивалентов на 1 литр питательного раствора).

Опыты проводились на свету и в темноте. После опыта растения снимались с сетки, обмывались и частично шли на анализы. Часть материала обычно фиксировалась в сушильном шкафу и сохранялась для анализов, которые можно проводить на сухом материале.

В растворах учитывалось содержание NH_4, NO_3 и pH; аммиак учитывался колориметрически — по Несслеру, нитраты — колориметрически с дисульфофеноловой кислотой. Общий азот — по Кьельдалю; азот белков осаждался по Барнштейну; азот аммиака определялся отгонкой в аппарате Парнаса. Амиды — отгонкой аммиака в аппарате Парнаса до и после гидролиза с серной кислотой (3%) на кипящей водяной бане в течение $1^1/_2$ часов.

Дыхание определялось по методу Бойсен — Иенсена, разработанному для проростков; полифенолоксидаза — с гваяковой смолой, дегидраза — по Тунбергу, сахара — по Бертрану, калий — кобальтнитритным методом, кальций — осаждением щавелево-кислым аммонием.

Влияние соотношения калия и кальция в питательном растворе при обильном
ние

Источник азота — NH_4NO_3;

№ варианта	Варианты	мг сухого вещества на 200 растений	Азот общий		Азот белковый		Азот раствор. небелковый	
			%	мг	%	мг	%	мг
I	Контроль K_0Ca_0	2303	5.82	124.0	3.61	84.3	2.21	39.7
II	K_5Ca_0	2764	6.24	155.0	3.87	98.2	2.37	56.8
III	K_4Ca_1	2890	6.36	168.8	3.96	104.8	2.39	64.0
IV	$K_{2.5}Ca_{2.5}$	3230	6.60	174.4	4.15	133.3	2.45	41.1
V	K_1Ca_4	3015	6.19	172.1	4.02	127.7	2.17	44.4
VI	K_0Ca_5	2824	6.37	162.2	3.78	117.6	2.59	44.5

Влияние соотношения Cl и SO_4 при оптимальном соотношении K и

Источник азота — NH_4HCO_3 +

№ варианта	Варианты	мг сухого вещества на 200 растений	Азот общий		Азот белковый		Азот раствор. небелковый	
			%	мг	%	мг	%	мг
I	Контроль без исп. солей	2284	4.40	100.5	3.49	81.5	0.91	21.3
II	Cl_5	2774	4.34	120	3.32	92	1.02	28.3
III	$Cl_4[SO_4]_1$	2950	4.53	134	3.70	109	0.83	24.5
IV	$Cl_{2,5}[SO_4]_{2,5}$	3045	4.46	136	3.57	108.5	0.89	27.1
V	$Cl_1[SO_4]_4$	3072	4.38	135	3.50	108	0.88	27.1
VI	$[SO_4]_5$	3163	4.43	140	3.52	111.5	0.91	28.8

Влияние соотношения K и Ca в питательном растворе

Источник азота — NH_4NO_3, доба

№ варианта	Варианты	Абсолютно-сухой вес 100 растений						Отношение веса ростков к весу семядолей
		ростков (без семядолей)		семядолей		общий вес		
		г	% к контролю	г	% к контролю	г	% к контролю	
I	Контроль K_0Ca_0	3.267	100	5.316	100	8.583	100	0.62
II	K_5Ca_0	3.759	115	5.477	103	9.236	108	0.68
III	K_4Ca_1	4.631	142	5.092	96	9.723	113	0.91
IV	$K_{2,5}Ca_{2,5}$	6.174	189	5.410	102	11.583	135	1.14
V	K_1Ca_4	4.182	128	4.920	93	9.102	106	0.85
VI	K_0Ca_5	3.597	110	5.310	100	8.907	104	0.68

Таблица 1

снабжении фосфором на азотный обмен и окислительные процессы в проростках
ницы
pH = 6.3; на свету

% азота белкового от общего	Азот амидов		Дыхание		Активность полифенолоксидазы		Активность дегидразы	
	%	мг	мг CO_2 за 1 час на 100 г	% к контролю	время посинения, мин.	% к контролю	время обесцв., мин.	% к контролю
62.1	1.11	18.2	121.0	100	25	100	30.0	100
61.9	0.85	21.3	104.5	83	36	70	37.5	80
62.5	0.98	21.0	99.0	81	28	91	36.0	82
62.9	0.90	26.0	99.0	81	36	71	37.5	80
65.0	1.05	28.6	101.8	84	26	98	33.3	90
59.3	1.14	31.9	113.3	94	23	108	30.5	98

Таблица 2

Ca на азотный обмен и энергию дыхания проростков пшеницы.
CO_2; pH = 6.5

% азота белкового от общего	Азот аммиачный		Азот амидов		Азот аминокислот (по остатку)		Дыхание	
	%	мг	%	мг	%	мг	мг CO_2 за 1 час на 100 г	% к контролю
79	0.0451	1.05	0.636	14.9	0.229	5.35	122	100
76.5	0.0312	0.87	0.588	16.3	0.290	8.04	93.5	65.5
81	0.0312	0.73	0.575	16.9	0.223	6.57	95.7	78
80	0.0262	0.80	0.690	21.0	0.175	5.33	96.8	79
80	0.0211	0.65	0.763	23.4	0.103	3.15	95.8	78
79.5	0.0274	0.87	0.593	18.8	0.290	9.18	99.5	81.5

Таблица 3

на рост, азотный обмен и дыхание проростков люпина
влиялись сульфаты K и Ca; в темноте

Азот белковый				Азот амидов				Дыхание ростков	
ростков		семядолей		ростков		семядолей			
%	мг в 100 растениях	%	мг в 100 растениях	%	мг в 100 растениях	%	мг в 100 растениях	мг CO_2 за 1 ч. на 100 г	% к контролю
2.76	90.1	3.85	204.7	0288	9.41	0.58	31.0	30.1	100
2.93	110.2	3.71	203.3	0312	11.7	0.77	42.3	26.5	88
2.69	124.6	3.46	176.2	0301	13.9	0.45	23.0	22.9	76
2.90	164.4	3.85	208.3	0333	20.6	0.68	37.1	22.3	74
2.77	115.9	3.62	178.1	0313	13.1	0.83	40.9	29.1	97
3.15	113.3	3.98	211.3	0329	11.8	0.73	38.8	28.5	94

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты проведенных исследований сведены в табл. 1—3. Как видно из приведенных данных, изменение соотношения калия и кальция при обильном снабжении фосфором выявило те же основные закономерности действия изучаемых катионов, которые отмечались и в опытах с сульфатами и хлоридами данных катионов в предыдущие годы, а именно: с повышением дозы калия в сумме катионов в общем падает активность окислительных процессов (дыхание, активность окислительных ферментов) и параллельно снижается содержание амидов в растениях (табл. 1).

С повышением доли кальция в сумме катионов возрастает активность окислительных процессов и увеличивается содержание амидов.

Наибольшее накопление белковых веществ в растениях происходит в средних вариантах схемы (IV и V), где оба катиона имеются в питательной среде в достаточном количестве. Однако при условиях обильного снабжения фосфором повышение доли кальция в сумме катионов вызывает меньшее активирование окислительных процессов, чем обычно наблюдается у проростков пшеницы без дополнительного внесения фосфора. Этому соответствуют и меньшие различия в содержании амидов. Как и в прочих опытах, максимальному накоплению белков соответствует наиболее сдержанная активность окислительных процессов.

В опытах с изменениями соотношения анионов Cl' и SO'_4 (табл. 2) обнаружено, что с повышением доли SO_4 в сумме анионов возрастает как общее накопление сухого вещества, так и накопление белкового азота. Но в общем характере обмена веществ и, в частности, в энергии дыхания (табл. 2) не обнаружено значительных различий при изменении соотношения Cl и SO_4. Внесение хлоридов и сульфатов калия и кальция, которое везде производилось при сохранении оптимального соотношения K : Ca = = 1 : 1, снижало энергию дыхания по сравнению с контролем (NH_4HCO_3 + + CO_2 без изучаемых солей K и Ca) до 76.6—81.5%.

Повидимому, изменение соотношения анионов Cl' и SO'_4 влияет на дыхание значительно менее, чем варьирование соотношения катионов $K^{\cdot}$ и $Ca^{\cdot\cdot}$. В общем этот опыт также показывает, что оптимальный состав питательной среды отнюдь не вызывает повышения энергии дыхания. Скорее имеет место обратная зависимость: дефицит необходимых питательных элементов приводит к активированию окислительных процессов.

Проверка настоящего положения о связи дыхания с активностью синтетических процессов и ростом растений на другом растении — люпине — показала следующее (табл. 3).

Добавление сульфатов калия и кальция к раствору азотнокислого аммония во всех случаях вызвало усиление процессов новообразования живого вещества — рост новых тканей (развитие ростков) без существенных изменений интенсивности использования сухого вещества семядолей. Оптимальным для роста ростков является вариант, где соотношение K : Ca = 1 : 1. Крайние варианты K_5 и Ca_5 отстают от средних. Сравнивая данные по весу ростков с цифрами энергии дыхания (выделения CO_2), можно видеть, что усиление роста при внесении солей K и Ca не только не повысило активности окислительных процессов, но даже заметно понизило их. Так, по варианту $K_{2\cdot5}Ca_{2\cdot5}$, где рост растений был максимальным, дыхание наиболее слабое— 74% от контроля.

Таким образом, проростки растения люпина, резко отличающиеся от пшеницы по химическому составу запасных питательных веществ семени (крайне мало углеводов), при прорастании в темноте, т. е. в условиях сильного углеводного голодания, обнаружили такую же зависимость

процесса новообразования живого вещества от характера дыхательного процесса, как и проростки пшеницы: ионный состав среды, характеризуемый дефицитом отдельных минеральных элементов, вызывает повышение активности окислительных процессов, тогда как благоприятное для синтетических процессов соотношение минеральных питательных веществ приводит к некоторой сдержанности дыхания.

Интересно сопоставить данные, характеризующие взаимосвязь окислительных процессов и направленности обмена азотистых веществ с действием на процесс роста и обмен веществ некоторых восстановителей. Приведем данные по изучению действия этилена на прорастание клубней и корней, проводившемуся в 1942—1943 гг. в Казахстанском филиале АН СССР (частично опубликовано ранее — Туркова, 1945). Задача работы — найти способ химического воздействия, тормозящий прорастание верхушечных почек корней сахарной свеклы. Для данной цели изучался целый ряд химических агентов, действующих на прорастание, в частности этилен. Кроме корней свеклы, в качестве опытных объектов были взяты клубни топинамбура и чины. Для изучения действия этилена применялись стеклянные колокола емкостью 15 л, под которые на легкие деревянные этажерки с сетками укладывались корни (или клубни). Края колоколов ставились в вырезанные в подставке желоба, заливаемые перед опытом парафином. Через трубки, проведенные в отверстия подставок, под колокол вводился газ. Создание нужных концентраций достигалось предварительным отсасыванием определенного объема воздуха, что контролировалось манометром.

Для изучения действия разных доз этилена на обмен веществ периодически брались средние пробы для химического анализа (табл. 4—7).

Таблица 4

Влияние этилена на прорастание.
Сахарная свекла, 19—22° С, опыт 1

Концентрация этилена	% прорастания				Состояние проростков
	1-й день	4-й день	6-й день	8-й день	
Контроль без этилена	20	30	40	65	Нормальное
24 часа в этилене 0.01%	40	45	55	75	Слегка задержано развитие
То же >0.1%	15	25	45	45	Сильно угнетены
» » 1.0%	0	0	5	10	Едва показываются

Таблица 5

Влияние этилена на прорастание.
Клубни топинамбура, 19—25° С

Концентрация этилена	% прорастания			Среднее число проростков на 1 клубень	Состояние проростков
	3-й день	5-й день	7-й день		
Без этилена	10	30	50	0.86	Нормальное
24 часа в этилене 0.01%	8	44	53	0.98	Нормальное
То же 0.1%	25	68	70	2.08	Задержано развитие
» » 1.0%	0	15	30	0.58	Очень сильно угнетены

Таблица 6

Влияние этилена на рост проростков.

Клубни чины. 23—27° С. Поставлено в этилен 1/VII, вынуто из этилена 8/VII

Концентрация этилена	% проросших клубней			Среднее число проростков на 1 клубень	Длина проростков	
	6/VII	10/VII	14/VII		средняя	максимальная
Без этилена	29.3	50.0	55.0	1.41	1.08	6.30
Этилен 0.01%	48.7	66.7	70.0	2.43	0.62	3.40
» 0.1%	65.0	70.0	80.0	1.81	0.35	1.80
» 1.0%	19.5	85.7	55.0	1.78	0.17	0.80

Таблица 7

Обмен веществ в прорастающих корнях сахарной свеклы через пять дней после суточной обработки этиленом

Концентрация этилена	Часть корня	Содержание аминного азота, мг-% на абс.-сух. вещество	Отношение аминного азота к белковому	Содержание редуцир. сахаров, % на абс.-сух. вещество	Отношение редуцир. сахаров к сахарозе	Активность ферментов, % к контролю			Действие на прорастание
						дегидразы	каталазы	пероксидазы	
Контроль без этилена	Головка	68.8	0.17	15.5	0.32	100	100	100	Прорастание нормальное
	Тело	73.7	0.19	9.33	0.16	100	100	100	
Этилен 10^{-5} . .	Головка	98.7	0.19	9.31	0.16	100	121	143	Начало прорастания ускорено без угнетения проростков
	Тело	68.9	0.16	7.48	0.11	123	63	178	
Этилен 10^{-4} . .	Головка	144.5	0.33	23.3	0.49	82	83	133	Начало прорастания сильнее ускорено, но задерживается развитие ростков
	Тело	119.9	0.30	7.29	0.11	128	62	166	
Этилен 10^{-3} . .	Головка	135.9	0.30	24.4	0.59	72	69	148	Прорастание задержано
	Тело	105.0	0.26	7.75	0.12	135	67	151	
Этилен 10^{-2} . .	Головка	108.5	0.26	26.16	0.87	50	57	92	Прорастание совсем прекратилось
	Тело	83.9	0.21	9.74	0.15	146	73	198	

В табл. 7 приводим данные по наиболее характерным показателям на 5-й день после обработки этиленом. Сахара определялись по Бертрану, белковый азот — по Барнштейну, аминный азот — медным методом (Поп, 1939), каталаза — по Баху и Опарину, дегидраза — по Тунбергу, пероксидаза — объемным методом.

Как видно из представленных в табл. 7 данных, действие этилена на рост и обмен веществ зависит от концентрации газа и от свойств растительных тканей, подвергаемых его воздействию. Так, очень слабые концентрации (для свеклы 10^{-5} объем) ускоряют начало прорастания, не угнетая ростков. С дальнейшим повышением концентрации этилена усиливается ускоряющее действие на начало прорастания, но начинает тормозиться рост ростков (для свеклы 10^{-4}), при дальнейшем повышении (для свеклы 10^{-3}) тормозится и начальная фаза прорастания и, наконец, очень высокие концентрации (для свеклы 10^{-2} при суточном действии) полностью прекращают рост. Таким образом, для этилена характерно более или менее угнетающее действие на развитие ростков, но при слабых концентрациях он способен ускорять начало прорастания.

Результаты биохимических исследований вполне согласуются с характером действия на рост: начиная с концентрации 10^{-5}, этилен активирует гидролитические процессы в головке корня, что, согласно существующим представлениям, отвечает свойствам восстановителя.

Влияние этилена на рост появляющихся проростков наиболее четко выявилось в опытах с клубнями чины, у которых легко было учесть размеры проростков.

С повышением концентрации этилена уменьшается длина проростков, даже при значительном ускорении начала прорастания.

В комплексе окислительных ферментов наблюдались существенные изменения. Каталаза везде была более или менее угнетена (слабо активирована в головке корня при наиболее слабой из испытанных концентраций). В то же время пероксидаза почти везде значительно активирована. Отсутствие активирования пероксидазы наблюдалось лишь в головке корня при очень высокой концентрации. Сильное активирование пероксидазы вполне согласуется с тем фактом, что мязга и вытяжка этиленизированных корней тем скорее темнела на воздухе, чем выше была применяемая концентрация газа. Активирующее действие этилена на пероксидазу и угнетающее — на каталазу отмечалось и на других объектах: Асмаев (1937) наблюдал подобное явление на этиленизированных листьях табака. В наших исследованиях прошлых лет (1940, 1942) в результате обработки этиленом помидоров и табака наблюдалось уменьшение содержания аскорбиновой кислоты и редуцирующей активности тканей. Активность дегидраз под действием этилена также значительно изменяется, но направление этих изменений в головке корня иное, чем в остальной массе. В головке дегидразы более или менее угнетены, тогда как в теле с повышением концентрации этилена наблюдается все большее активирование.

Если сравнить ход превращений азотистых веществ и сахаров, то наблюдаются определенные различия в поведении этих групп веществ. Содержание аминного азота и его отношение к белковому в этиленизированных корнях, начиная с концентрации 10^{-4}, везде более или менее возрастает, что говорит об усилении протеолиза. В то же время заметное увеличение содержания моноз, усиливающееся повышением концентрации этилена, обнаружено только в головках корней, в теле корня гидролиза сахарозы нигде не наблюдается.

Таким образом, между изменениями в активности гидролиза сахарозы и протеолитических процессов нет параллелизма. В соответствии с нашими ранее опубликованными данными (Туркова, 1947, 1949) уменьшение белкового азота наблюдалось во всех случаях, где соотношение активности

каталазы и пероксидазы изменялось в сторону усиления последней. В то же время в превращениях сахаров наблюдается определенная зависимость от активности дегидраз; гидролиз сахарозы усиливается там, где угнетены дегидразы — в головках этиленизированных корней, начиная с концентрации этилена 10^{-4}. В теле корней, где дегидразы везде были более или менее активированы, гидролиза сахарозы нигде не обнаружено.

Подобные различия в оптимальных условиях окислительного режима тканей для направленности азотного и углеводного обмена наблюдаются обычно и при изучении влияния факторов минерального питания. Для сопоставления приведем данные, полученные в опыте с проростками пшеницы, выдерживаемыми 4 дня на растворе $NH_4HCO_3 + CO_2$ (pH = 6.5) с добавлением сульфатов калия и кальция в разных соотношениях (табл. 8).

Таблица 8

Обмен веществ в проростках пшеницы после 4 дней пребывания в растворе $NH_4HCO_3 + CO_2$ с добавлением сульфатов K и Ca, в темноте

№ варианта	Варианты	Содержание в % на абс.-сух. вещество		Содержание сахаров				мг азота белков в 200 растениях	% белков азота от общего азота	мг азота амидов на 200 растений	Сумма органических кислот мг-% на сырой вес	Интенсивность дыхания % ($K_0 = 100$)	Активность ферментов, % к контролю		
				% на абс.-сух. вещество											
		K_2O	CaO	Сумма	Редуцир.	Сахароза	Отнош. редуцир. к сахарозе						дегидразы	каталазы	пероксидазы
I	K_0Ca_0	1.28	0.35	1.68	1.48	0.20	7.40	41.5	52	9.0	0.25	—	100	100	100
II	K_3Ca_0	4.39	0.32	3.18	2.60	0.580	4.48	65.2	59	7.4	1.97	100	87	111	90
III	K_4Ca_1	4.77	0.31	2.80	2.57	0.225	11.42	77.8	61	22.8	—	73	78	126	81
IV	$K_{2,5}Ca_{2,5}$	3.52	0.455	3.08	2.88	0.205	14.05	94.6	63	18.2	1.27	76	65	146	70
V	K_1Ca_4	3.73	0.535	3.59	3.10	0.49	6.33	79.3	59	27.7	—	110	128	127	136
VI	K_0Ca_5	2.24	0.585	2.83	2.95	0.88	3.35	55.6	57	30.0	0.33	117	129	111	115

Содержание сахарозы следует за изменениями активности окислительных процессов, тогда как для синтеза белков благоприятна высокая активность каталазы и повышение величины отношения редуцирующих сахаров к сахарозе, т. е. усиление восстановительных свойств.

Вернемся к опытам с этиленом. Для действия этилена на растительные ткани, повидимому, характерно усиление заключительной, оксидазной фазы дыхания. В некоторых тканях (например, головка корня свеклы) активирование оксидаз сопровождается угнетением дегидраз, тогда как в других (например, тело корня свеклы) дегидразы также несколько активируются. Представляет большой интерес то, что этилен по своей химической природе будучи восстановителем, в тканях растений активирует необратимые окисления, угнетая восстановительную способность тканей. Как показали наши прежние исследования (Туркова, 1942), гетероауксин (β-индолилуксусная кислота), также обладая восстановительными свойствами, действует сходно с этиленом как в отношении формативных реакций, так и по влиянию на обмен веществ.

Следует различать две группы физиологически активных восстанавливающих веществ, резко отличающихся по своему действию на обмен веществ и рост растений. К первой группе относятся восстановленные формы обратимых окислительно-восстановительных систем — аскорбиновая кислота, редуцирующие сахара, полифенолы и т. п. Содержание этих веществ определяет редуцирующую способность тканей, уровень которой, повидимому, имеет очень большое значение для активности синтеза белковых веществ и роста. Замедляя ход окислительных процессов в тканях, редуцирующие вещества этой группы создают возможность большего применения для биологических синтезов промежуточных продуктов окисления — органических кислот и др. и обеспечивают лучшее использование освобождающейся при дыхании энергии. Эти вещества можно назвать восстановителями-активаторами.

Ко второй группе относятся восстанавливающие вещества, действующие односторонне. Они также оказывают большое влияние на окислительные процессы в живых клетках, но это влияние совершенно иного порядка. Их действие характеризуется активированием необратимых окислений при большем или меньшем угнетении обратимых окислительно-восстановительных систем. Сюда относятся, например, этилен (повидимому, и другие непредельные углеводороды), гетероауксин в определенных концентрациях и т. п. Эти вещества обычно неблагоприятны для синтеза белков, их можно было бы называть восстановители-инактиваторы.

Несмотря на совершенно различную физиологическую роль восстановителей этих двух групп, между ними, повидимому, существуют взаимные переходы, определяемые количественными соотношениями и прочими условиями. Так, соединения с сульфгидрильной группой, являясь компонентами обратимых систем, накапливаясь в большом количестве, способны усиливать протеолитические процессы. В то же время этилен при применении в очень слабой концентрации не вызывает угнетения роста и даже несколько снижает величину отношения аминного азота к белковому, т. е. действует сходно с восстановителями-активаторами.

Соотношение содержания в тканях восстановителей названных групп и характер их взаимодействия, повидимому, в значительной мере определяют направленность обмена веществ и вместе с тем темпы и характер процессов роста. Когда Мотес (1933) и др. говорит о значении для протеолиза неспецифических редуцирующих условий, то здесь речь идет, с нашей точки зрения, о восстановителях-инактиваторах, в качестве которых, как мы уже указывали, способны, накапливаясь, действовать SH-соединения. Для мобилизации резервных веществ, как мы видели в опытах с этиленизированной свеклой, благоприятно воздействие восстановителей-инактиваторов или минеральных веществ, подобно кальцию, стимулирующих необратимые окисления. В то же время для роста молодых органов, проростков и т. п. нужна высокая восстановительная способность тканей, т. е. наличие восстановителей-активаторов. Преобладание калия в сумме катионов, усиливая восстановительные свойства, не стимулирует мобилизации запасных питательных веществ, но способствует новообразованию живого вещества — росту развивающихся ростков, создавая благоприятный для синтеза белка замедленный ход дыхания. Ранее нами было показано (Туркова, 1940, 1942), что опрыскивание растений растворами восстановителей-инактиваторов (этилена, гетероауксина в высоких концентрациях) благоприятно действует также на налив и скорость созревания плодов, усиливая отток питательных веществ из листьев, старение которых ускорялось.

ВЫВОДЫ

1. При изменении условий минерального питания проростков при нормальном доступе кислорода наиболее активный синтез белковых веществ, как правило, наблюдается при пониженной энергии дыхания и при наибольшей восстановительной активности тканей. Проростки семян с различным составом запасных питательных веществ (пшеница, люпин) ведут себя в этом отношении сходно.

2. При обильном снабжении растений (проростки пшеницы) фосфором сохраняются основные черты действия соотношения K и Ca на обмен веществ, обычно наблюдаемые без дополнительного внесения фосфора, но несколько уменьшается активирование окислительных процессов, вызываемое преобладанием кальция в сумме катионов, чему соответствуют меньшие различия в содержании амидов.

3. Изменение соотношения анионов Cl и SO_4 в питательном растворе при оптимальном соотношении K и Ca не оказывает значительного влияния на активность дыхания, хотя синтезу белков несколько более благоприятствует преобладание SO_4.

4. Для синтетической направленности обмена азотистых веществ в тканях растений, повидимому, нужен совершенно иной характер окислительных процессов, чем для синтетической направленности превращений сахаров: при нормальном снабжении кислородом для синтеза белковых веществ неблагоприятно усиление заключительных фаз дыхания, тогда как синтез сахарозы, как правило, ускоряется параллельно общему активированию окислительных процессов.

5. По характеру действия на обмен веществ и рост растений следует различать две группы физиологически активных восстанавливающих веществ: а) восстановленные формы обратимых окислительно-восстановительных систем, определяющие восстановительную способность тканей и способствующие синтетическому направлению азотного обмена (аскорбиновая кислота, полифенолы, редуцирующие сахара и т. п.) — восстановители-активаторы; б) односторонне действующие восстановители, нарушающие нормальное состояние обратимых систем и стимулирующие необратимые окисления, неблагоприятные для синтеза белков (этилен, гетероауксин в определенных дозировках и т. п.) — восстановители-инактиваторы. Между названными группами возможны взаимные переходы, определяемые количественными соотношениями и прочими условиями.

6. Соотношение содержания в тканях восстановителей указанных групп и характер их взаимодействия в значительной мере определяют направленность обмена веществ и характер процессов роста. Так, начальной фазе прорастания, связанной с мобилизацией запасных питательных веществ, способствует воздействие восстановителями второй группы — инактиваторами и минеральными веществами, стимулирующими необратимые окисления (подобно кальцию). Для синтетической же фазы прорастания — для развития ростков — необходимы восстановители-активаторы и условия минерального питания, способствующие восстановительной активности ткани (усиление калия и т. п.). Для ускорения старения вегетативных органов и созревания плодов благоприятны восстановители-инактиваторы (этилен и др.).

ЛИТЕРАТУРА

Асмаев П. Г. Влияние этилена на ферментацию табака. Тр. Краснод. с.-х. инст., в. 6, 1937.

Благовещенский А. В. К вопросу об условиях синтетических процессов в растительном организме. Тр. Моск. Дома учен., т. I, 7, 1936.

Буткевич В. С. К современному состоянию вопроса о химизме процессов дыхания у растительных организмов. Сб. раб. по физиол. раст. пам. К. А. Тимирязева. 1940.

Гребинский С. О. Особенности биохимизма высокогорных растений. Биохимия, в. 5—6, 1945.

Курсанов А. Л. и Крюкова Н. И. Влияние этилена на обратимое действие инвертазы в созревающих плодах. Биохимия, т. 3, в. 2, 1935.

Прянишников Д. Н. О распадении белковых веществ при прорастании. Собр. стат. и научн. работ (1895). Юбил. сб., т. II, 1927.

Смирнов А. И. Дыхательный газообмен и ферментативная активность пшеничного зерна при созревании. Биохимия, т. 8, в. 4, 1943.

Таусон В. О. Условия образования, развития и дифференцировки каллюса. Докл. АН СССР, т. XIV, № 5, 1944.

Таусон В. О. Основные черты развития растительной биоэнергетики. Успехи совр. биол., т. XXIV, в. 1 (4), 1947.

Туркова Н. С. Изучение окислительно-восстановительной системы растительных тканей. Вестн. агротехн., в. 2, 1940.

Туркова Н. С. Влияние этилена и гетероауксина на процессы роста растений. Изв. АН СССР, сер. биол., № 6, 1942.

Туркова Н. С. Ростовые реакции растений при избыточном поливе. Докл. АН СССР, т. XIII, № 2, 1944.

Туркова Н. С. Действие этилена на биохимизм корней сахарной свеклы в связи с торможением прорастания. Биохимия, в. 5—6, 1945.

Туркова Н. С. Влияние соотношения калия и кальция в питательном растворе на азотный обмен и окислительные процессы в проростках пшеницы. Сб. пам. Д. Н. Прянишникова, Изд. АН СССР, 1950.

Яковлева В. В. О действии бора на биохимизм растений. Сб. пам. Д. Н. Прянишникова. Изд. АН СССР, 1950.

Dufrenoy J. a. Reed H. The respiratory processes in plant cells in relation to the formation of coacervates. Plant. Physiol., v. 21, N 4, 1925.

Kidd a. West. Gr. Br. Dept. Sci. and Ind. Res. Inw., 1934.

Mothes K. Die natürliche Regulation des pflanzlichen Eiweisstoffwechsels. Ber. deutsch. Bot. Ges., B. 51, 1933.

Pope C. G. a. Stevens M. F. The determination of aminonitrogen using a copper method. Biochem. Journ., v. XXXIII, N 7, 1939.

Ruhland W. u. Ramshorn K. Aerobe Gärung in aktiven pflanzlichen Meristemen. Planta, B. 28, 1938.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

1950. ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА им. В. В. ДОКУЧАЕВА. Том XXXIII

Г. М. КАДЕР

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МИКРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ВОДНЫХ И СОЛЕВЫХ ВЫТЯЖЕК ИЗ ПОЧВ

Целью настоящей работы являлась проверка некоторых микрохимических методов определения элементов. Так как рекомендуемые описания анализов не всегда дают хорошие результаты, возникла необходимость в отборе и проверке ряда методов применительно к анализам почвенных вытяжек.

Большинство методов микрохимического анализа сводится к объемным, колориметрическим и нефелометрическим определениям. Применение органических реактивов в неорганическом анализе привело к изысканию многих высокочувствительных и специфических реакций для отдельных элементов, что в свою очередь дало возможность использовать колориметрические методы. Микроколориметрия в настоящее время занимает самое почетное место среди микрохимических методов. За последние годы особенное распространение для микрохимических целей нашли фотоэлектрические колориметры, позволяющие осуществлять колориметрирование по стандартным кривым. Существует большое число конструкций микроколориметров и фотоколориметров. В нашей работе применялся фотоколориметр с набором светофильтров системы Б. В. Михальчука.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Приготовление водных и солевых вытяжек

Для приготовления тех или иных вытяжек не может быть постоянных положений, так как приготовление вытяжек должно согласоваться с той целью, которая преследуется исследованием водной или солевой вытяжки и характером исследуемой почвы. Вытяжки могут быть приготовлены при самых разнообразных отношениях между количеством почвы и воды или соли и при различном времени воздействия. Водные вытяжки для характеристики солевого состава почв готовились нами по общепринятому методу при соотношении почва : вода = 1 : 5 и при 3-минутном взбалтывании. После взбалтывания вытяжку вместе с почвой переносят в воронку, так как слой почвы на фильтре задерживает коллоидальные частицы. Первые порции фильтрата приходится снова выливать на фильтр, пока не появятся прозрачные капли. Верхние горизонты большинства

почв дают водные вытяжки, окрашенные органическими веществами, с глубиной эта окраска ослабевает и вытяжки становятся бесцветными.

Анализ окрашенных вытяжек требует специальной их подготовки. Обесцвечивание водных вытяжек перед определением отдельных минеральных элементов почвы может вестись различными методами, в зависимости от характера исследуемой почвы и отдельных свойств определяемого элемента. Наиболее простым способом подготовки является выпаривание определенной части вытяжки и дальнейшее прокаливание для сжигания органического вещества. Прокаливание следует вести при температуре 500—600° С. Если органическое вещество не удается сжечь таким образом, то к сухому остатку прибавляется вода или кислота для растворения минеральных веществ, а органический остаток отфильтровывается через маленький беззольный фильтр. Последний озоляется и растворяется в минеральной кислоте (иногда сплавляется с карбонатом натрия) и присоединяется к общему фильтрату или анализируется отдельно.

Другим способом подготовки вытяжки может служить выпаривание части вытяжки и растворение сухого остатка в спирте, ацетоне. В тех случаях, когда мы имеем окрашенные водные вытяжки со щелочной реакцией, органическое вещество в них может быть осаждено минеральными кислотами и солями тяжелых металлов.

Водные вытяжки для анализа необходимо иметь свежеприготовленными, так как при стоянии вытяжки легко загнивают, появляется муть от жизнедеятельности микроорганизмов, которые изменяют и состав вытяжки.

1. Определение SiO_2

Из имеющихся в литературе методов определения кремнекислоты мы отобрали три метода: 1) один объемный с ортооксихинолином, предложенный М. И. Волынец (1936), и 2) два колориметрических: метод П. М. Маршева (1943) с уксуснокислым бензидином и метод с гидрохинон-сульфитом в модификации А. А. Роде (1947). Мы не будем здесь касаться критического разбора всех этих методов, а лишь укажем, что наиболее точным и удобным методом для определения кремнекислоты в водных и солевых вытяжках из почв является последний метод, на изложении которого мы и остановимся.

Ход определения

Если водная вытяжка бесцветна, она не требует дополнительных обработок, и определение кремнекислоты ведется непосредственно; в тех случаях, когда вытяжка окрашена, она обесцвечивается прокаливанием и дальнейшим сплавлением с карбонатом натрия.

Так как получение точных результатов зависит от исходного pH раствора, то следует водные и солевые вытяжки предварительно нейтрализовать; для этого к определенной части раствора, содержащей SiO_2 от 0.01 до 0.40 мг в 100 мл, прибавляется 1—2 капли фенолфталеина, затем раствор KOH или NaOH (0.01 *n*, 0.05 *n*, 0.1 *n*) до слабо розовой окраски. Туда же прибавляется 5 мл 12% уксусной кислоты; содержимое колбочки перемешивается, и в нее вливается 10 мл 10% раствора молибдата аммония. Одновременно ставится холостой опыт с дистиллированной водой и упомянутыми выше реактивами. Все приготовленные колбочки выдерживаются в кипящей бане точно 5 мин., считая с того момента, когда вода закипит снова после их погружения. После этого колбочки вынимаются и в них медленно (не давая им охладиться) вливается по 5 мл раствора гидро-

хинон-сульфита, что вызывает появление интенсивного синего окрашивания, вместо возникшего после нагревания слабого желтого окрашивания. Содержимое колбочек перемешивается, после чего они быстро и одновременно охлаждаются под краном. Окраска растворов при этом усиливается, и как только содержимое колбочек примет комнатную температуру, они доливаются до черты дистиллированной водой, содержимое их перемешивается и растворы сравниваются в фотоколориметре, при желтом светофильтре.

Содержание SiO_2 находят по градуировочной кривой, построенной по серии эталонных растворов, приготовленных аналогичным способом из раствора силиката натрия (Na_2SiO_3), содержащего в 1 мл около 0.02 мг SiO_2.

Силикат натрия готовится более концентрированным, с небольшим избытком едкой щелочи. Содержание SiO_2 определяется, как обычно, весовым методом, а растворы для приготовления эталонных растворов получают точным разбавлением. В наших опытах перед проведением серии анализов готовилась калибровочная кривая, для чего в ряд колбочек по 100 мл прибавлялись разные количества стандартного раствора: 1 мл, 3 мл, 5 мл, 10 мл, 15 мл, 20 мл, 25 мл, 30 мл и 35 мл. Все колбочки доводились дистиллированной водой до одного объема, в данном случае до объема 35 мл, и повторялись все операции, как описывается в ходе анализа. Для получения правильных результатов необходимо производить в тех же условиях холостой опыт с дистиллированной водой, применяя все реактивы, и в полученные результаты вносить соответствующую поправку. При составлении кривых необходимо обращать внимание на температуру опытов. Результаты анализов почв, проведенных по данному методу, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Определение SiO_2 в водных вытяжках из почв посредством гидрохинон-сульфита

№ п/п	Почва	Глубина в см	SiO_2 на 100 г почвы в мг	SiO_2 в определенной части вытяжки в мг	Прибавлено мг SiO_2 в виде чистой соли к определенной части вытяжки	Всего SiO_2 в растворе в мг	Найдено SiO_2 в мг	Ошибка в мг
1	Чернозем маломощный на песке	0—15	9.10	0.091	0.070	0.161	0.161	0
2		20—40	6.30	0.063	0.070	0.133	0.133	0
3		40—50	3.20	0.032	0.070	0.102	0.109	+0.007
4		50—70	1.40	0.014	0.070	0.084	0.090	+0.006
5		—	—	0.091	0.140	0.231	0.224	—0.007
6		—	—	0.063	0.140	0.203	0.204	+0.001
7		—	—	0.032	0.140	0.172	0.175	+0.003
8		—	—	0.014	0.140	0.154	0.161	+0.007
9	Солонец, Сталинградской обл.	0—4	32.20	0.161	0.070	0.231	0.224	—0.007
10		4—18	30.80	0.154	0.070	0.224	0.230	+0.006
11		18—35	32.20	0.161	0.070	0.231	0.228	—0.003
12		35—50	49.00	0.245	0.070	0.315	0.308	—0.007
13		50—71	60.20	0.301	0.070	0.371	0.378	+0.007
14		71—90	33.04	0.165	0.070	0.235	0.231	—0.004

Измерения нами велись на фотоколориметре системы Б. В. Михальчука. В этом колориметре в качестве компенсатора применен металлический диск, контур которого представляет собой логарифмическую спираль. Благодаря такой форме диска затемнение фотоэлемента идет в логарифмической зависимости от угла поворота компенсатора, и калибровочные кривые значительно отклоняются от логарифмической формы и приближаются к прямой линии. Последнее обстоятельство уточняет результаты колориметрических измерений и расширяет интервал доступных для исследования концентраций растворов.

Необходимые реактивы

1. Фенолфталеин 1% раствор в алкоголе.
2. Едкий кали или едкий натр 0.1 *n* концентрации.
3. Уксусная кислота 12%.
4. Молибденовокислый аммоний 10%.
5. Гидрохинон-сульфит 20% — раствор сернистого натрия (Na_2SO_3), на каждые 100 мл которого прибавлено 0.5 г гидрохинона.
6. Раствор Na_2SiO_3, содержащий примерно 0.02 мг SiO_2 в 1 мл.
7. Дважды перегнанная дистиллированная вода собирается прямо из перегонного куба в парафинированную изнутри склянку.

Все реактивы немедленно после приготовления переливаются в склянки, тщательно парафинированные внутри, и хранятся в этих склянках.

Для того чтобы сделать более или менее постоянными количества SiO_2 переходящей из стекла колб в раствор, колбы должны быть предварительно протравлены щелочью; они наполняются до верху 5% раствором KOH или NaOH и погружаются в горячую баню на несколько часов.

2. Определение Al_2O_3

Колориметрическое определение металлов основано на образовании с определенным ионом окрашенного соединения, обычно комплексного характера. Для этого пользуются реактивами, которые часто являются слабыми кислотами. Концентрация водородных ионов раствора весьма существенно влияет на равновесие образования окрашенного комплекса, а, значит, и на точность колориметрического определения.

В основу почти всех имеющихся методик по определению алюминия лежит его способность образовывать с некоторыми красителями внутрикомплексные соединения, так называемые лаки.

В литературе имеется довольно большое число методов для определения микроколичеств алюминия, но большинство из них при детальном разборе страдает теми или иными недостатками. Мы лишь кратко остановимся на тех методах, которые некоторые авторы пытались применять при своих исследованиях. Проверка методов велась на растворах чистых солей. В качестве соли алюминия мы употребляли раствор хлористого алюминия — препарат химически чистого $AlCl_3$ без железа.

Много работ посвящено применению ализарина S (ализарин-сульфонат натрия), и особенно подробно этот метод разобран Розановым и Марковой (1935), которые пришли к заключению, что этот метод не пригоден для сколько-нибудь точной работы. Наши исследования подтвердили этот вывод.

Ф. Альтен, Г. Вейланд и Е. Книпенберг (1934) предложили для колориметрического определения алюминия реакцию с эриохромцианином. Проверка этого метода также не дала положительных результатов.

Определенного внимания заслуживает метод с гематоксилином (В. Я. Тартаковский, 1940; Е. Б. Санделл, 1944), где один атом алюминия вступает в соединение с тремя молекулами гематоксилина, и в известных пределах pH получается красное окрашивание. Присутствие Ca и Mg и даже следов железа придает окраске грязный оттенок. Из анионов влияние оказывают те, у которых выражена склонность к комплексообразованию с металлами, как лимонная, щавелевая, винокаменная, фосфорная кислоты. Алюмогематоксилиновый комплекс чувствителен к CO_2. Метод этот капризен в работе. Трудно привыкнуть к окраскам, так как тон окраски зависит от концентрации и, следовательно, не может быть рекомендован как удовлетворительный.

Нами был также рассмотрен колориметрический метод определения алюминия с ортооксихинолином, в модификации А. А. Роде (1938). Этот метод связан с применением большого количества реактивов и аналитических операций. Для малых количеств алюминия он непригоден, так как нижний предел осаждаемости Al_2O_3 в 1 мл — 0.08 мг. Ортооксихинолин очень сильно адсорбируется фильтрами и очень трудно от них отмывается, холостое определение дает всегда яркую окраску. На фотоколориметре системы Б. В. Михальчука удается колориметрировать, когда в исследуемом объеме (100 мл) содержится Al_2O_3 0.03—0.08 мг.

Из всех предложенных до настоящего времени колориметрических методов определения алюминия наибольший интерес представляет метод с алюминоном (аммонийная соль ауритрикарбоновой кислоты — аурин). Этот реактив получил большое распространение у многих авторов.

Определению алюминия существенно мешает присутствие железа, в каких бы количествах оно ни находилось. Влияние железа обусловлено образованием им комплексов подобно алюминию. Для отделения железа от алюминия применяется ряд методов, в том числе осаждение на ртутном катоде и различные экстракции органическими растворителями. Наиболее целесообразным методом отделения железа является экстракция смесью амилового спирта и эфира (как принято в работе А. А. Роде). В отдельных лабораториях имеются аппараты для экстракции железа эфиром (А. М. Дымов, 1948). Процесс экстракции может быть осуществлен с применением минимального количества эфира, подвергающегося регенерации. Работа на экстракционном аппарате непрерывного действия облегчает работу аналитика. В тех случаях, когда в пробе очень много железа, можно его осадить избытком едкого натра, при этом алюминий в виде алюмината натрия переходит в раствор. Осадок железа промывают 2% раствором едкого натра, а в фильтрате определяют алюминий.

Определения Al_2O_3 алюминоном

После проверки ряда методов по определению Al_2O_3 с алюминоном (Л. П. Гаммет, 1925; Д. Иоу, 1935; Е. Б. Санделл, 1944; Найвенбург, 1948) нами был принят следующий способ колориметрического определения: 5—10 мл раствора, содержащего от 0.03 до 0.13 мг Al_2O_3, помещаются в фарфоровую чашку емкостью в 25 мл, куда добавляют 1—2 капли концентрированной соляной кислоты и 1 мл 10% роданистого аммония; содержимое чашечки перемешивают стеклянной палочкой и добавляют 5 мл эфиро-амиловой смеси. Затем раствор из чашечки переносится в делительную воронку на 20—25 мл, водный раствор выпускают в чашечку, а эфиро-амиловый раствор выливают прочь. Такую экстракцию повторяют

с последующим добавлением к водному раствору 2—3 мл эфиро-амиловой смеси до тех пор, пока водный раствор и эфиро-амиловый раствор не сделаются бесцветными. Бесцветный раствор из чашечки переносят в мерную колбочку на 100 мл, нейтрализуют по фенолфталеину едким натром до слабо розовой окраски и разбавляют дистиллированной водой до объема 20—25 мл, затем прибавляют 5 мл 1 *n* соляной кислоты, 5 мл 3 *n* уксуснокислого аммония и 2.5 мл 0.1% алюминона, после 20-минутного старения лака, добавляют 0.5 мл 5 *n* аммиака и 0.5 мл 5 *n* углекислого аммония, колбочки доливают до метки водой и колориметрируют, применяя зеленый светофильтр. На фотоколориметре системы Б. В. Михальчука удобно колориметрировать, когда в окрашенном растворе содержится Al_2O_3 от 0.03 до 0.13 мг. Определение Al в водных вытяжках из почвы приведено в табл. 2.

Таблица 2

Определение Al_2O_3 в водных вытяжках из почв раствором алюминона

№ п/п.	Почва	Глубина в см	Al_2O_3 в мг на 100 г почвы	Al_2O_3 в мг в определенной части вытяжки	Прибавлено Al_2O_3 в виде чистой соли к определенной части вытяжки в мг	Всего Al_2O_3 в растворе в мг	Найдено Al_2O_3 в мг	Ошибка в мг
1	—	—	—	—	—	0.011	0.008	—0.003
2	—	—	—	—	—	0.033	0.033	0
3	—	—	—	—	—	0.066	0.066	0
4	—	—	—	—	—	0.088	0.088	0
5	—	—	—	—	—	0.132	0.128	—0.004
6	Чернозем	0—15	Нет	Нет	0.066	0.066	0.066	0
7	мало-	20—40	»	»	0.066	0.066	0.069	+0.003
8	мощный	40—50	»	»	0.066	0.066	0.066	0
9	на песке	50—70	»	»	0.066	0.066	0.071	+0.005
10	Солонец,	0—4	3.30	0.033	0.066	0.099	0.090	—0.009
11	Сталин-	4—18	1.10	0.011	0.088	0.099	0.104	+0.005
12	градской	18—35	1.10	0.011	0.088	0.099	0.104	+0.005
13	обл.	35—50	1.10	0.011	0.088	0.099	0.104	+0.005
14		50—71	2.40	0.024	0.033	0.057	0.053	—0.004
15		71—90	1.10	0.011	0.033	0.044	0.036	—0.008

Если содержание алюминия предполагается большим, то предварительно испытуемый раствор доводят до определенного объема и оттуда уже берут определенную часть для анализа.

Содержание алюминия находят по градуировочной кривой, построенной по серии эталонных растворов, приготовленных аналогичным способом из раствора хлористого алюминия. Одновременно производят в тех же условиях холостой опыт с выполнением всех операций, применяемых в анализе с такими же количествами реактивов и дистиллированной воды. Так как на определение алюминия алюминоном оказывают значительное влияние: 1) количество вводимых реактивов, 2) количество алюминона, 3) температура и 4) объем раствора, необходимо строго соблюдать однажды принятые условия составления окрашенных растворов для получения однозначных результатов. Присутствие в растворе остатков эфиро-амиловой смеси на интенсивность окраски не влияет.

Необходимые реактивы

1. Фенолфталеин 1% раствор в алкоголе.
2. Едкий натр 0.1 *n*.
3. Соляная кислота 1 *n*.
4. Уксуснокислый аммоний 3 *n*.
5. Алюминон 0.1%.
6. Аммиак 5 *n*.
7. Углекислый аммоний 5 *n*.
8. Хлористый алюминий без железа. Готовится концентрированный раствор и затем точным разбавлением получают раствор, в котором содержание Al_2O_3 в 1 мл = 0.01 мг.

3. Определение железа

Колориметрически можно определять железо с роданистым калием, салициловой кислотой, сульфосалициловой кислотой, протокатеховой кислотой, орто-фенантролином и другими реактивами. Критически просматривая колориметрические методы для определения железа, мы должны остановиться на методе с сульфосалициловой кислотой, как на наиболее точном и простом. Эта реакция подробно рассматривалась многими исследователями: И. М. Кореньманом (1934), В. М. Пешковой и А. Д. Егоровым (1935), И. П. Алимариным и Б. И. Фрид (1940) и др. Этот метод основан на реакции образования желтого соединения трехвалентного железа с сульфосалициловой кислотой в щелочной среде. Желтое окрашивание наступает моментально при добавлении реактивов и не изменяется в течение весьма длительного времени. Другие металлы хотя и дают комплексные соединения с сульфосалициловой кислотой, тем не менее они при достаточном избытке реактива в аммиачной среде не оказывают влияния на результаты определения железа. Исключение составляет марганец, образующий интенсивно коричнево-красное окрашивание, но его влияние может быть устранено путем прибавления солянокислого гидроксиламина перед нейтрализацией испытуемого раствора.

Выполнение определения

5—10 мл исследуемого раствора, содержащего от 0.01 до 0.25 мг Fe_2O_3 в определяемом количестве, помещается в колбочку на 100 мл (при меньшем содержании помещают раствор железа в колбочку на 50 или 25 мл).

Прибавляют 5 мл 25% раствора сульфосалициловой кислоты и по каплям 25% аммиак до получения желтой окраски. Затем прибавляют избыток аммиака в 0.5 мл и доливают колбочки дистиллированной водой. Определение железа проводят на фотоколориметре применяя синий светофильтр. Одновременно производят холостой опыт, применяя все реактивы и дистиллированную воду.

Содержание железа находят по калибровочной кривой, построенной по серии эталонных растворов, приготовленных аналогичным способом. Результаты анализов приводятся в табл. 3.

Необходимые реактивы

1. Сульфосалициловая кислота 25%.
2. Аммиак 25%
3. Гидроксиламин 5%.

Таблица 3

Определение Fe_2O_3 в водных вытяжках из почв посредством сульфосалициловой кислоты

№ п/п	Почва	Глубина, в см	Fe_2O_3 в мг на 100 г почвы	Fe_2O_3 в мг в определенной части вытяжки	Прибавлено Fe_2O_3 в виде чистой соли к определенной части вытяжки в мг	Всего Fe_2O_3 в растворе в мг	Найдено Fe_2O_3 в растворе в мг	Ошибка в мг
1	—	—	—	—	—	0.017	0.017	0
2	—	—	—	—	—	0.053	0.053	0
3	—	—	—	—	—	0.089	0.089	0
4	—	—	—	—	—	0.124	0.124	0
5	—	—	—	—	—	0.178	0.178	0
6	—	—	—	—	—	0.267	0.267	0
7	Содовый	0—1	5.80	0.058	0.089	0.147	0.150	+0.003
8	солонец	1—26	9.20	0.092	0.089	0.181	0.181	0
9	Сталин-	26—41	8.00	0.080	0.124	0.204	0.213	+0.009
10	градская	41—60	Нет	Нет	0.124	0.124	0.124	0
11	обл.	60—78	»	»	0.178	0.178	0.181	+0.003
12		100—130	»	»	0.178	0.178	0.178	0
13	Черно-	0—15	Нет	Нет	0.053	0.053	0.058	+0.005
14	зем ма-	20—40	»	»	0.053	0.053	0.053	0
15	ломощ-	40—50	»	»	0.267	0.267	0.267	0
16	ный на песке	50—70	»	»	0.267	0.267	0.267	0

4. Стандартный раствор железа. Готовится из концентрированного раствора соли Мора с добавлением азотной кислоты для окисления железа и раствор доводится до кипения. Содержание железа определяется из окисленного раствора весовым методом. Затем точным разбавлением раствор доводится до необходимой концентрации, с примерным содержанием Fe_2O_3 в 1 мл 0.01 мг.

4. Определение титана

Содержание титана в почвенных вытяжках незначительно, и для его определения вполне подходит известный колориметрический метод Уэллера, основанный на образовании надтитановой кислоты $[TiO_2(SO_4)_2]H_2$ при прибавлении перекиси водорода.

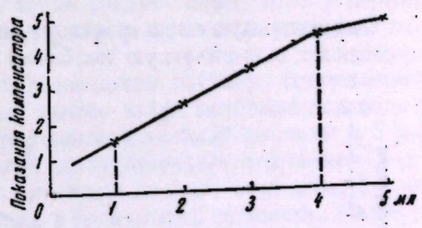


Рис. 1. Калибровочная кривая для определения TiO_2. 1 мл = 0.298 мг TiO_2. Светофильтр синий, объем колбы 100 мл. $t° = 18 — 20°$ С, кювета 5 мл.

Выполнение определения

Берется определенная часть раствора (5—10 мл) в мерную колбочку на 25, 50 или 100 мл, в зависимости от содержания TiO_2, добавляется 10—15 мл 5% серной кислоты и затем по каплям 3% раствор перекиси водорода до устойчивой желтой окраски, которая получается вследствие образования надтитановой кислоты перекисного характера. Колбочки

доливаются водой и сравниваются в фотоколориметре с синим светофильтром. Мы определяли TiO_2 в вытяжках с содержанием 0.2—0.9 мг в объеме 100 мл. Содержание TiO_2 определяют по калибровочной кривой, построенной по серии эталонных растворов.

Необходимые реактивы

1. Серная кислота 5%.
2. Перекись водорода 3%.
3. Стандартный раствор TiO_2 может быть приготовлен из разных солей: 1) из фторотитаната калия, 2) из комплексного оксалата титана и калия, как описано у И. М. Кольтгофа и Е. Б. Сендела (1938), и 3) из двуокиси титана, которая сплавляется с избытком бисульфата калия; сплав разлагается 5% серной кислотой, переводится в мерную колбу и содержание TiO_2 определяется весовым методом. Затем точным разбавлением получают раствор с содержанием TiO_2 0.2 мг в 1 мл.

5. Определение марганца

Определение марганца в почвенных вытяжках можно вести, окисляя его персульфатом аммония или периодатом калия (К. Н. Ершова и Т. Н. Волкова, 1947; Г. Лендель и Г. Гофман, 1934). В тех случаях, когда возникает необходимость точного определения малых количеств марганца, метод с окислением периодатом калия оказывается более приемлемым, так как растворы марганцевой кислоты, полученные этим методом, отличаются чистотой окраски и значительной стойкостью.

А. *Определение марганца персульфатом аммония*

Определенную часть раствора, содержащую от 0.03 до 0.17 мг MnO, помещают в коническую колбочку на 50—100 мл, прибавляют 2—3 мл 2% раствора $AgNO_3$, 1 мл серной кислоты, 1 мл фосфорной кислоты, смесь разбавляют водой до 15—25 мл и нагревают до 60°; в случаях выпадения осадка AgCl осадок отфильтровывают и промывают водой. Вслед за этим добавляют 1—2 г персульфата аммония при помешивании. После того как появится фиолетовая окраска, колбу кипятят в течение 5—10 минут до полного разложения избытка персульфата аммония. После охлаждения до комнатной температуры окрашенный раствор в зависимости от содержания марганца переносят в

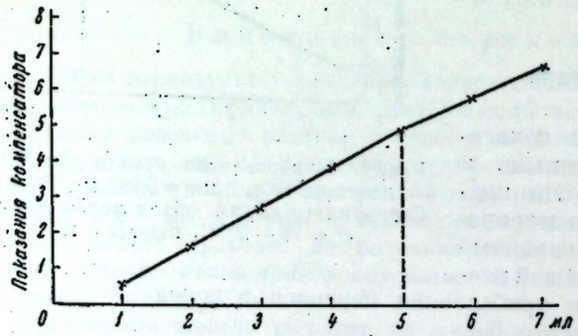


Рис. 2. Калибровочная кривая для определения MnO; 1 мл MnO = 0.0334 мг MnO. Светофильтр зеленый, объем колбы 100 мл, $t°$ = 18—20° С, кювета 5 мл.

мерную колбу емкостью 25—100 мл, доливают дистиллированной водой и колориметрируют. Содержание марганца находят по калибровочной кривой (рис. 2), построенной по серии эталонных растворов, приготовленных аналогичным способом. В тех случаях, когда анализируются солянокислые вытяжки, они предварительно выпариваются, затем обрабатываются серной кислотой и снова выпариваются, добавляется горячая вода, и дальше поступают, как описано выше.

Необходимые реактивы

1. $AgNO_3$ 2%.
2. Концентрированная серная кислота.
3. Концентрированная фосфорная кислота.
4. Персульфат аммония.
5. Стандартный раствор марганца может быть приготовлен путем разбавления перманганата калия, что является грубым способом приготовления раствора. Более точным способом приготовления стандартного раствора для определения марганца является восстановление перманганата сернистой кислотой. Определенный объем перманганата (200—500 мл) помещают в мерную колбу, прибавляют 15—20 мл концентрированной серной кислоты и раствор обесцвечивают сернистой кислотой, которая прибавляется по каплям, и затем дается избыток ее в 2—3 мл; раствор доводится дистиллированной водой до метки.

Б. *Определение марганца периодатом калия*

Периодат (KJO_4) получают сплавлением перекиси натрия с иодидами или иодатами, т. е. KJ или KJO_3, смешивают с избытком перекиси натрия и нагревают в фарфоровом тигле до температуры темнокрасного каления. По охлаждении содержимое тигля следует измельчить в ступке и промыть несколько раз небольшими порциями воды для удаления избытка щелочи.

В коническую колбочку на 100 мл помещается раствор, содержащий до 0.15 мг MnO, из которого полностью удален хлор, разбавляется водой до 20 мл, добавляется 15 мл концентрированной азотной кислоты и 5 мл фосфорной кислоты. Фосфорная кислота предупреждает осаждение иодноокислого железа и иодноватокислого или иоднокислого марганца; кроме того, она связывает трехвалентное железо в бесцветный комплекс. Раствор доводят до кипения и прибавляют 0.3—0.5 г KJO_4 и кипятят 2—3 минуты. Охладив растворы, переносят их в мерные колбочки на 50—100—200 мл. Содержание марганца определяют по калибровочной кривой, построенной по серии эталонных растворов, приготовленных аналогичным способом.

Необходимые реактивы

1. $AgNO_3$ 2%.
2. Концентрированная азотная кислота.
3. Концентрированная фосфорная кислота.
4. Периодат калия.
5. Стандартный раствор MnO с содержанием в 1 мл — 0.02—0.03 мг MnO.

6. Определение кальция

Определению кальция мешают металлы Fe, Al, Mn, Ti; поэтому перед осаждением кальция осаждаются полуторные окислы аммиаком и отфильтровываются через фильтровальные трубочки (И. П. Алимарин, 1946), или же к раствору добавляется лимоннокислый аммоний.

Определению кальция в виде оксалата с последующим титрованием из микробюретки раствором перманганата посвящено много работ. Этот метод дает удовлетворительные результаты, когда вносится поправка на растворимость оксалата кальция; на каждый миллилитр раствора вносят поправку в 0.0026 мг CaO. Мы в своих исследованиях пользовались объемным ацидиметрическим методом определения кальция (П. А. Крюков, 1947), превращая оксалат кальция прокаливанием в карбонат. Нами применялась следующая модификация анализа. Определенная часть раствора, содержащая 0.02—0.20 мг CaO в объеме 2—5 мл, помещается в центрифужную пробирку из стекла пирекс. В пробирки с растворами добавляется капля метилрота и капля концентрированной соляной кислоты, после чего растворы подогреваются в водяной бане и к ним добавляется 0.5—1.0 мл 4.5% раствора щавелевокислого аммония, раствор нейтрализуется 10% аммиаком до перехода окраски в желтую. После 3-часового стояния при комнатной температуре пробирки центрифугируются при 2000—3000 оборотах в минуту в течение 10 минут. Прозрачный раствор отсасывается, и осадок 2—3 раза промывается порциями по 3 мл 0.5% раствора щавелевокислого аммония с центрифугированием и отсасыванием. Остаток высушивается и прокаливается в течение 1 часа в электрической печи при температуре 525° С (температура устанавливается термопарой и пирометром). После этого пробиркам дают остыть, и осадок растворяется при нагревании в небольшом избытке титрованной соляной кислоты 1, 2, 3... 5 мл 0.1 *n* или 0.01 *n* раствора. Избыток кислоты оттитровывается из микробюретки после прибавления 1 капли индикатора Гроаг раствором NaOH или KOH соответствующей концентрации при продувании воздуха, лишенного углекислоты. 1 мл 0.01 *n* HCl соответствует 0.2 мг Ca или 0.28 мг CaO. Результаты анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4

Определение CaO в водных вытяжках из почв объемным ацидиметрическим методом

№ п/п	Почва	Глубина в см	CaO в мг на 100 г почвы	CaO, в мг в определенной части вытяжки	Прибавлено мг CaO в виде чистой соли к определенной части вытяжки	Всего мг CaO в растворе	Найдено CaO в мг	Ошибка в мг
1	—	—	—	—	—	0.065	0.050	—0.015
2	—	—	—	—	—	0.130	0.135	+0.005
3	—	—	—	—	—	0.195	0.190	—0.005
4	—	—	—	—	—	0.195	0.190	—0.005
5	Чернозем маломощный на песке	0—15	0.95	0.019	0.065	0.084	0.078	—0.006
6		20—40	0.95	0.019	0,130	0.149	0.140	—0.009
7		40—50	0.95	0.019	0.130	0.149	0.137	—0.012
8		50—70	8.95	0.179	0.130	0.309	0.328	+0.019

Необходимые реактивы

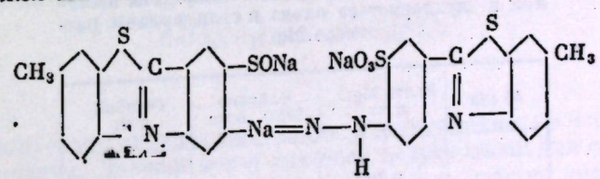
1. Метилрот 0.2 г растворяют в 60 мл спирта и доводят водой до 100 мл.
2. Концентрированная соляная кислота.
3. Аммоний щавелевокислый 4.5%.
4. Аммиак 10%.
5. Аммоний щавелевокислый 0.5%.
6. Титрованный раствор соляной кислоты 0.1—0.01 *n*.
7. Титрованный раствор NaOH или KOH 0.1—0.01 *n*.
8. Индикатор Гроаг готовится смешением 100 мл насыщенного спиртового раствора метилрота и 4 мл 1% водного раствора метиленовой синьки; при титровании дает переход от красно-лилового цвета к зеленому; в точке перехода (при pH = 5.5) окраска сероватая.

7. Определение магния

Магний можно определять ацидометрически методом Куриловой и Богомаз (1932). Центрифугат и промывные воды после осаждения кальция концентрируют в большой центрифужной пробирке и осаждают магний насыщенным раствором фосфорнокислого натрия. После суточного стояния, пробирки с осажденным магнием центрифугируются и отсасываются, осадок промывают дважды 2.5% аммиаком и два раза 30% спиртом. Пробирки сушатся на водяной бане. Осадок растворяется в избытке 0.01 *n* H_2SO_4. Избыток кислоты оттитровывается щелочью (0.01 *n*) с применением индикатора Гроаг. Метод дает не вполне удовлетворительные результаты.

Из колориметрических методов нами проверялся метод титан желтый в модификациях: С. С. Шрайбман, Е. Б. Санделл, Н. Дросдоф и Ц. Неарпас, Е. Абрагамчик, Р. Гедин, С. Я. Тофс, А. Л. Принке, А. Валаке и Д. С. Миккельсен.

Титан желтый соль диазоаминобензол — дисульфокислый натрий.



Титан желтый в данной реакции является адсорбционным индикатором. Эта соль дает с магнием в щелочной среде при pH>12 красную окраску и в отсутствие магния желто-коричневую окраску. Все эти модификации нами тщательно проверялись, но ни одна из них не дала положительных результатов. Развитие окраски происходит пропорционально концентрации магния лишь в очень небольшом интервале и, следовательно, не может иметь практического значения.

В. И. Адамович (1947) рекомендует для определения магния колориметрическое титрование с раствором титана желтого в известных границах реагирующих компонентов. Для магния этими границами являются 5—20 мг/л. Мы не будем здесь подробно останавливаться на прописи данного метода, а лишь укажем, что данный метод может быть признан как качественно-количественный, так как его погрешности равны 10—15% и более. Мы в своих исследованиях применяли колориметрический метод определения магния, осаждая его как магний аммоний фосфат шестиос-

новный, с последующим колориметрированием на содержание фосфатов. Этот метод применял Р. Ф. Ретмеер (1943). Метод не отличается высокой степенью точности, однако расхождения между параллельными определениями дают удовлетворительные результаты из-за чувствительности колориметрического фосфатного измерения.

Мы вели анализ по следующей схеме.

В фильтрате после определения кальция осаждается магний; оксалат следует предварительно разрушить кипячением. Раствор, содержащий 0.01—0.1 мг MgO, помещают в коническую центрифужную пробирку на 12 мл и разбавляют или выпаривают до объема в 5 мл. В пробирки добавляют 1—2 капли концентрированной соляной кислоты, подогревают в водяной бане и прибавляют 1 мл 5% раствора двуосновного фосфата аммония. После охлаждения к раствору прибавляют 1 каплю фенолфталеина и по каплям концентрированный аммиак до розовой окраски, после чего еще добавляют 2 мл аммиака, пробирки перемешивают тонкой стеклянной палочкой и оставляют стоять на ночь. Затем пробирки центрифугируют при 2000—3000 оборотов в минуту в течение 10 минут. Раствор декантируют, осадок промывают несколько раз 2.5% раствором аммиака, после чего в пробирки добавляют по 2 мл 1n H_2SO_4 и разбавляют водой до 10 мл. После 5-минутного стояния содержимое пробирок смывается в 100 мл мерные колбочки, к которым прибавляют точно 5 мл молибдата аммония. Колбочки разбавляют водой до 50 мл и прибавляют 1 мл двухосновного хлористого олова, быстро встряхивают колбочки и доводят до метки. Точно через 5 минут после добавления последнего реактива растворы сравниваются в фотоколориметре. Одновременно в тех же условиях готовится холостой опыт. Содержание магния определяют по калибровочной кривой, применяя серию точек: 0, 0.5, 1, 2, 3... и т. д. мл стандартного раствора и проводя вышеописанные процедуры.

Таблица 5

Определение MgO посредством молибдата аммония и двухлористого олова в стандартном растворе $MgCl_2$

№ п/п	Взято MgO в мг	Найдено MgO в мг	Ошибка в мг
1	0.015	0.015	0
2	0.030	0.032	+0.002
3	0.045	0.040	—0.005
4	0.060	0.065	+0.005
5	0.075	0.085	+0.010
6	0.090	0.098	+0.008
7	0.105	0.108	+0.003

Необходимые реактивы

1. Концентрированная HCl.
2. 5% раствор двуосновного фосфата аммония $(NH_4)_2HPO_4$.
3. Фенолфталеин, 1% раствор в алкоголе.
4. Концентрированный NH_4OH.
5. NH_4OH 2.5% раствор.
6. H_2SO_4 1n.

7. Молибдат аммония. Растворяют 40 г молибдата аммония в 400 мл воды при 60°, к 544 мл дистиллированной воды прибавляют 456 мл свободной от мышьяка концентрированной H_2SO_4. Оба раствора охлаждают. Затем раствор молибдата вливают в раствор кислоты и разбавляют до 2000 мл. Этот реактив представляет 2% раствор молибдата аммония в 8 n серной кислоте. Раствор хранится в темной склянке.

8. $SnCl_2$. Растворяют 0.3 г двуосновного $SnCl_2$ в 100 мл мерной колбочке. Растворяют быстро в воде, доводят до метки и перемешивают. Мутность удаляется при смешивании с реактивами. Раствор готовится ежедневно свежий.

9. Стандартный раствор $MgSO_4$ или $MgCl_2$ 0.001 n, содержание магния определяется весовым методом.

8. Определение калия

В литературе имеется много методов прямого определения калия. В настоящей работе мы пытались применить к анализам почвенных вытяжек следующие методы.

Колориметрический метод определения калия с дипикриламином (Е. Б. Сандел, 1944). Калий в этом методе осаждается, как сравнительно труднорастворимый красный дипикриламинат (гексанитродифениламинат) при добавлении магниевого дипикриламината к нейтральному или слабощелочному раствору. Осадок после промывания растворяется в ацетоне и полученный красный раствор сравнивают в колориметре. Данный метод позволяет определять от 0.01 до 0.1 мг калия. Метод труден для аналитического выполнения, так как все операции выполняются при температуре 0° С. М. В. Гапенко и О. Г. Шейницис (1948) предлагают для определения калия весовой метод, основанный на осаждении калия раствором магниевой соли гексанитродифениламина в виде гексанитродифениламината калия:

$$(NO_2)_3C_6H_2-\underset{\underset{K}{|}}{N}-C_6H_2(NO_2)_3.$$

Метод допускает определение калия в присутствии кальция, магния и серной кислоты. Данный метод оказался непригодным для определения микроколичеств калия, но для макроколичеств он вполне приемлем и по точности не уступает кобальтнитритному методу.

Был также проверен колориметрический метод определения калия (Х. Гурвитца и Г. Батхлора, 1947) с хлороплатинатом. Этим методом можно определять от 0.01 до 0.5 мг калия.

Метод связан с огромным числом аналитических операций и не является удобным для работы. Более простым по технике выполнения является объемный кобальтнитритный метод определения калия в модификации И. Н. Антипова-Каратаева и А. М. Мясниковой (1933). Известно, что раствор $Na_3CO(NO_2)_6$ осаждает калий из нейтральных водных растворов в виде соединения типа $K_3CO(NO_2)_6$. По количеству NO_2 окислением перманганатом определяется количество калия в растворе. Метод дает не всегда удовлетворительные результаты из-за чрезвычайной трудности получить осадки постоянного состава. Примеси в вытяжках, как SiO_2, Fe, Al, Ca, в количествах, равных калию, на состав осадка кобальтнитрата калия не влияют. Натрий даже в значительных количествах не изменяет состава

осадка. Аммоний, в каких бы количествах ни был, должен быть удален. Содержание калия в определенной части должно равняться 3—10 мг. Анализ мы вели по следующей прописи.

Вытяжки, предназначенные для определения калия, освобождаются от трехвалентных катионов и кальция, для чего прибавляется к раствору углекислый аммоний и по каплям аммиак до щелочной реакции. Раствор после часового стояния на водяной бане отфильтровывается, осадок промывается горячей водой, фильтрат подкисляется каплей соляной кислоты и выпаривается в маленькой фарфоровой чашечке. Легким прокаливанием удаляются аммонийные соли. Осадок после удаления аммонийных солей растворяется в 2—3 мл горячей воды. Затем приливается 2—5 мл раствора кобальтинитрита натрия и 5 мл 10% раствора уксусной кислоты, раствор на водяной бане выпаривается до пастообразного состояния. По охлаждении чашки к выпаренной массе приливается 30 мл холодной воды и при помешивании растворяется избыток реактива, осадок кобальтинитрита калия и натрия $K_2NaCo(NO_2)_6$ остается на дне чашки в виде тяжелого желтого осадка.

Фильтрование ведется в тиглях Нуча № 3 или № 4 и в обычных воронках $d = 4$—5 см, в которых в начале трубки вкладывается кусочек стеклянной ваты, уплотненный в виде пробочки, поверх ваты накладывается слоем в 2—3 мм волокнистый асбест, предварительно подготовленный. Тигли или воронки вставляются в бунзеновскую склянку для отсасывания. Осадок промывается дистиллированной водой до полного просветления промывных вод. В осадке калий определяется окислением перманганатом. Для этого промытый осадок вместе с асбестом или тиглем Нуча переносится в стакан, заливается водой, прибавляется в зависимости от количества осадка 10, 15, 20, 25 мл $0.05n \cdot KMnO_4$ и 10 мл 1 : 1 H_2SO_4. Затем стаканы нагреваются почти до кипения при перемешивании стеклянной палочкой, пока желтый осадок совсем не растворится. После растворения осадка точно по соотношению с $KMnO_4$ прибавляется раствор щавелевой кислоты той же концентрации. Смесь подогревается до обесцвечивания перманганата, и избыток щавелевой кислоты обратно оттитровывается перманганатом. Коэффициент для пересчета калия: 1 мл $0.05n \cdot KMnO_4 = 0.000355$ г K или 0.000428 г K_2O. Определения калия в почвенных вытяжках, проведенные методом добавок строго определенных количеств калия к параллельным пробам, показали полное сходство с данными вышеуказанных авторов; поэтому мы здесь не приводим дополнительных цифр, а интересующихся направляем к указанной работе.

Необходимые реактивы

1. Углекислый аммоний, $1n$.
2. Концентрированный аммиак.
3. Кобальтинитрит натрия готовится: 1-й раствор — 25 г нитрата кобальта $CO(NO_3)_2$ растворяется в 50 мл воды, куда прибавляется 12.5 мл ледяной уксусной кислоты; 2-й раствор — 120 г нитрита натрия $NaNO_2$ растворяется в 180 мл воды.

За сутки до употребления смешиваются: одна часть 1-го раствора с тремя частями 2-го раствора и через полученный раствор протягивается в течение 2—3 часов воздух при помощи водоструйного насоса для удаления окислов азота. Через ночь прозрачный раствор сливается с осадка.

4. Уксусная кислота, 10%.
5. Волокнистый асбест.

Волокнистый асбест для фильтров готовится из продажного препарата обработкой его крепкой соляной кислотой для удаления железа, затем перманганатом для удаления органических веществ, после чего снова кипятится с концентрированной соляной кислотой и затем отмывается водой на воронке Бюхнера до отрицательной реакции на хлор. Хранится асбест в дистиллированной воде в закрытой банке.

6. $KMnO_4$ 0.05 n.
7. Щавелевая кислота 0.05 n.

9. Определение натрия

Из прямых методов широкое применение имеют методы определения натрия в виде: натрий-цинк-уранила, натрий-магний-уранила, натрий-никель-уранила с окончанием определения весовым, объемным или колориметрическим методом (Р. Х. Айдинян, 1937; В. М. Бродфут, 1941; П. А. Крюков, 1939; К. А. Маляров, 1934; Б. С. Цивина, 1949). Все модификации этого метода имеют практическое значение и по своей точности являются вполне приемлемыми для определения микро- и макроколичеств натрия. Микроколичества натрия следует определять колориметрическим методом в модификации К. Малярова и Т. Юденич (1934), где натрий определяется по цветной реакции урана, входящего в состав тройной соли, с ферроцианидом калия, или объемным методом П. А. Крюкова и Е. Д. Коларовой (1939) в модификации перметрического титрования с применением индикатора — фенилантранилового натрия. Оксидиметрическое титрование урана дает возможность определять до 0.050 мг натрия с ошибкой меньше 1%.

Мы применяли также определение натрия, основанное на осаждении пироантимонита натрия (И. М. Коренман, 1936; Г. В. Приходько, 1931; А. В. Виноградов, 1949) с насыщенным раствором $K_2H_2Sb_2O_7 \cdot H_2O$. Перечисленные модификации метода удовлетворительных результатов не дали. Подбор и проверка методов определения натрия из числа имеющихся в литературе продолжается.

10. Определение сульфатов

М. Конарев (1941) в своем литературном обзоре и в статьях, посвященных методам определения сульфатов, подробно останавливается на целом ряде методов. Количественное определение сульфатов представляет не столь простую задачу, как это кажется с первого взгляда. Мы не будем здесь останавливаться на разборе отдельных методов, а лишь укажем, что в целях определения сульфатов мы остановились на колориметрическом хромовокислом методе с применением дифенилкарбазида в качестве индикатора и на хромовокислом объемном перметрическом методе. Эти методы были предложены И. П. Алимариным и А. Я. Шескольской (1946). Колориметрический и объемный методы состоят в осаждении сульфата солянокислым раствором хромата бария; избыток последнего затем выделяется нейтрализацией кислоты аммиаком, после чего в растворе определяется эквивалентное количество выделившегося хромата колориметрически, при помощи дифенилкарбазида или объемным методом, титрованием сернокислым церием в присутствии фенилантраниловой кислоты.

А. *Колориметрическое определение сульфатов*

Колориметрическое определение сульфатов мы вели по следующей схеме.

Определенную часть вытяжки, содержащую от 0.09 до 0.65 мг SO_4, помещают в мерную колбочку на 50 мл. В колбочку прибавляют 1 каплю индикатора альфа-динитрофенол и подкисляют вытяжку каплей концентрированной соляной кислоты до перехода желтой окраски индикатора в бесцветную. Если исходная вытяжка кислая, то ее вначале нейтрализуют едким натром по индикатору альфа-динитрофенол до желтой окраски, а затем обесцвечивают каплей соляной кислоты. Общий объем жидкости при этом должен быть 10—15 мл. Затем в колбочку прибавляют пипеткой точно 5 мл раствора хромата бария, колбочки хорошо встряхивают и дают им постоять 15—20 минут. После этого приливают в колбочку пипеткой 2 мл аммиачного раствора, который должен быть совершенно прозрачным и без карбонатов, так как в случае образования карбоната бария выделяется некоторое количество свободного хромата, что приводит к повышенным результатам. Количество прибавляемого аммиачного раствора устанавливается по соотношению, т. е. к 5 мл хромата бария прибавляется 1—2 капли фенолфталеина и аммиачный раствор до покраснения. Жидкость в колбочке доливают прокипяченной и охлажденной дистиллированной водой до метки, хорошо перебалтывают и дают постоять 5 минут. Затем часть раствора помещают в сухую центрифужную пробирку, центрифугируют в течение 5 минут при 2000—3000 оборотах в минуту. Из полученного центрифугата берут сухой пипеткой 5 мл раствора и помещают в мерную колбочку емкостью 100 мл, прибавляют 1 мл спиртового раствора дифенилкарбазида и разбавляют до метки 0.1*n* серной кислотой, растворы хорошо перемешивают; через 10 минут фиолетовая окраска достигает максимальной интенсивности, и тогда производят колориметрирование, применяя зеленый светофильтр. Для получения правильных результатов одновременно с анализом исследуемого вещества производят холостой опыт с выполнением всех операций, применяемых в анализе, и в полученный результат вносят соответствующую поправку.

Содержание сульфата находят по калибровочной кривой, построенной по серии эталонных растворов, приготовленных аналогичным способом из раствора сульфата калия.

Во время определения сульфатов в помещении и особенно около водяной бани не должны гореть газовые горелки и выпариваться растворы, содержащие SO_2, SO_3 и H_2S.

Необходимые реактивы

1. Концентрированная соляная кислота, уд. в. 1.12.
2. Серная кислота, 0.1 *n*.
3. Раствор хромата бария. 1.2670 г $BaCrO_4$ растворяют в 100 мл 1*n* HCl и разбавляют дистиллированной водой до 1000 мл.

Хромат бария лучше употреблять не продажный, а готовить его самим. Для этого 26 г уксуснокислого бария растворяют приблизительно в 300 мл дистиллированной воды, подкисляют уксусной кислотой до слабо кислой реакции, нагревают до кипения и осаждают горячим раствором хромата аммония, содержащего 10 г $(NH_4)_2CrO_4$ в 300 мл. После охлаждения осадок отфильтровывают и промывают водой до тех пор, пока 2—3 мл фильтрата не будут давать с нейтральным раствором азотнокислого серебра едва заметную красно-коричневую окраску. Промытый осадок отделяют от фильтрата и высушивают в сушильном шкафу при температуре 20° С.

4. Аммиачный раствор. 1 часть химически чистого концентрированного аммиака разбавляют 2 частями прокипяченной дистиллированной воды.

К 100 мл приготовленного раствора прибавляют 0.25 г порошкообразной окиси кальция и взбалтывают. Окись кальция готовят путем прокаливания свежеприготовленного оксалата кальция в платиновом тигле при 1000°. Раствор сохраняют в склянке с плотно закрывающейся пробкой для предупреждения проникновения двуокиси углерода из воздуха. Для определения берут пипеткой прозрачный раствор, который получается после осаждения извести.

5. Альфа-динитрофенол (pH=2.0—4.7) 0.1 г индикатора растворяют в 100 мл спирта.
6. Фенолфталеин 0.1 г растворяют в 100 мл спирта.
7. Дифенилкарбазид. 0.5 г реактива растворяют при нагревании в 30 мл 96% этилового спирта, охлаждают и разбавляют спиртом до 50 мл. Так как реактив с течением времени разлагается, то его готовят по мере надобности.
8. Раствор сульфата калия. 0.1358 г химически чистого сульфата калия, высушенного при 120°, растворяют в 1000 мл дистиллированной воды. 1 мл раствора содержит 0.09 мг SO_4. Содержание SO_4 определяется весовым методом.

Б. *Объемный метод*

Выполнение определения

Первая стадия анализа при объемном определении такая же, как и в случае применения колориметрического метода. Из полученного центрифугата берут сухой пипеткой 5 мл раствора и помещают в колбу Эрленмейера емкостью 50 мл, прибавляют 2 мл серной кислоты (1 : 1) и приливают из микробюретки 1—2—3 мл 0.01 *n* раствора соли Мора в зависимости от содержания сульфатов в вытяжке. Затем оттитровывают избыток соли Мора 0.01 *n* раствором сульфата церия, пользуясь микробюреткой. Титрование ведут в присутствии 1—2 капель раствора фенилантраниловой кислоты до появления неисчезающей фиолетовой окраски.

Одновременно с анализом в аналогичных условиях производят холостой опыт, и в полученный результат определения сульфата вносят поправку

Таблица 6

Объемное определение сульфата в стандартном растворе K_2SO_4

№ п/п	Взято в мг	Найдено в мг	Ошибка в мг
1	0.368	0.383	+0.015
2	0.736	0.732	−0.004
3	1.472	1.505	+0.033
4	2.208	2.240	+0.032
5	2.944	2.941	−0.003

Необходимые реактивы

1. Соляная кислота, уд. в. 1.12.
2. Раствор хромата бария, 0.005*n*.
3. Аммиачный раствор.
4. Серная кислота 1 : 1.
5. Раствор соли Мора. 0.01 *n* 3.9214 г чистой соли растворяют в 1000 мл 5% серной кислоты и хорошо перемешивают. Титр устанавливают по стандартному раствору сульфата калия в условиях, аналогичных определению серы.
6. Раствор сернокислого церия. $Cr(SO_4)_2$ растворяется в 1 *n* соляной кислоте. Перед началом определения находят соотношение между раствором соли Мора и раствором сернокислого церия.
7. Фенилантраниловая кислота. 0.02 г реактива растворяют в 1000 мл дистиллированной воды, содержащей 0.1 г Na_2CO_3.
8. Раствор сульфата калия. 0.5433 г химически чистого сульфата калия, высушенного при температуре 120° С, растворяют в 1000 мл дистиллированной воды; 1 мл раствора содержит 0.36 мг SO_4. Содержание SO_4 проверяют весовым методом.

11. Определение хлора

Из опубликованных объемных микрометодов определения хлора метод Фольгарда является наиболее приемлемым. По данным И. М. Кольтгофа (1932), чувствительность индикатора K_2CrO_4 к ионам серебра от 3 до $4 \cdot 10^{-5}$, а железоаммонийных квасцов по отношению к роданиону $1 \cdot 10^{-5}$ *n*.

Метод Фольгарда можно применять в кислой среде. Мешают этому определению катионы, которые дают труднорастворимые соединения с ионами CNS, как $Hg^{\cdot\cdot}$, $Cu^{\cdot\cdot}$ и окислители, разрушающие CNS′, как $KMnO_4$, концентрированная HNO_3. Определение хлоридов по методу Фольгарда мы проводили в следующей модификации.

Определенную часть раствора помещали в колбочку Эрленмейера емкостью 50 мл, подкисляли 2—3 каплями концентрированной азотной кислоты и раствор подогревали. К горячему раствору из микробюретки или пипетки прибавляли 0.01*n* раствор азотнокислого серебра с таким расчетом, чтобы его было значительно больше, чем нужно для полного осаждения всего количества ионов хлора. После этого колбочку помещали на водяную баню и нагревали 30 минут для коагуляции хлористого серебра. Затем осадок отфильтровывали через фильтр $d = 5$ см и промывали дистиллированной водой, подкисленной 1—2 каплями концентрированной азотной кислоты на 100 мл воды. Вместо колбочек Эрленмейера можно применять центрифужные пробирки, с последующим центрифугированием осадка хлористого серебра и промыванием осадка сливанием центрифугата. К полученной жидкости прибавляют 0.5 мл насыщенного водного раствора железоаммонийных квасцов и титруют 0.01*n* раствором роданистого аммония при энергичном встряхивании раствора до появления бледно-оранжевого окрашивания. Из прибавленного объема нитрата серебра вычитают объем нитрата серебра, эквивалентный объему затраченного роданида, и разность умножают на титр нитрата серебра, выраженный в хлоре.

Одновременно проводят холостой опыт и полученную величину вычитают из результата определения хлора в вытяжке.

Необходимые реактивы

1. Нитрат серебра 0.01*n*. Химически чистый реактив сушится при 130°. Навеска в 1.7 г растворяется в 1000 мл дистиллированной воды и титр определяется по NaCl по вышеописанному методу.
2. Раствор роданата аммония 0.01*n*. 0.761 г реактива растворяют в 1000 мл воды, а затем находят соотношение между нитратом серебра и раствором роданата аммония в присутствии 0.5 мл раствора железо-аммонийных квасцов.
3. Раствор железо-аммонийных квасцов $(NH_4)Fe(SO_4)_2 12H_2O$. Готовится насыщенный раствор, к которому прибавляется концентрированная азотная кислота до прекращения обесцвечивания раствора.
4. Концентрированная азотная кислота.

Однако в тех случаях, когда мы имеем в вытяжках небольшое содержание хлора и наличие органических веществ, окрашивающих вытяжку, приходится прибегать к потенциометрическому методу определения хлора.

Одна из модификаций потенциометрического титрования хлора, рекомендуемая П. А. Крюковым и Е. С. Фирсовой, сводится к следующему: 2 мл раствора помещается в стаканчик на 50 мл. К раствору прибавляется 20 мл чистого спирта и 5 капель 2*n* H_2SO_4. В титруемый раствор опускается индикаторный (хлорсеребряный) и вспомогательный (составлен из ртути, Hg_2SO_4 и 2*n* H_2SO_4) электроды. Последние соединяются с потенциометром и другими частями цепи. Раствор титруется из микробюретки 0.01*n* раствором нитрата серебра. Данные титрования наносятся на миллиметровую бумагу. По графику находится эквивалентная точка, как точка наибольшего падения электродвижущей силы.[1]

ЛИТЕРАТУРА

Адамович В. И. Определение магния в воде методом колориметрического титрования. Заводская лаборатория, № 8, 1947.

Айдинян Р. Х. О пригодности цинк-уранилового метода для определения натрия в почвенных вытяжках. Пробл. сов. почвов. Сб. 4, 1937.

Алимарин И. П. и Фрид Б. Н. Количественные микрохимические анализы минералов, руд и горных пород. Заводск. лабор., IX, 5—6. 1940.

Алимарин И. П. и Шескольская А. Я. Количественное микрохимическое определение серы. Журн. анал. хим., т. I, в. 3, 1946.

Алимарин И. П. Количественный микрохимический анализ минералов, руд и горных пород. Заводск. лабор., № 4, 1940.

Антипов-Каратаев И. Н. и Мясникова А. М. Объемный кобальтинитритный метод определения калия. Физико-химическое исследования почв. Тр. Ленингр. отд., в. 17, 1933.

Бабко А. Количественный микроанализ силиката. Заводск. лабор., № 10, 1938.

Бабко А. Влияние концентрации водородных ионов на окрашенные комплексы, применяемые в колориметрии. Заводск. лабор., № 6, 1947.

Бабко А. Влияние посторонних ионов на колориметрическое определение металлов. Заводск. лабор., № 9, 1948.

Бабко А. Колориметрическое определение в смеси двух окрашенных компонентов. Заводск. лабор., № 10, 1948.

Виноградов А. В. и Дундур Е. И. Определение натрия в калийных солях. Журн. анал. хим., т. IV, в. 2, 1949.

Волынец М. П. Объемное определение кремнезема в динасах, кварцитах, глинах, шамотах с применением оксихинолина. Заводск. лабор., № 2, 1936.

[1] В данной статье мы не касались физико-химических методов определения других ионов почвенных вытяжек. Между тем, эти методы имеют широкую перспективу они послужат темой специального сообщения.

Гапенко М. В. и Шейницис О. Г. Определение калия в минеральных удобрениях и в почвах. Заводск. лабор., № 4, 1948.
Дымов А. М. Усовершенствованный аппарат для экстракции железа эфиром. Заводск. лабор., № 8, 1948.
Ершова К. Н. и Волкова Г. Н. Определение марганца периодатным методом. Заводск. лабор., № 6, 1947.
Шоу Д. Колориметрия. ОНТИ, 1935.
Кольтгоф И. М., Санделл Е. Б. Количественный анализ, 1938.
Кольтгоф И. М. Общие методы аргентометрического титрования галоидов и роданидов и употребительные индикаторы. Объемный анализ, т. II, 1932.
Конарев М. Определение сульфатов в воде и в водных вытяжках почвы и лечебной грязи титрованием избытка хлорида бария хроматом калия с розоловой кислотой, как индикатором. Акад. Наук СССР. Гидрохим. инст., Гидрохим. матер., т. XII, 1941
Конарев М. Определение в воде и в водных вытяжках почвы и лечебной грязи сульфатов титрованием с родизоновокислым натрием в качестве индикатора. Акад. Наук СССР. Гидрохим. инст., Гидрохим. матер., т. XII, 1941.
Конарев М. Объемный бензидиновый метод определения сульфатов в воде и в водных вытяжках почвы и лечебной грязи. Акад. Наук СССР. Гидрохим. инст., Гидрохим. матер., т. XII, 1941.
Конарев М. Литература, относящаяся к методике определения сульфатов, собранная применительно к гидрохимическому анализу. Акад. Наук СССР. Гидрохим. инст., Гидрохим. матер., т. XII, 1941.
Коренман И. М. Колориметрическое определение железа. Журн. прикл. хим., 7, 1934.
Коренман И. М. Определение натрия по Г. Мюллеру. Количественный микрохимический анализ. 1936.
Коренман И. М. Определение хлоридов. Количественный микрохимический анализ. ОНТИ, 1936.
Коренман И. М. и Гронсберг Е. Ш. Титрование в малых объемах. Журн. анал. хим., т. IV, в. 1, 1949.
Крюков П. А. О методах анализа почвенных растворов. Современные методы исследования физико-химических свойств почв. Т. IV, в. 2, 1947.
Крюков П. А. и Коларова Е. Д. Потенциометрическая микрометодика определения натрия. Почвоведение, № 12, 1939.
Кульберг Л. Микроколориметрия и микронефелометрия. Заводск. лабор., IX, 1940.
Курилова Н. В. и Богомаз И. К. Определение магния. Укр. хим. журн., VI, кн. 4, 1932.
Лендель Г., Гофман В. Г. и Брайт Г. Определение марганца периодатным методом. Анализ черных металлов. Госхимиздат, 1934.
Маляров К. Л. и Юденич Т. Колориметрическое определение малых количеств натрия. Заводск. лабор., № 10, 1934.
Маршев П. М. Колориметрическая реакция на кремневую кислоту. Журн. прикл. хим., т. XVI, № 3—4, 1943.
Пешкова В. М. и Егоров А. Д. Колориметрическое определение железа. Заводск. лабор., IX, № 5—6, 1940.
Приходько Г. В. Определение натрия в калийных солях. Журн. анал. хим., т. IV, в. 2, 1949.
Роде А. А. Определение малых количеств кремнекислоты в природных растворах. Почвоведение, № 4, 1947.
Роде А. А. О колориметрическом определении алюминия. Пробл. сов. почвов., сб. № 6, 1938.
Розанов С. Н. и Маркова Г. А. О колориметрическом методе определения алюминия с ализаринсульфонатом натрия. Заводск. лабор., № 9, 1935.
Сойбельман Б. И. Полумикроаналитическое определение сульфатов йодатным способом. Журн. анал. хим., т. III, в. 4, 1948.
Тартаковский В. Я. Колориметрическое определение алюминия, олова, молибдена и хрома гематоксилиновым способом. Заводск. лабор., № 9, 1940.
Фридрих А. Практика количественного органического микроанализа. ГОНТИ, 1939.
Цивина Б. С. Метод определения малых количеств натрия. Заводск. лабор., № 2, 1949.
Шрайбман А. С. Колориметрическое определение магния с помощью титана желтого. Заводск. лабор., № 8, 1947.
Эмих О. Микрохимический анализ. ОНТИ, 1932.
Abrahamczik E. Colorimetrische Bestimmung von Magnesium mittels Titangelb

unter Entfernung störender Elemente wie Eisen, Aluminium und Mangan durch Ausschüttelung mit Acetylaceton. Microchem., B. XXXIII, H. 2—3, 1947.
Alten F., Weiland H. u. Knippenberg E. Die colorimetrische Aluminiumbestimmung mit Eriochromcyanin. Ztschr. für anal. Chem., B. 96, H. 3—4, 1934.
Broadfoot W. M. a. Browning G. M. Factors influencing determination of sodium in plant materials. J. Assoc. offic. agricult. Chem., v. XXIV, N 4, 1941.
Drosdoff M. a. Nearpass C. Quantitative microdetermination of Magnesium in plant-tissue and soil extracts. Anal. Chem., v. 20, № 7, 1948.
Hammet L. P. a. Sottery C. T. Determination of aluminium by aluminon. J. Am. Ch. Soc., 47, 1935.
Hedin R. Colorimetric method for rapid analysis of silicate materials. Svenska, Forskningsinstitute for Cement Handling, N 8, 1947.
Hurwitz Ch. a. Batchelor H. Colorimetric determination of small amounts of potassium by the chloroplatinate method. Soil Sc., v. 63, № 5, 1947.
Mellan J. Titan Yellow. Organic reagents in inorganic analysis. Philadelphia, 1941.
Nieuwenburg a. Hitarbruen. Determination of aluminium by aluminon. Anal. Chem. Acta, v. 2, N 1, 1948.
Peech Michael a. English Lean. Rapid microchemical soil tests. Soil Sci. v. 57, N 3, 1944.
Reitemeier R. F. Semimicroanalysis of saline soil solutions. Industriel and Engineering Chemistry, June 1943, 15, An. Edition.
Sandell E. B. Colorimetric determination of traces of metals. 1944.
By Rubens Salome Pereira. A new photometric method for the determination of iron. J. of biol. chem., v. 137, N 1, January, 1941.
Steenkamp J. L. Microchemical analysis of soils. Second international congress of Soil Science, Commission II, Soil Chem.
Toth S. G., Prince A. L., Wallace A. u. Mikkelsen D. S. Rapid quantitative determination of eight mineral elements in plant tissue by systematic procedure involving use of a flame photometer. Soil Sci., № 6, v. 66, December, 1948.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Д. М. Хейфец. Запасы фосфора в различных почвах Советского Союза. 5

Д. Л. Аскинази и К. Е. Гинзбург. Роль глинистых минералов почвы в поглощении ионов фосфорной кислоты 20

Д. В. Федоровский. Почвенные условия эффективности единовременного и дробного внесения азотных удобрений под лен. 49

Д. М. Хейфец. Повышение эффективности азотных удобрений под лен в связи с изменением состава почвенного раствора. 68

Л. И. Кораблева. Действие магния на плодородие кислых почв. 82

В. Н. Прокошев. Влияние зеленого удобрения на почвенную кислотность. . . . 99

П. И. Никишкина. Влияние навоза на динамику почвенной кислотности дерново-подзолистой почвы. 113

И. Г. Важенин. О причинах различной эффективности форм калийных удобрений на легких дерново-подзолистых почвах. 127

И. П. Сердобольский. Влияние почвенных условий на превращения соединений марганца в почве. 192

А. А. Лазарев. Некоторые особенности химических свойств серых лесных почв под лесом и под сельскохозяйственной культурой. 217

Н. И. Болотина. Об азотном режиме на целинных степных почвах. 228

В. В. Церлинг. Влияние условий азотного питания на формирование урожая яровых хлебов 250

И. С. Туркова. Влияние окислительных процессов на превращения азотистых веществ и рост растений. 287

Г. М. Кадер. Количественные микрохимические методы анализа некоторых компонентов водных и солевых вытяжек из почв. 300

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *В. Я. Марков*
Технический редактор *Н. А. Невраева*

*

РИСО АН СССР № 4120. Т-08015. Изд. № 2655.
Тип. заказ № 407. Подп. к печ. 9/X 1950 г.
Печ. л. 27,74. Формат бум. 70×108¹/₁₆.
Бум. л. 10,12. Уч.-изд. л. 27,25. Тираж 2000.
2-я тип. Издательства Академии Наук СССР
Москва, Шубинский пер., д. 10

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКА

Стр.	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*
193	27 св.	$[Mn^{\cdot\cdot}] = [OH']^2 = S$	$[Mn^{\cdot\cdot}]\ [OH']^2 = S$
193	29 св.	—КрН...	—2pH...
194	Табл. 2, 2-я гр., 1 сн.	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{2}$
206	8 св.	опыта 2	опыта 1
206	19 св.	варианта 2	варианта 1
206	26 св.	точки 1,	точки 2,
211	1 сн.	вносимого	выносимого
246	1 св.	*И. И. Болотина*	*Н. И. Болотина*