

П. 64

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА имени В. В. ДОКУЧАЕВА
ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
TRANSACTIONS OF THE DOKUCHAIEV SOIL INSTITUTE

АГРОХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

ТОМ XIV

VOL. XIV

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1937 ЛЕНИНГРАД

П-64

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ТРУДЫ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ В. В. ДОКУЧАЕВА
ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
TRANSACTIONS OF THE DOKUCHAIEV SOIL INSTITUTE

АГРОХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

ТОМ XIV
VOL. XIV

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1937 ЛЕНИНГРАД

1937 65978
Т. 14 Труды Гр.
почвенного института
им. В. В. Докучаева.
6-50.

Зобин Дубовин
Дубовин
Мартынов
Мартынов
65978

631.41

Напечатано по распоряжению Академии Наук СССР

Непременный секретарь акад. Н. Горбунов

65948
Библиотека Книгизского
Филиала АН СССР

Технический редактор Э. С. Пикус

Ученый корректор В. В. Теплов

Сдано в набор 11/IX 1936 г. Подписано к печ. 23/II 1937 г. Формат бумаги 72×110¹/₁₆. Объем 12¹/₂ п. л. (57 фиг.)
В 1 п. л. 46 500 экз.—19 уч. зет. з. Тур. 1925 экз. Уполн. Главд. № В-8916 Ресо, 116, АНН № 342. Зак. № 3848.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста "Полиграфкнига". Москва, Валовая, 28.

ОТ РЕДАКТОРА

В этом томе три первые статьи посвящены одной и той же проблеме — изучению плодородия отдельных горизонтов, слагающих профиль подзолистых почв и обыкновенного чернозема. Несколько особняком стоят две следующие статьи: в первой из них излагаются результаты двухлетнего исследования кислования чернозема, а во второй — приводятся итоги по изучению связи хлороза виноградной лозы с почвенными условиями. Шестая статья посвящена весьма важному вопросу о влиянии обменных оснований на разложение органического вещества.

Профильное изучение плодородия отдельных почв весьма ценно как для теории, так и для практики. При географических исследованиях почв химическому анализу подвергаются обычно все горизонты, при агрохимических же исследованиях дело обычно ограничивается установлением агрохимических показателей только для пахотного слоя. Так же обстоит дело и в зарубежных странах.

К выяснению роли химического состава подпахотных горизонтов мы подошли в 1932 г. Перед нами тогда стал весьма важный вопрос: как оценить обеспеченность почвы питательными веществами в том случае, когда их в пахотном слое сравнительно мало, в то время как горизонт В весьма богат ими. Для того чтобы разобраться в общей оценке плодородия такой почвы, необходимо было прежде всего решить задачу: равноценны ли физиологически те питательные вещества различных горизонтов почвы, которые переходят в раствор при обработке почвы слабыми концентрациями кислот. Этот вопрос для P_2O_5 и K_2O подзолистых почв разрешился отрицательно. Оба эти вещества лучше усваиваются растением из пахотного слоя, чем из горизонта В. Отсюда следует вывод, имеющий значение для практики массовых агрохимических исследований, а именно: на подзолистых почвах для постановки прогноза действия минеральных удобрений можно ограничиться исследованием только пахотного слоя с учетом его мощности.

Работы данного цикла должны показать, как нужно подходить к агрохимическому исследованию и других почвенных разностей. В этих исследованиях нельзя ограничиваться только установлением количества доступных питательных веществ в отдельных горизонтах и степенью их использования растением, но необходимо также и объяснить эти явления. Это положение подчеркивает сложность и трудность задачи.

Социалистическое земледелие требует от науки указаний, как рационально вести агротехнику, чтобы в кратчайший срок поднять урожай.

Исходя из этого, наши исследования должны намечать и те пути, при помощи которых можно исправить или поднять плодородие отдельных горизонтов.

Полученные результаты показывают, что на подзолистых почвах плодородие отдельных горизонтов в большинстве случаев сравнительно легко поднимается на большую высоту с первого же года применения минеральных удобрений, в других случаях это достигается только во втором или даже третьем году, а в некоторых — минеральные удобрения почти не дают никакого результата. Следует отметить, что последние случаи составляют сравнительно меньшинство. Очевидно, что для них необходимо указать и те приемы, при помощи которых можно радикально исправить стерильность данных горизонтов. К этой работе мы приступили в 1936 г.

Для профильного изучения плодородия, особенно при высоких урожаях, решающая роль принадлежит треугольнику: почва — вода — растение. В ближайшее время мы имеем в виду начать систематическое изучение плодородия почвы и в этой плоскости совместно с другими отделами Института почвоведения. До сих пор агрохимические исследования имели в виду главным образом рационализацию применения минеральных удобрений, но на ряду с этим настоятельно необходимо вести аналогичные исследования и с точки зрения рационализации обработки.

Нужно установить, какие агрохимические и физические показатели могут быть взяты в качестве диагностических признаков при решении вопросов обработки почвы. Эти показатели должны быть установлены не только для пахотного слоя, но и для других горизонтов почвы, особенно, когда речь идет о глубокой пахоте или о многолетних культурах с глубокой корневой системой.

Профильное изучение плодородия дает ценный материал и для выявления роли эрозии, как это показано в этом томе в нашей работе по изучению горизонтов обыкновенного чернозема с Митрофановского опытного поля. Короче говоря, взятое нами направление имеет широкие перспективы для своего развития.

Исследования по кислованию чернозема не открывают широких перспектив для его применения, но они отчетливо выявляют необходимость применения на черноземе физиологически кислого набора удобрений.

Работа по хлорозу виноградной лозы, выполненная под моим руководством Закавказским институтом виноградарства и виноделия, посвящена крайне важному вопросу — о связи этой болезни с почвенными условиями. Это первое в СССР экспериментальное исследование в данной области.

Май, 1936 г.

А. Кирсанов

А. Т. КИРСАНОВ

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАХОТНОГО СЛОЯ И ПОДСТИЛАЮЩИХ ЕГО ГОРИЗОНТОВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

1. Постановка вопроса

К этому вопросу мы подходили в трех наших предыдущих работах.¹ Его постановка вызывается прежде всего тем, что на подзолистых почвах нередки случаи, когда при бедности пахотного слоя питательными веществами, как, например, легкорастворимой P_2O_5 , в подстиляющих его горизонтах эта же форма P_2O_5 находится в очень больших количествах (иногда в 5—7 раз больше), чем в пахотном слое. Отсюда ясно, что для постановки прогноза действия минеральных удобрений нужно прежде всего выяснить, равноценна ли эта P_2O_5 пахотного слоя и подстиляющих его горизонтов с точки зрения питания растения.

От решения этого вопроса зависит вся методика химического исследования почвы в целях химизации.

Агрохимическое изучение отдельных горизонтов профиля ценно также и для решения таких практических вопросов, как обработка почвы; оно может дать конкретный материал для решения вопроса о глубине и способах обработки почвы.

Если по ряду соображений приходится вывернуть на дневную поверхность малопродуктивный слой почвы, как, например, сильно оподзоленный горизонт, то на основе агрохимического исследования можно будет указать, как повысить его плодородие.

В настоящее время усиленное внимание в общей и специальной прессе отводится эрозии. С ней, конечно, нужно всемерно бороться. При обширности нашей территории в этой борьбе следует прежде всего выявить наиболее опасные места, являющиеся в то же время наиболее ценными для культуры.

Там, где склоны велики, вопрос решается легко в силу резко выраженных эрозии, и потерь плодородия почвы; но там, где склоны выражены слабо, эрозия действует более медленно, и ее результат прежде всего зависит от характера плодородия отдельных горизонтов.

¹ Почвоведение, № 5, 1935; Труды Почв. инст. Акад. Наук СССР, т. XII, 1935 и Труды майской сессии Акад. Наук 1935 г.

Если плодородие почвы по всему профилю более или менее одинаково, то в таком случае результаты эрозии слабо и медленно отражаются на урожае. Повидимому, такие случаи сравнительно редки, но они все же встречаются, как показывает послойное изучение образца обыкновенного чернозема с опытного поля Богучары (Воронежской обл.), произведенное нами в 1935 г. Мы изучали этот образец послойно, начиная с горизонтов 0—20 см и кончая 90—110 см. Более подробно об этом исследовании будет изложено дальше, а теперь только отметим, что на всю глубину изучаемого профиля плодородие этого образца было почти одинаковым. Подобное профильное изучение может дать ценные указания для переотвалки и перекопки почвы при посадке деревьев, закладке многолетних плантаций и т. д.

Таким образом, профильное изучение плодородия почвы весьма ценно не только в целях химизации, но и при борьбе с эрозией и при постановке вопросов обработки почвы. Вряд ли есть необходимость говорить здесь о теоретической ценности подобного изучения с точки зрения характеристики генезиса отдельных горизонтов и почвенного профиля в целом. Мы приступили к изучению этого вопроса в 1933 г. и начали с изучения двух подзолистых почв, с точки зрения физиологической оценки легкорастворимых форм P_2O_5 и установления принципов химического исследования почв в целях прогноза действия P_2O_5 -удобрений. В 1934 г. мы продолжили исследование на этих двух почвах и в дополнение к ним взяли два варианта тех почвенных разностей, на которых в 1933 г. ставились опыты. В 1935 г. мы продолжили все эти опыты и дополнили их изучением вышеупомянутого образца чернозема.

В этом году в работу включился Б. А. Ганжа и поставил ряд опытов в вегетационном павильоне ВИУАА по изучению того же чернозема и ряда подзолистых почв из нескольких точек окрестностей Москвы и Западной области. В этом сообщении мы коснемся только тех опытов, которые велись нами, начиная с 1933 г. в вегетационных сосудах в Детском Селе. Результаты первого года работ уже опубликованы в одной из наших работ.¹ Чтобы придать цельность изложению, мы в кратких чертах приведем и здесь результаты исследования 1933 г.

2. Опыт 1933 года

Почвы для этих опытов были взяты на двух полях, обозначаемых нами А и С, около ж.-д. ст. Плюсса, между Псковом и Лугой. На этих участках мы встретились с весьма сильным накоплением P_2O_5 , определяемой по нашему методу на глубине 46 и 70 см. Для изучения взяты с каждой из почв пахотный слой и слои с указанных глубин.

З. Ю. Шокальская так характеризует взятые горизонты.

Почва участка А имеет пахотный горизонт темноватобурого цвета и представляет собой мелкий песок; ее горизонт B_2C_1 —47—71 см желтый, мелко-средне-зернистый песок; вся почва песчаная, средне-подзолистая.

¹ Тр. Почв. инст. АН. СССР, т. XII.

Почва участка С — тяжело-суглинистая, скрыто подзолистая.

Пахотный горизонт по механическому составу характеризуется как легкий суглинок; горизонт B_2C_1 50—70 см глубины представляет валунную глину коричнево-бурого цвета. Следует отметить, что взятая для опытов масса из нижнего горизонта участка А состояла на 90% из горизонта B_2 и на 10% из горизонта C_1 ; на участке С — обратное положение: 90% из горизонта C_1 и 10% из B_2 . Для краткости в обоих случаях даем для нижних горизонтов одно и то же обозначение— B_2C_1 . Обе почвы бедны гумусом; по методу Тюринна они показали такое количество гумуса (в %):

	Участок А	Участок С
Горизонт А	1.6	2.3
» B_2C_1	0.1	0.3

В виду особого интереса мы произвели исследование растворимости P_2O_5 в различных концентрациях HCl , начиная с 0.01 и кончая 0.2н. Исследование производилось по нашему методу, с получасовым воздействием кислоты на почву. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание легкорастворимой P_2O_5 на пахотном горизонте А и горизонте B_2C_1 участков А и С

Горизонт	Начальная концентрация HCl	Конечная концентрация HCl	P_2O_5 мг	Горизонт	Начальная концентрация HCl	Конечная концентрация HCl	P_2O_5 мг
Пахотный горизонт	А—I			Пахотный горизонт	С—I		
	0.01	0.007	0.5		0.01	нейтр.	нет
	0.02	0.015	2.0		0.02	0.006	слаб. сл.
	0.03	0.025	3.0		0.03	0.014	сл.
	0.04	0.035	4.0		0.04	0.023	0.5
	0.05	0.044	5.0		0.05	0.032	0.5
	0.10	0.092	10.5		0.10	0.080	3.0
	0.20	0.192	17.0		0.20	0.177	6.0
Горизонт B_2C_1	А—II			Горизонт B_2C_1	С—II		
	0.01	0.006	2.5		0.01	нейтр.	1.5
	0.02	0.015	8.0		0.02	0.003	11.0
	0.03	0.024	12.5		0.03	0.008	16.0
	0.04	0.034	15.0		0.04	0.016	20.0
	0.05	0.044	17.5		0.05	0.024	22.5
	0.10	0.092	30.0		0.10	0.069	30.0
	0.20	0.192	34.0		0.20	0.164	41.0

Для установления фактической доступности P_2O_5 нижних горизонтов мы поставили в 1933 г. вегетационные опыты с пахотными и глубинными горизонтами этих почв, в сосудах на 6 кг почвы по схеме: О.РКН и КН.

Для испытания были взяты ячмень. Питательные вещества вносились в количестве по 1 г на сосуд: P_2O_5 в Na_2HPO_4 N, в виде $(NH_4)_2SO_4$ и

K_2O в смеси $KCl + K_2SO_4$. В табл. 2 приводим результаты урожая в г на сосуд.

Таблица 2

Горизонты	0		РКН		КН	
	З+С	З	З+С	З	З+С	З
Участок А						
Горизонт А	11.6	5.1	16.8	4.7	17.6	6.2
» B_2C_1	2.1	0.4	7.9	3.2	2.5	0.0
Участок С						
Горизонт А	12.5	5.8	37.9	14.0	25.4	8.7
» B_2C_1	2.1	0.4	18.1	6.4	9.3	3.7

Примечание. З+С—зерно и солома; З—зерно.

Эти цифры показывают, что доступная P_2O_5 пахотного слоя, определенная по нашему методу, вполне отвечает действительности. Почва участка А содержит 17 мг доступной P_2O_5 на 100 г почвы и вполне обеспечивает развитие растений. Почва участка С содержит всего только 6 мг P_2O_5 ; она по нашему индексу для подзолистых почв должна сильно нуждаться в фосфорнокислых удобрениях, что вполне подтверждается выводами вегетационного опыта, по данным которого она дала прибавку урожая от внесения P_2O_5 на 50% по общей массе и около 70% по зерну.

Что же касается содержания P_2O_5 , растворимой в 0.2n HCl горизонта B_2C_1 обеих почв, то здесь опыт показывает, что нет никакого соответствия между действием удобрений и химическим анализом этих горизонтов. Несмотря на высокое содержание легко извлекаемой P_2O_5 : 34 и 41 мг, в обоих случаях мы имеем весьма сильную положительную реакцию на внесенную P_2O_5 в удобрения. Если бы мы взяли среднюю пробу на всю глубину почвы, с полным включением горизонта B_2C_1 , то в таком случае для почвы А получили бы реальную картину ее отзывчивости на фосфорнокислое удобрение, что же касается участка С, то здесь такое взятие пробы на увеличенную глубину привело бы к неправильному прогнозу действия P_2O_5 .

Отсюда ясно, что на подзолистых почвах, повидимому, следует учитывать только легкорастворимую P_2O_5 пахотного горизонта.

Интересно отметить, что без удобрений нижние горизонты обеих почв дали почти один и тот же урожай, примерно, в 6 раз ниже, чем горизонт А. Почва участка С, более богатая гумусом в обоих изучаемых горизонтах по сравнению с почвой участка А, дала по полному удобрению урожай больше чем в 2 раза по сравнению с участком А. Еще более резка эта картина по действию НК на нижних горизонтах этих почв.

Отсюда следует, что использование P_2O_5 почвы зависит прежде всего от общих свойств почвы. В данном примере особенно отчетливо сказалась роль механического состава и гумуса.

Итак, опыт показывает, что нельзя P_2O_5 , извлекаемую по нашему методу из пахотного горизонта и из более глубоких горизонтов подзолистых почв, считать в одинаковой степени доступной растению. У читателя может возникнуть вопрос, что положение о равноценности P_2O_5 различных горизонтов почвы может в корне измениться, если за основу извлечения брать не 0.2n HCl, а более слабые концентрации этой кислоты. Табл. 1 показывает, что при всех концентрациях, даже при такой слабой, как 0.01n, все же горизонты В содержат больше растворимой P_2O_5 , чем горизонты А. Мало того, данные той же таблицы говорят, что при более слабых концентрациях горизонты В отдают раствор в процентах больше P_2O_5 , чем горизонты А. При концентрации 0.2n почвы участка А в верхнем и нижнем горизонтах переводят в раствор P_2O_5 в количествах, относящихся как 1 : 2. При концентрации 0.01n HCl то же отношение равно 1 : 5. Аналогичное отношение видим и на почве участка С.

3. Продолжение опыта 1933 г. по использованию ячменем P_2O_5 глубинных горизонтов в 1934 и 1935 гг.

В 1934 и 1935 гг. удобрения давались в тех же количествах и тех же соединениях, как и в 1933 г. Все 3 года высевался Энгельгардовский двухрядный ячмень. В табл. 3 приводим урожай ячменя в г на сосуд после просушки при 100°.

Таблица 3

Урожай 1934 г.

Горизонты	0		РКН		КН	
	З+С	З	З+С	З	З+С	З
Участок А						
Гор. А	14.3±2.0	7.0±1.2	75.5±4.8	39.1±4.0	53.2±0.6	22.7±1.2
» B_2C_1	1.2±0.2	нет	57.1±1.9	29.3±0.8	3.4±0.1	0.6±0.0
Участок С						
Гор. А	13.8±0.5	4.8±0.3	88.0±1.1	44.2±0.5	49.7±2.6	24.6±2.4
» B_2C_1	3.0±0.5	1.1±0.3	64.7±1.0	34.5±0.6	35.3±3.1	17.9±1.7

Сравнение урожая этого года с предыдущим показывает, что урожай без удобрения во всех сериях почти не изменился, тогда как действие удобрений во всех сериях, за исключением горизонта B_2C_1 участка А (песчаная почва), сильно возросло. Полное удобрение на участке А на пахотном горизонте повысило общий урожай почти в 5 раз и урожай зерна почти в 9 раз по сравнению с предыдущим годом. На участке С на гор. А общий урожай повысился больше чем в 2 раза, при

увеличении урожая зерна в 3 раза; урожай по РКН на гор. B_2C_1 того же участка в 1934 г. увеличился в 3.5 раза, по зерну же — почти в 6 раз. Таким образом, перед нами картина резко повышенного действия повторного внесения удобрений в следующем году. Невольно возникает вопрос: чему приписать это действие — метеорологическим ли условиям вегетации или здесь отразилось то суммарное изменение почвы, которое у нас называется окультуренностью почвы. На этот вопрос трудно ответить без специальных исследований, но его нельзя обойти молчанием в силу его огромной практической важности. Дело в том, что минеральные удобрения в широком масштабе в СССР стали применяться только при советской власти и что далеко не всегда в первом году малокультурные почвы могут давать то повышение урожая, которое от них ожидается. При многолетних вегетационных опытах мы неоднократно сталкивались с тем, что и в условиях вегетационного опыта все же урожай может в значительной степени колебаться в зависимости от метеорологических условий.

Аналогичное явление отмечал в своих работах проф. М. А. Егоров.¹ По нашим наблюдениям влияние метеорологических условий обычно отражалось на сосудах как с удобренной, так и с неудобренной почвой. При данном опыте в сосудах без удобрения во всех 4 сериях урожай оба года был почти одинаков. В силу этого невольно подсказывается преобладающее влияние окультуренности почвы, созданное первым внесением удобрения. Это удобрение было использовано урожаем первого года только в незначительной части, а остальная часть удобрений и могла создать окультуренность почвы и по существу, может быть, является той или иной степенью насыщения поглотительной способности почвы катионами и анионами, вносимыми в первых дозах удобрений.

Теперь остановимся на действии P_2O_5 -удобрений в верхнем горизонте обоих участков. Почва участка А содержала 17 мг доступной P_2O_5 , почва участка С — всего только 6 мг. В полном соответствии с этими данными пахотный горизонт участка А не давал прибавки от P_2O_5 -удобрений, тогда как на участке С урожай повысился на 50% в общей массе и на 70% в зерне. Предположенный на основании химического исследования эффект действия P_2O_5 -удобрений вполне подтвердился при опытах в сосудах. Что же касается вегетационного опыта как метода прогноза действия удобрений, то он в данном случае оказался непригодным, так как гор. А участка А в 1934 г. дал весьма значительную прибавку от P_2O_5 -удобрений, тогда как в 1933 г. совершенно не было эффекта от данного удобрения. Эта прибавка по общему урожаю составляла 42% от урожая КН. На участке С та же прибавка равнялась 78%. К сожалению, мы не брали проб химического исследования в 1934 г. до начала опыта, чтобы не нарушать нормального хода его.

Что касается основного нашего вопроса — использования легкорастворимой P_2O_5 глубинных горизонтов во втором году, то в этом отношении

¹ М. Егоров. Химизация социалистического земледелия, № 2, 1932.

обе почвы разошлись. P_2O_5 почвы на участке А почти так же мало была использована в текущем году, как и в предыдущем, несмотря на то, что по полному удобрению урожай по сравнению с предыдущим годом сильно возрос, увеличившись по общей массе в 8 раз и по зерну в 9 раз. На участке С при внесении НК общий урожай в 1933 г. повысился на 7.2 г по сравнению с нулевым сосудом, тогда как в 1934 г. прибавка от НК составила 32.3 г. Таким образом, легкорастворимая форма P_2O_5 горизонта B_2C_1 участка С оказалась доступной в большей степени, чем участка А.

Но если поставить вопрос в основной его форме: использовал ли ячмень большие запасы легкорастворимой P_2O_5 нижних горизонтов, то и в этом году приходится дать отрицательный ответ.

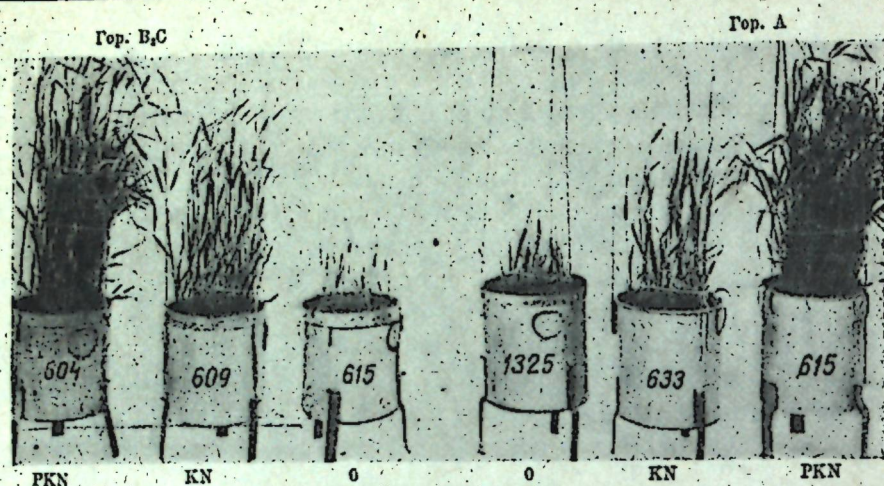
Таблица 4

Урожай ячменя 1935 г.

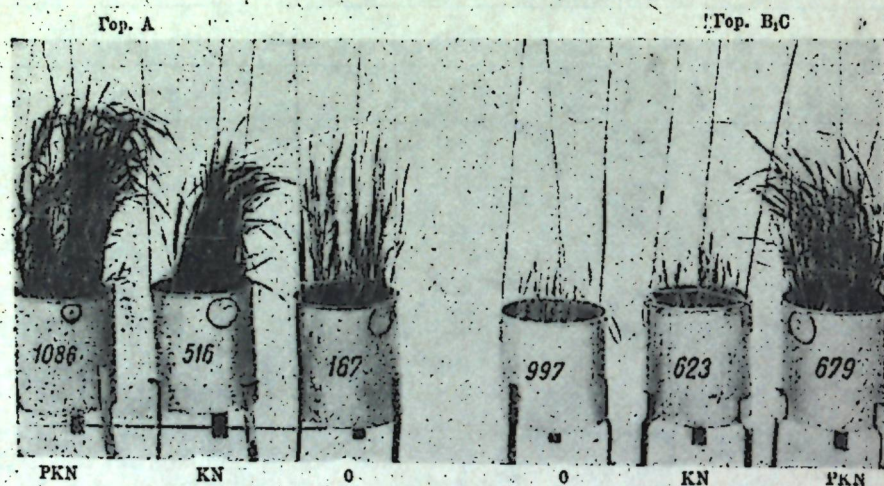
Г о р и з о н т ы	0		РКН		КН	
	з+с	з	з+с	з	з+с	з
Участок А						
Горизонт А	12.9	5.8	71.2	29.6	31.5	10.2
» B_2C_1	1.5	0.3	27.4	9.7	2.1	0.7
Участок С						
Горизонт А	9.4	2.8	74.3	34.9	30.0	13.8
» B_2C_1	1.8	0.4	76.6	37.8	35.9	17.6

Урожай 1935 г. по сравнению с 1934 г. не дают ничего принципиально нового, а только подтверждают, что плодородие горизонта B_2C_1 участка С вполне сравнялось с пахотным слоем того же участка при внесении удобрений, как РКН, так и КН, и осталось без всяких изменений без дачи удобрений. На участке А и полное удобрение в нижнем горизонте действовало слабо, что же касается КН, то это удобрение никак не отражалось на поднятии урожая, как и в два предыдущие года.

Таким образом, нельзя подходить одинаково к оценке плодородия подпахотных горизонтов даже двух почв и их отзывчивости на удобрения, базирясь только на химическом определении P_2O_5 и на их урожаях без удобрения. Но это не значит, что в данном случае более детальное химическое изучение не окажет помощи в этом трудном вопросе. Дальше мы увидим, что такое изучение может осветить и эту темную сторону вопроса, но пока рассмотрим, как растение использовало P_2O_5 почвы и удобрений. Фиг. 1 и 2 отчетливо показывают отсталость развития ячменя на гор. А участка А.



Фиг. 1. Использование ячменем P_2O_5 почвы и удобрений из горизонтов участка С.



Фиг. 2. Использование ячменем P_2O_5 почвы и удобрений из горизонтов участка А.

1. Сводка прибавок урожая за 3 года и использование ячменем P_2O_5 почвы

В табл. 5 мы даем по отдельным годам и всем 4 сериям урожай нулевых сосудов, прибавку урожая от PKN по сравнению с нулевыми сосудами, а также прибавку от KN по разности также с нулевыми сосудами. Обычно при подобных опытах отсутствуют нулевые сосуды, но мы вводим их во все схемы не только для того, чтобы определить производительность почвы без удобрения, но и для того, чтобы в дальнейшем установить, насколько подвижен в почве тот элемент питания растения, который отсутствует в парной комбинации удобрений. Сравнение урожаев KN сосудов с нулевыми показывает не только действие этих удобрений, но в то же время определяет, какое количество растительной массы может

произвести растение дополнительно за счет P_2O_5 самой почвы. Обычно применяемое сравнение урожаев PKN и KN отчетливо показывает, как

Прибавки урожая ячменя за 3 года в г на сосуд

Таблица 5

Г о д и	Урожай нулевых сосудов	Прибавка PKN—0	Прибавка KN—0	Урожай нулевых сосудов	Прибавка PKN—0	Прибавка KN—0
Участок А		Горизонт А		Горизонт B_2C_1		
1933	11.6	5.3	6.0	2.1	11.1	0.0
1934	14.3	61.2	38.3	1.2	55.9	2.2
1935	12.9	58.3	18.6	2.1	25.9	0.6
Сумма за 3 года	38.8	124.8	62.9	5.4	92.9	2.8
Участок С		Горизонт А		Горизонт B_2C_1		
1933	12.5	25.4	12.9	2.1	16.0	7.3
1934	13.8	74.2	36.1	3.0	61.7	32.3
1935	9.4	64.9	21.6	1.8	74.8	34.1
Сумма за 3 года	35.7	164.5	70.6	6.9	152.5	73.7

действует P_2O_5 удобрений на данном фоне, но оно не может пролить света на вопрос, в какой степени почва в состоянии снабжать растение своими фосфатами при улучшении условий питания растений.

Таблица 6

Сопоставление действия P_2O_5 -удобрений и усвоения P_2O_5 почвы ячменем с агрохимическими показателями

Показатели	Участок А		Участок С	
	А	гор. B_2C_1	А	гор. B_2C_1
Урожай нулевых сосудов за 3 года	38.8	5.4	35.7	6.9
P_2O_5 почвы при KN - обеспечивает за 3 года прибавку урожая	62.9	2.8	70.6	73.5
P_2O_5 удобрений обеспечивает за 3 года прибавку урожая	61.9	90.1	93.9	78.8
Механический состав	песч.	песч.	суглин.	глина
Гумус	1.6%	0.1%	2.3%	0.3%
S по 0.1n HCl	4	4	10	15
P_2O_5 (0.2n HCl) в мг на 100 г почвы в 1933 г.	17	34	6.0	41.0

Прежде всего следует отметить, что крайне близкие и мало колеблющиеся урожаи нулевых сосудов как пахотных слоев, так и горизонта B_2C_1 дают возможность весьма полно использовать цифровые данные для иллюстрации действия как P_2O_5 удобрения, так и P_2O_5 почвы.

Урожай нулевых сосудов показывает, что почва действительно не получала до опытов, по крайней мере, в значительных количествах удобрения.

В первом году, благодаря внесению KN-удобрений почвы повысили подачу P_2O_5 из своих запасов во всех случаях, за исключением горизонта B_2C_1 на участке А, но действия P_2O_5 удобрений или не было, или оно было очень слабым. Это действие сильно проявилось только во втором году во всех сериях. Факт этот показывает, что первая доза удобрений почти полностью поглощалась всеми горизонтами, и растения только в самом незначительном проценте могли использовать ее. Второй год в корне изменил положение: почвы поглощали вторую дозу P_2O_5 удобрения очень слабо, и растения сильно использовали P_2O_5 удобрения. Прибавки урожая третьего года отчетливо демонстрируют то же положение. Что касается использования P_2O_5 почвы при внесении KN-удобрений, то оно было значительно в первом году, резко (от 3 до 5 раз) увеличилось во втором году и во всех случаях ощутительно снизилось в третьем году. Только горизонт B_2C_1 участка С так же усиленно подает P_2O_5 из собственных запасов в третьем году, как и во втором.

На горизонте B_2C_1 участка А ни при каких дозах солей не повышается усвоение растением P_2O_5 почвы, но P_2O_5 удобрений действует значительно сильнее (примерно на 50%), чем на пахотном слое.

Подводя итоги, следует сказать:

1) доступная P_2O_5 пахотного слоя, определяемая химическими методами, может служить критерием для определения потребности почв в этих удобрениях с учетом степени прочности поглощения почвой P_2O_5 удобрений;

2) при этом определении нет необходимости учитывать P_2O_5 более глубоких горизонтов, так как легкорастворимая в них P_2O_5 физиологически не равноценна той же форме пахотного слоя и слабо используется растением;

3) действие P_2O_5 -удобрений в горизонте B_2C_1 подзолистых почв может быть так же сильным, как и в пахотном слое;

4) при применении минеральных удобрений следует считаться с усиленным поглощением как катионов, так и особенно P_2O_5 на бедных почвах. Повидимому, здесь необходимо в первое время применять усиленные дозы и только после заправки почвы удобрениями переходить к нормальным дозам;

5) действие PKN сильно на всех горизонтах и в значительной степени нивелирует их урожайность.

Что дают отдельные агрохимические показатели для пахотного слоя? Повышенное количество легкорастворимой P_2O_5 совпадает с более высоким урожаем без удобрения. Другими словами, повышенное содержание P_2O_5 показывает не только большую обеспеченность этим питательным веществом, но и более высокую общую производительность пахотного слоя; KN-удобрения, мобилизуя P_2O_5 почвы, дают более высокий урожай на участке С, сравнительно бедном P_2O_5 . Р-удобрения дают прибавку на 50% больше на участке С, чем на участке А. Такой ход

прибавок вполне отвечает тому, что можно было ожидать по химическому анализу. Урожай в 1935 г. по полному удобрению на обеих почвах почти сравнялись. В конечном итоге можно сказать, что прогноз действия Р-удобрения на основе нашего химического метода для пахотных слоев оправдался с точностью, вполне достаточной для практики.

Теперь обратимся к нижним горизонтам. Количество легкорастворимой P_2O_5 в этих горизонтах показывает, что обе почвы так богаты ею, что не должны давать прибавки от Р-удобрения; в действительности же оказалось, что на обоих участках глубокие горизонты крайне нуждались в Р-удобрении. Мобилизация P_2O_5 почвы на участке С происходит так же интенсивно в горизонте B_2C_1 , как и в пахотном слое; что же касается участка А, то здесь эта мобилизация за все 3 года не дала никакого результата.

Такое резкое отличие подвижности P_2O_5 почвы, повидимому, связано с механическим составом и содержанием гумуса. Механический состав является комплексным признаком, определяющим целый ряд свойств почвы, в том числе и количество обменных оснований. Увеличение этих последних и гумуса до известных пределов и создает благоприятную обстановку для использования природных фосфатов растением при помощи других удобрений.

В 1935 г. по снятии урожая были взяты пробы для определения рН и легкорастворимой P_2O_5 . Приводим величины рН в водной суспензии по хингидроному методу:

Участок	Горизонт	0	PKN	KN
А	А	6.7	6.6	6.2
А	B_2C_1	6.9	6.6	6.3
С	А	7.1	6.8	6.7
С	B_2C_1	7.4	7.0	6.8

Эти цифры показывают, что реакция почвы была вполне благоприятна для развития ячменя и что KN-удобрения вызывали на обоих горизонтах участка А заметное понижение рН, что при данной его величине не могло понижать урожая и вместе с тем содействовало переходу в более подвижную форму фосфатов почвы. Ниже мы приводим количество P_2O_5 почвы, растворимой в 0.05N HCl при отношении почвы к кислоте 1:5, 30-минутном взбалтывании и 10-минутном отстаивании.

Участок	Горизонт	Удобрения			P_2O_5 до начала опыта
		0	PKN	KN	
А	А	4.8	17.5	4.8	5.0
А	B_2C_1	13.7	30.0	16.2	17.5
С	А	следы	7.5	следы	0.5
С	B_2C_1	16.2	30.0	20.0	22.0

Вначале рассмотрим, как изменилось содержание P_2O_5 в сосудах без удобрений. Здесь мы встречаемся с резкими отличиями горизонтов А и горизонтов B_2C_1 : в то время как в первых количество легкорастворимой P_2O_5 за 2 года почти не изменилось, на горизонтах B_2C_1 обоих участков произошло уменьшение ее, несмотря на то что урожай горизонтов А были в 5—10 раз больше, чем на горизонтах B_2C_1 . Это показывает, что мобилизация P_2O_5 сильнее происходит в первом горизонте, чем в нижних, что, повидимому, находится в связи с повышенным количеством гумуса в этих слоях. KN-удобрения, за исключением горизонта B_2C_1 участка А, во всех остальных случаях дали значительные повышения урожая: 63—71 г на сосуд за 3 года. Такое повышение урожая также произошло без понижения содержания легкорастворимой P_2O_5 . Из этого видно, что KN-удобрения сильно мобилизуют природные фосфаты почвы, если рН и другие факторы не задерживают процесса.

Если взять средний состав ячменя 5.3 мг P_2O_5 на 1 г урожая, при отношении зерна к соломе 1 : 1, и сделать пересчет с площади сосуда на га, то мобилизация P_2O_5 под влиянием данных удобрений составит около 135 кг, или 45 кг в год.

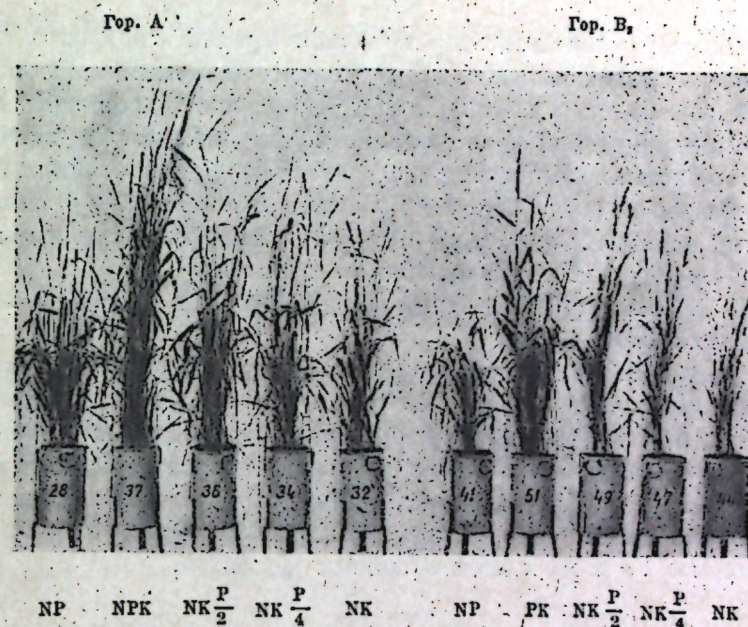
При полном удобрении минимальный вынос P_2O_5 урожаем по тому же среднему составу, как и в предыдущем случае, для горизонта А участка А составляет 857 мг, для горизонта B_2C_1 того же участка — 521 мг, для горизонта А участка С — 1060 мг и горизонта B_2C_1 того же участка — 843 мг. На основании средних данных нельзя сделать точного подсчета использования вносимых удобрений, но грубо можно считать, что из внесенных за 3 года 3000 мг P_2O_5 растения использовали не более 50% и что это использование было сильнее на участке С, чем на участке А. Более детально мы остановимся на этом вопросе при изучении действия доз P_2O_5 , которое позволит более точно установить поглощения данных удобрений каждой почвой.

5. Как изменялись отношения урожаев на горизонтах А и B_2C_1 в 1935 г.

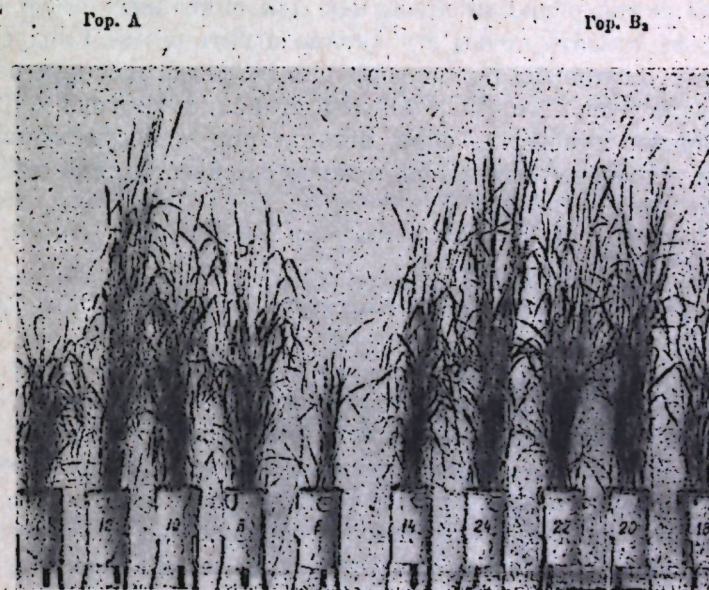
Для этого сравнения примем за 100 урожай горизонта А участка А; в таком случае получим следующие отношения:

Удобрения	Участок А		Участок С	
	гор. А	гор. B_2C_1	гор. А	гор. B_2C_1
0	100	12	73	14
KN	100	7	94	110
PKN	100	29	105	108

Из первой строки видно, что урожай без удобрения весьма резко отличаются друг от друга и что особенно низки урожаи на нижних горизонтах обеих почв. При даче KN-удобрений разности урожая в большинстве



Фиг. 3. Действие удобрений на горизонтах А и B_2 почвы А



Фиг. 4. Действие удобрений на горизонтах А и B_2 почвы С

случаев сильно сглаживаются, и только урожай горизонта B_2C_1 участка А очень резко отстает. При полном удобрении разница между урожаями еще более сглаживается, и отстает опять горизонт B_2C_1 участка А. С практической точки зрения важно наметить те пути, при помощи которых можно заставить действовать удобрения в таких условиях, которые мы имеем на горизонте B_2C_1 участка А, так же сильно, как и в других случаях. Для этого имеется в виду испытать в следующем году в небольших дозах известкование и навоз.

Фиг. 3 и 4 (стр. 17) иллюстрируют действие удобрений на отдельных зонах обеих почв в 1935 г.

В предыдущих наших работах¹ мы отмечали, что при недостатке P_2O_5 на подзолистых почвах KN-удобрения могут понижать урожай. Сравнение первого отношения со вторым показывает, что на горизонте B_2C_1 участка А урожай под влиянием KN сильно понизился, тогда как на соответствующем участке С сильно поднялся. Это показывает, что на горизонте B_2C_1 участка А очень мало доступной P_2O_5 и что она связана главным образом с Fe и Al в виде основных фосфатов.

6. Действие доз P_2O_5 и K_2O -удобрений на различных горизонтах подзолистых почв

А. Действие Р-удобрений

Это исследование велось в 1934—1935 гг. Для данных опытов хотя мы и брали те же разности почв, как для описанных выше опытов, но все же нельзя считать почвы эти вполне идентичными. Следует отметить, что для этих опытов мы брали гор. А и B_2 , тогда как для первых опытов мы брали гор. А и B_2C_1 . Опыты ставились 2 года с одним и тем же двухрядным ячменем — сорт Энгельгардт в сосудах емкостью на 2 кг почвы, удобрения вносились в таких количествах на сосуд:

$$P_2O_5: 0.4 \text{ г} = \frac{P}{1}, \quad 0.2 \text{ г} = \frac{P}{2}, \quad 0.1 \text{ г} = \frac{P}{4} \text{ из } Na_2HPO_4,$$

$$K_2O: 0.4 \text{ г} = \frac{K}{1}, \quad 0.2 \text{ г} = \frac{K}{2} \text{ в равных количествах по } K_2O \text{ из } KCl \text{ и } K_2SO_4, \text{ и } 0.5 \text{ г N в } (NH_4)_2SO_4.$$

Сначала рассмотрим потребность почвы в P_2O_5 -удобрениях. Эта потребность обычно выражается как разность урожаев по PKN и KN. Сравнивая урожай при PN и KN, можно отчетливо видеть, в каком элементе — К или Р — больше нуждалась почва. Интересно отметить, что и в том и в другом году урожай по полному удобрению на пахотном слое участка А и на обоих горизонтах участка С были весьма близки друг к другу. В 1934 г. они колебались в пределах 25—29 г, в 1935 г. — в пределах 32—37 г на сосуд. При предыдущем опыте урожай по PKN во втором году в пахотных слоях повысился по сравнению с первым годом, такое

же явление повторилось и при новом опыте. Урожай по PN показывают совершенно иную картину: они выше на пахотных слоях, чем на

Таблица

Урожай ячменя (зерно + солома) в г на сосуд по отдельным годам и горизонтам

Горизонты и годы	PN	PN $\frac{K}{2}$	NK	KN $\frac{P}{4}$	KN $\frac{P}{2}$	KN $\frac{P}{1}$
Уч. А, гор. А { 1934	25.5±0.9 ¹	25.2±1.2	4.2	9.8±1.6	20.6±4.2	27.6±2.4
1935	17.7	25.0	5.7	12.1	нет данн.	37.6
Уч. А, гор. B_2 { 1934	7.7	16.9±0.8	2.3	5.9±3.0	16.3±6.2	20.5
1935	2.4	13.1	3.8	6.0	14.1	16.1
Уч. С, гор. А { 1934	32.6	25.6±1.6	8.6	23.8±2.6	21.2±0.5	28.7±3.5
1935	25.3	41.0	4.2	23.4	нет данн.	35.0
Уч. С, гор. B_2 { 1934	16.3±7.3	24.6±2.2	3.1	18.6±2.9	25.9±2.2	25.6±1.6
1935	16.6	30.3	6.9	27.2	30.7	31.5

Урожай зерна в г на сосуд

Таблица 8

Горизонты и годы	NP	NP $\frac{K}{2}$	NK	NK $\frac{P}{4}$	NK $\frac{P}{2}$	NK $\frac{P}{1}$
Уч. А, гор. А { 1934	12.7±0.7	11.6±0.4	1.3±0.2	3.7±0.5	10.4±2.2	14.0±1.4
1935	6.4	10.5	1.4	5.1	нет данн.	14.3
Уч. А, гор. B_2 { 1934	3.5±0.2	7.4±1.3	0.7	1.7±0.9	7.5±3.3	10.1±0.7
1935	0.0	4.3	1.3	2.4	5.5	5.5
Уч. С, гор. А { 1934	16.3±0.7	13.5±1.0	4.1±0.5	10.9	14.6±0.5	14.1±1.5
1935	8.1	18.1	0.5	9.9	10.0	14.9
Уч. А, гор. B_2 { 1934	11.6±2.6	12.7±0.4	0.8	9.3±1.4	нет данн.	12.3±1.5
1935	6.8	15.1	3.1	12.9	14.6	15.3

глубинных горизонтах, и во втором году резко снижаются, за исключением горизонта B_2 участка С, где урожай остается без изменения. Этот факт указывает на то, что почвы недостаточно обеспечены подвижным К.

Теперь определим более точно потребность в Р по разности урожаев PKN — KN и PN — KN.

Таблица 9

Прибавки урожаев в г на сосуд

Удобрения и годы	Участок А		Участок С	
	гор. А	гор. B_2	гор. А	гор. B_2
NP—KN { 1934	23.4	18.2	20.1	22.5
1935	31.9	12.3	31.8	24.6
Сумма	55.3	30.5	51.9	47.1
NP—KN { 1934	21.3	5.4	24.0	9.7
1935	12.2	—1.4	21.1	13.2

¹ В табл. 7 отклонения приводятся только в тех случаях, где они больше 0.5 г на сосуд и в табл. 8—0.2 г и выше.

Сравнение урожаев по NP и NK-удобрениям за оба года показывает, что почвы больше нуждались в P, чем в K; однако, нельзя не отметить, что в то время как разность урожаев по NPK и NK во втором году увеличилась, разность урожаев по NP и NK в том же году понизилась, что указывает на возрастающую потребность этих почв в K-удобрениях.

Теперь перейдем к рассмотрению действия доз P_2O_5 -удобрений. Действие I дозы определяется разностью урожаев $KN \frac{P}{4} - KN$, II — по разности $KN \frac{P}{1} - KN \frac{P}{4}$, III — по половине разности урожая $KNP - KN \frac{P}{2}$; во всех случаях берется сумма зерна и соломы.

Таблица 10

Прибавки от различных доз P-удобрения в г на сосуд

Удобрения и годы	Участок А		Участок С	
	гор. А	гор. В ₂	гор. А	гор. В ₂
I доза	1934	5.6	3.6	15.2
	1935	6.4	2.2	19.2
II доза	1934	10.8	10.4	7.4
	1935	нет данн.	8.1	нет данн.
III доза	1934	3.5	2.1	-1.3
	1935	8.1 ¹	1.0	3.9 ¹

На фиг. 5 представлены прибавки урожая от I, II и III доз P_2O_5 , а также общая сумма их, отмечаемая буквой S. Мы берем лишь данные 1934 г., так как они более отчетливо показывают действие P_2O_5 , чем данные 1935 г. Для последнего года мы имеем пропуски в двух точках и, кроме того, здесь приходится считаться с наложением доз. Фиг. 5 отчетливо показывает различие хода прибавок урожая на участках А и С. На участке А на обоих горизонтах I доза P_2O_5 -удобрений повышает урожай в 2—3 раза слабее, чем II; III доза действует слабее первой.

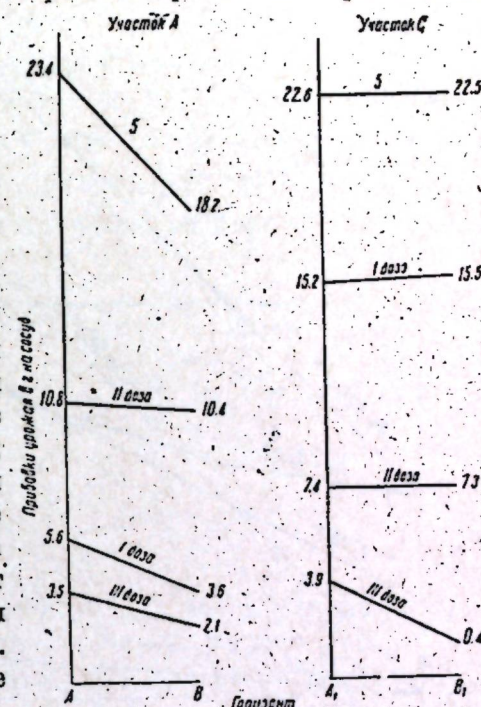
На участке С чрезвычайно сильно повышение урожая от I дозы P_2O_5 . Действие II дозы меньше половины I и прибавка от III дозы близка к нулю. Такой своеобразный характер кривой для каждой почвы заслуживает особого внимания. Здесь следует отметить два важных момента: 1) горизонт А и горизонт В₂ несут в себе резко отличные черты химизма и, тем не менее, поглощение ими P_2O_5 почти одинаково; 2) по общим представлениям поглощение P_2O_5 должно быть сильнее выражено на участке С, где мы имеем дело с глинистой почвой, тогда как в действительности оно оказалось больше на участке А с песчанистой почвой.

¹ Вычисление сделано по формуле: $\frac{NKP - NK \frac{P}{4}}{3}$

Можно ли вскрыть подмеченное нами явление усиленного поглощения P_2O_5 песчаными горизонтами путем химических исследований? Для ответа на этот вопрос мы располагаем кривыми критического равновесия P_2O_5 по принципу Demolon¹ на образцах почв, взятых до опытов, и исследованиями почв в конце опыта.

На фиг. 6 (стр. 22) даны кривые критического равновесия при 0.05n HCl. Эти кривые не отражают фактического положения: горизонт А участка А имеет максимальное поглощение, горизонт В₂ того же участка показывает полное отсутствие поглощения и обеспеченность почвы P_2O_5 . Почти то же показывают и кривые равновесия обоих горизонтов участка А в 1% лимонной кислоте; но оба горизонта участка С в этой кислоте дают кривые, идущие выше и параллельно биссектрисе, тогда как при 0.05n HCl они пересекают ее. Аналогичную картину дают и кривые равновесия при 0.2n HCl.

Более ценными оказались данные P_2O_5 в пробах почв, взятых в 1935 г. по снятии урожая. В этих пробах мы произвели и определение pH в водной суспензии хингидронным методом при 10-минутном взбалтывании.



Фиг. 5. Прибавки урожая ячменя при различных дозах P-удобрения

Таблица 11

Изменения pH

Участок	Горизонты	NP	$NP \frac{K}{2}$	NK	$NK \frac{P}{4}$	$NK \frac{P}{1}$	NKP
А	А	6.7	6.6	5.9	6.2	6.3	6.7
А	В ₂	6.4	6.9	6.4	6.4	7.2	7.2
С	А	6.5	6.4	5.6	6.1	6.1	6.2
С	В ₂	6.9	6.8	6.3	6.9	7.0	нет данн.

Таблица показывает обычную картину подкисления под влиянием KN-удобрений. Это подкисление более сильно на горизонтах А, чем на горизонтах В₂; отметим кстати, что почти во всех случаях горизонт В₂

¹ А. Т. Кирсанов. Тр. Почв. инст. Акад. Наук СССР, т. XII, 1935.

имеет менее кислую реакцию, чем горизонт А. Интересно также отметить, что увеличение P_2O_5 вызывает уменьшение кислотности почвы, как этого и следовало ожидать, имея в виду, что удобрение давалось в виде Na_2HPO_4 .

Для определения легко-растворимой P_2O_5 мы брали вытяжку 0.05л HCl при отношении почвы к кислоте 1:5 при 30-минутном взбалтывании и 10-минутном отстаивании.

Прежде всего следует отметить, что несмотря на разнообразие удобрений, на различия в высоте урожая, горизонты B_2 во всех случаях содержат больше легко-растворимой P_2O_5 , чем горизонты А; эта разность составляет от 2 до 5 мг на 100 г почвы. Подобное явление наблюдалось и при предыдущем опыте.

В качестве важнейшего момента исследования мы отмечали, что на участке А прибавка урожая от I дозы удобрения была значительно меньше,

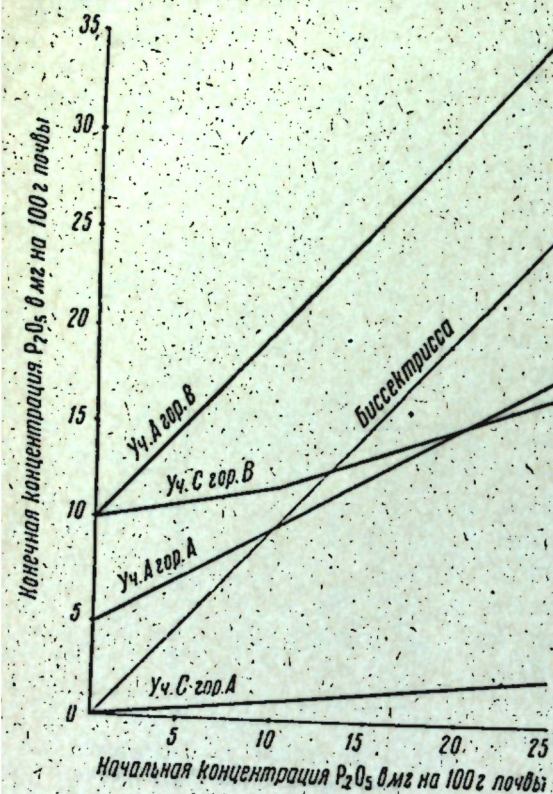
чем от второй; эта прибавка для горизонтов А и B_2 , соответственно, составляла 12 и 6 г на сосуд. Для участка С эти величины выражаются

P_2O_5 в мг на 100 г почвы

Таблица 12

Участок	Горизонты	NP	$NP \frac{K}{2}$	KN	$KN \frac{P}{4}$	$KN \frac{P}{2}$	KNP
А	А	12.5	10.0	5.0	5.1	5.0	13.7
А	B_2	17.5	15.0	7.0	7.5	7.5	17.7
С	А	7.2	10.0	3.7	3.2	3.5	7.5
С	B_2	11.2	12.5	6.2	5.0	5.1	11.0

в 34 и 35 г. Казалось бы, что такому резкому отличию урожая должны соответствовать и аналогичные различия уменьшения легко-растворимой P_2O_5 . Минимальный вынос на участке А должен быть 64 и 35 мг и на участке С — около 180 мг. Последняя цифра отвечает уменьшению P_2O_5 в виде 9 мг на 100 г почвы; но если сравнить количество данной формы P_2O_5



Фиг. 6. Критическое равновесие P_2O_5 при конц. 0.05 н HCl

в сосудах $KN \frac{P}{4}$ и KN , то оно осталось почти без изменений; отсюда ясно, что на участке А большая часть P_2O_5 -удобрений перешла в поглощенное состояние и стала недоступной растениям. При дозе $\frac{P}{4}$ за 2-года дано 200 мг P_2O_5 в удобрениях, и это количество полностью использовано урожаем на участке С, тогда как большая часть его на участке А перешла в неусвояемую для растений форму. При переходе от дозы $\frac{P}{2}$ к $\frac{P}{1}$ происходит резкое повышение содержания легко-растворимой P_2O_5 .

Сопоставим разность в содержании P_2O_5 в почвах сосудов $KN \frac{P}{2}$, $KN \frac{P}{1}$ с разностью урожаев тех же сосудов.

Показатели	Участок А		Участок С	
	Гор. А	Гор. B_2	Гор. А	Гор. B_2
Разность P_2O_5 в мг на 100 г почвы	8	10	4	6
Разность урожаев в г на сосуд	24	6	—8	1

На участке А оба горизонта сильнее повысили урожай и, несмотря на это, показывают большее содержание легко-растворимой P_2O_5 , чем те же горизонты на участке С. Если сопоставить этот факт с рассмотренными выше изменениями легко-растворимой P_2O_5 при дозе $\frac{P}{1}$, то станет ясным, что поглощение P_2O_5 почвой является функцией не только свойств почвы, но и дозы внесенного удобрения; при малых дозах Р-удобрений P_2O_5 сильнее поглощается песчаной почвой, чем суглинистой, но при больших дозах избыток P_2O_5 -удобрений становится более подвижным на песчаной почве. Песчаная почва удерживает поглощенную P_2O_5 сильнее суглинистой в тех случаях, когда на 100 г почвы приходится 5—7 мг P_2O_5 . Сложившееся общее представление, что песчаные почвы поглощают P_2O_5 слабее, чем суглинистые, очевидно, обязано тому, что исследователи брали для изучения сравнительно большие дозы P_2O_5 .

В результате наших исследований можно установить новое положение: при малых количествах внесенной P_2O_5 она может сильнее поглощаться песчаной почвой, чем суглинистой, и только при больших дозах P_2O_5 суглинистая почва поглощает P_2O_5 энергичнее, чем песчаная. Это положение имеет важное практическое значение, так как показывает, как удобрять песчаные и суглинистые почвы, близкие по своим свойствам к тем, которые изучались нами. На песчаных почвах можно ожидать успеха только от больших доз Р-удобрений, на суглинистых почвах — и более скромные дозы тех же удобрений будут значительно повышать урожай. Если на практике при обеих разностях почв будут применяться одни и те же малые или средние дозы Р-удобрений, то вполне возможно,

что при первом их внесении получится повышение урожая только на суглинистых почвах и лишь при повторном внесении тех же доз удобрений песчаные почвы повысят урожай.

Теперь весь вопрос сводится к тому, насколько установленное нами положение имеет универсальный характер, т. е. можно ли его распространить на все виды песчаных и суглинистых почв пахотной зоны или же применение оно должно быть ограничено только почвами, близкими к изучавшимся? Но, что оба горизонта изучавшихся почв в отношении поглощения P_2O_5 и легкости отдачи ее растениям ведут себя на каждой почве одинаково, позволяет допустить, что круг применения нашего приложения может быть достаточно широким, но вполне определенно сказать, насколько он широк, можно только при дальнейшем изучении систематического ряда почв на основе вегетационного опыта в сосудах и в поле с однопосевным изучением особенностей химизма сорбции и десорбции P_2O_5 на отдельных почвах. Только сочетание этих двух методов может обеспечить успех. Если бы в данном исследовании мы ограничились только одними вегетационными опытами, то их вывод имел бы узко ограниченное значение. С другой стороны, если к этому вопросу подойти только путем химического исследования, то в таком случае нельзя будет подметить той грани поглощения P_2O_5 почвой, за которой начинается усвоение ее растениями на пахотной почве.

Что установление широко обобщающих положений крайне нужно и для теории и для практики, об этом не может быть двух мнений; вопрос лишь в том, насколько необходима выработка таких положений. Прежде всего приходится отметить, что решение вопроса зависит от той точности, с которой мы подходим к охвату явления. При точности, вполне достаточной для практических целей, по одному механическому составу можно установить целый ряд весьма ценных обобщений, как, например, по вопросам влажности почвы.

При одном и том же количестве гумуса песчаные почвы имеют меньшую влагоемкость, меньшую гигроскопичность и т. д. Если для установления нами положения о поглощении P_2O_5 почвой, в зависимости от механического состава ее и доз вносимых удобрений, ограничиться подобной же точностью, то в таком случае можно рассчитывать на успех при дальнейшем разрешении вопроса для практических целей.

Б. Действие доз К-удобрений

На основании табл. 8 мы составили следующие две таблицы: 13а — для пахотных горизонтов и 13б — для горизонтов B_2 , чтобы рассмотреть действие отдельных доз К-удобрений. Здесь мы имеем всего 2 дозы — 0.2 г и 0.4 г K_2O на сосуд.

Почва участка А остро нуждается в К-удобрениях, хотя действие их в первом году было слабым. На участке С в 1934 г. К-удобрения даже значительно снижали урожай.

Во втором году на том же участке картина резко изменилась: от I дозы получилось повышение урожая больше чем на 50%, но II доза дала

отчетливое понижение урожая. Это понижение урожая увязывается с тем, что и в первом году К-удобрения понижали урожай. В 1935 г.

Таблица 13а

Действие K_2O на пахотном горизонте

Урожай и прибавки в г на сосуд (3+С)					
участок	год	уро ж а й		прибавки урожая	
		по РКН	по РН	от I дозы	от II дозы K_2O
А	1934	27.6	25.5	— 0.3	2.4
	1935	37.6	17.7	7.0	12.6
С	1934	28.7	32.6	— 7.0	3.1
	1935	35.0	25.3	15.7	— 6.0

эта почва стала сильно нуждаться в К-удобрениях и в то же время на ней получилась депрессия от К-удобрений, как только эти удобрения были даны в большем количестве, чем 165 кг/га по расчету на K_2O . Этот момент заслуживает особого внимания, так как депрессия урожая от К-удобрений составляет довольно редкое явление.

Таблица 13б

Действие K_2O на горизонтах B_2

Урожай и прибавки в г на сосуд (3+С)					
участок	год	уро ж а й		прибавки урожая	
		по РКН	по РН	от I дозы K_2O	от II дозы K_2O
А	1934	20.5	7.7	9.2	3.6
	1935	16.1	2.4	10.7	3.0
С	1934	25.6	16.3	8.3	1.0
	1935	31.6	16.6	13.7	0.8

Цифры показывают необычайное сильное действие К-удобрений; это действие во втором году сильнее, чем в первом, и определяется главным образом первыми дозами.

В отношении поглощения К нельзя установить такого различия между почвами, какое было замечено при анализе действия P_2O_5 -удобрений. Оба горизонта участка А в 1% лимоннокислой вытяжке до начала опыта дали одно и то же количество К — 11 мг на 100 г почвы; при обработке 0.2л HCl при воздействии HCl в течение 24 часов горизонт А показал 12.3 мг К и горизонт В — 17.2 мг. По этим данным, горизонт В был более обеспечен, чем А, однако прибавка урожая от калия по РН-удобрениям за 2 года на пахотном слое была 22 г, а прибавка на B_2 — 26.5 г. На обоих горизонтах изучалось поглощение 100 г почвы 25, 50, 75 и 100 мг К из KCl и K_2SO_4 в 1% лимонной кислоте и

в 0,2n HCl. Отношение почвы к раствору — 1 : 10. При обоих испытаниях горизонт А поглощал на 10—20% К больше, чем горизонт В₂.

Для участка С мы не производили подобных исследований; горизонт В₂ этого участка также богаче доступным К, чем горизонт А. Здесь прибавка урожая от К-удобрений за 2 года на гор. А при дозе $\frac{K}{2}$ составляла 9 г на сосуд, при дозе $\frac{K}{1}$ всего только 6 г, тогда как для горизонта В₂ эти числа, соответственно, составляют 22 и 24 г. Приводимые ниже данные анализа почв по снятии двух урожаев показывают, что горизонт В₂ во всех сосудах, за исключением сосуда с удобрением KN, имел одно и то же или повышенное количество доступного калия. Это положение заставляет и в отношении калия горизонтов А и В₂ сделать тот же вывод, какой мы сделали для легкорастворимой Р₂О₅: калий, растворимый в слабокислотных вытяжках (0,05 и 0,2n HCl) горизонтов А и В₂ физиологически неравноценен, он лучше усваивается растением из горизонтов А, чем из горизонтов В₂.

Теперь обратимся к определению доступного калия по нашему методу в пробах почв, взятых в 1935 г. по снятии двух урожаев ячменя. Для вытяжки бралась 0,2n HCl, при отношении почвы к кислоте 1 : 5, при одном часе взбалтывания и 1 часе отстаивания.

Таблица 14

Содержание К по снятии урожая в 1935 г. в мг на 100 г почвы
(Анализ А. А. Большаковой)

Участок	Горизонт	NP	NP $\frac{K}{2}$	KN	KN $\frac{P}{4}$	KN $\frac{P}{2}$	KNP
А	А	9.7	9.0	34.0	9.3	8.6	11.7
	В ₂	7.2	10.7	10.7	7.3	7.3	8.2
С	А	5.8	7.0	24.5	5.1	8.3	9.5
	В ₂	8.7	9.0	14.7	7.2	8.1	9.7

Из сопоставления содержания доступного калия с данными урожая (табл. 8) вытекает:

1) Сильное мобилизирующее действие на калий Na₂HPO₄. Для выявления этого момента сопоставим разность содержания доступного калия

Показатели	Участок А		Участок В	
	гор. А	гор. В ₂	гор. А	гор. В ₂
Разность в содержании К в мг на 100 г почвы	-0.7	0.0	3.2	0.9
Разность урожаев в г на сосуд	19	18	15	21

в сосудах с удобрением KN $\frac{P}{2}$ и KN $\frac{P}{4}$ в конце 1935 г. с разностями урожаев тех же сосудов за 2 года.

Минимальный вынос калия в урожае 100—140 мг, или 5—7 мг на 100 г почвы, а, между тем, ни в одном сосуде нет уменьшения доступного калия; больше того, в большинстве случаев отмечается его увеличение, доходящее до 3 мг на 100 г почвы. Аналогичный вывод получается и при сравнении разностей доступного калия и урожаев сосудов с удобрениями KNP и KN $\frac{P}{2}$.

Показатели	Участок А		Участок С	
	гор. А	гор. В ₂	гор. А	гор. В ₂
Разность в содержании К в мг на 100 г почвы	3.1	0.9	1.2	1.6
Разность урожаев в г на сосуд	15	6	-8	-1

Эти ряды показывают, что мобилизация калия сильнее идет на участке А, чем на участке С; это положение наиболее отчетливо проявляется на горизонтах А.

2) При слабых урожаях ячменя на горизонтах В₂ происходит сильный переход воднорастворимого калия в обменное состояние. Чтобы убедиться в этом, сопоставим содержание доступного калия и урожай ячменя в сосудах с KN-удобрением.

Показатели	Участок А		Участок С	
	гор. А	гор. В ₂	гор. А	гор. В ₂
Мг доступного К на 100 г почвы	34.0	10.7	24.5	14.7
Урожай в г на сосуд	10	6	13	10

За 2 года эти сосуды получили 800 мг К в удобрениях, или 40 мг на 100 г почвы. Вынос К в урожае колебался в пределах 2—3 мг на 100 г почвы, и, тем не менее, содержание доступного калия понизилось во всех случаях на значительно большую величину. Переход в обменное состояние наиболее сильно сказался на участке С, максимум этого перехода получился на горизонтах В₂.

Переход калия в обменную форму отнюдь не означает его полной недоступности растениям; внесение Na₂HPO₄ одновременно повышает и подвижность калия и его усвояемость растением. Вопрос о количественной стороне этого перехода в обменное состояние выходит из рамок настоящей статьи. В данном случае для нас весьма важно только

отметить, что этот переход сильно сказывается на горизонтах B_2 . Может быть, в этом и кроется причина того, что эти горизонты сильнее реагируют на К-удобрения, чем горизонты А, хотя и содержат по сравнению с последними повышенные количества калия, переходящего в слабокислотные вытяжки.

Выводы

На основании двух серий опытов с ячменем в вегетационных сосудах, продолжавшихся в одной серии 3 года и в другой — 2 года на горизонтах А и B_2 подзолистых почв, а также химических исследований этих почв можно сделать следующие выводы:

1. P_2O_5 и К, растворимые в слабокислотных вытяжках (0.05 и 0.2N HCl) горизонтов А и B_2 , физиологически неравноценны. Растения лучше используют эти питательные вещества из горизонтов А, чем из горизонтов B_2 , несмотря на то что их было больше во вторых горизонтах, чем в первых.

2. Пониженная усвояемость P_2O_5 горизонта B_2 , повидимому, находится в связи с его бедностью гумусом; меньшая доступность К того же горизонта совпадает с усиленным переходом доступного калия в обменное состояние.

3. Из первого положения вытекает практический вывод: при химическом исследовании почв в целях прогноза действия К и Р-удобрений на подзолистых почвах следует ограничиться только определением этих элементов в горизонте А.

4. При исследовании выявились особенности песчаных и суглинистых почв в отношении поглощения ими P_2O_5 и усвоения растениями Р-удобрений. Горизонты А и B_2 химически резко отличны, несмотря на то оба они ведут себя одинаково. Это указывает на то, что гумус не имеет значения в поглощении P_2O_5 почвами. При малых дозах Р-удобрений поглощение сильнее на песчаных почвах, чем на суглинистых, при больших дозах — наоборот. Сложившееся представление, что песчаные почвы слабее поглощают P_2O_5 , чем суглинистые, не отвечает фактической стороне дела и обязано тому, что прежние исследования велись при больших дозах P_2O_5 . Необходимы дальнейшие исследования по этому вопросу, которые могли бы придать устанавливаемому нами положению или более широкий характер или ограничить его определенным кругом разностей почв.

5. КN-удобрений при pH около 6.5 производят сильное мобилизующее действие на P_2O_5 фосфатов почвы. В свою очередь Na_2HPO_4 производит сильное действие на подвижность калийных соединений почвы.

6. Горизонты B_2 резко отличаются от горизонтов А по сильному переходу воднорастворимого калия в обменное состояние.

A. KIRSANOV

AGROCHEMICAL PECULIARITIES OF THE ARABLE LAYER AND THE PODSOLISED HORIZONS

Summary

The following conclusions are drawn in consequence of two series of pot-culture experiments with barley, continued in the first case for three years, and in the second — for two years on the horizons А and B_2 of podzolised soils; likewise in consequence of chemical studies of the same soils:

1. P_2O_5 and К, soluble in slightly acid extracts (0.05 and 0.2N HCl) in the horizons А and B_2 , are physiologically not equal. The plants are profiting more these nutriment from horizons А, than from horizons B_2 in spite of the fact, that in the second horizon there were much more nutriment, than in the first.

2. The low assimilation of P_2O_5 from horizon B_2 stands apparently in connection with its low humus contents; the reduced accessibility of К in the same horizon is correlated with the intensified passing of the exchangeable К to an unchangeable state.

3. The following practical conclusion can be drawn from the first case: carrying out chemical studies of soils in order to determine the effect of К and Р-fertilizers on podzolised soils, it is sufficient to determine these elements in horizon А only.

4. The singularity of the sandy and loam-soils with regard to their P_2O_5 absorption and the assimilation of Р-fertilizer by the plants, has become apparent in the course of these investigations.

In spite of the complete chemical difference of the horizons А and B_2 their behavior is identical. This fact indicates that humus has no significance for the P_2O_5 — absorption by soils. In the presence of small doses of Р-fertilizers, absorption is higher in sandy soils than in loam-soils; in case of big doses the effect is inverse. The common conclusion that the P_2O_5 — absorption of sandy soils is lower than that of loam-soils has not been confirmed by facts and has arisen evidently as a result of former investigations carried out with large doses of P_2O_5 .

Further investigations of this problem are necessary in order to give it either a broader scope or to confine it to a certain range of soil varieties.

5. КN-fertilizers by pH (6.5), have a powerful mobilization effect on the P_2O_5 phosphates of the soil. As regards Na_2HPO_4 it has a similar effect on mobilization potassium soil compounds.

6. The horizons B_2 are perfectly different from horizons А as regards a vigorous passing of water-soluble potassium to a not replaceable state.

А. Т. КИРСАНОВ

УСВОЕНИЕ P_2O_5 РАСТЕНИЯМИ НА РАЗЛИЧНЫХ ГОРИЗОНТАХ
ОБЫКНОВЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА

1. Постановка вопроса

В этой работе мы преследовали 2 цели. Первая из них — выявление плодородия отдельных горизонтов без удобрения и при полном удобрении. Значение подобных исследований подробно излагалось в одной из наших работ,¹ где отмечалась ценность их не только для химизации, но и для решения вопросов обработки почвы и эрозии. Что плодородие подзолистых почв резко различно для отдельных горизонтов, в этом вряд ли у кого-либо есть сомнения; что же касается изменения плодородия по отдельным слоям чернозема, то здесь следовало бы ожидать более однородного поведения отдельных горизонтов, чем на подзолистых почвах. К этому вопросу более 30 лет назад подходил С. В. Щусев.² Он изучал послойно горизонт А (пахотный); до 6 вершков, АВ (подпахотный) и горизонт В; последние два горизонта брались каждый на 4 вершка глубины. Только сосуды без удобрения для пахотного слоя брались с повторностью, во всех остальных — повторности не было. С. В. Щусев пришел к выводу, что подстилающие пахотный слой горизонты имеют резко пониженное плодородие и что при помощи полного удобрения их плодородие нельзя поднять до плодородия пахотного горизонта.

Мы решили подойти к этому вопросу путем исследования образца обыкновенного чернозема Митрофановского опытного поля, взяв слой 0—20, 20—40, 50—70, 90—110 см, т. е. почти в 2 раза большую глубину, чем брал Щусев. Вторая цель нашей работы состояла в том, чтобы проследить, как будут действовать отдельные дозы P_2O_5 -удобрений на взятых горизонтах при обычных условиях, при подкислении H_2SO_4 и при внесении $FeCl_3$. Это дополнительное изучение вызывалось следующими соображениями. По мере того как мы углубляемся в черноземе и переходим от пахотного слоя к материнской породе, pH обычно возрастает, и в связи с этим возрастают трудности усвоения растением P_2O_5 . В одной

¹ См. в настоящем томе А. Т. Кирсанов. Агрономические особенности пахотного слоя и подстилающих его горизонтов подзолистых почв.

² С. В. Щусев, Журн. опытной агроном., кн. 4, стр. 611, 1901.

из наших работ¹ мы указывали, что при нейтральной реакции почва может не реагировать на P_2O_5 -удобрения, но подкисление или внесение $FeCl_3$ может создать благоприятные условия для действия P_2O_5 -удобрений. Из новейших работ по этому вопросу можно указать на статью М. George, Buchner a. Breazeale², в которой указывается, что CO_2 почва и ее pH являются основными факторами действия P_2O_5 -удобрений на карбонатных почвах и что только от суперфосфата можно ожидать успеха на них. В наших исследованиях мы взяли 2 дозы P_2O_5 — 40 и 80 мг на сосуд в 2 кг почвы, т. е. в 10 и 5 раз меньше, чем обычно берется при вегетационных опытах (1 г P_2O_5 на 5—6 кг почвы). В пересчете на кг/га первая доза отвечала 37.5 кг/га и вторая — 75 кг/га. При таких малых дозах явления поглощения почвой P_2O_5 должны были особенно отчетливо сказаться на нижних горизонтах. С современной точки зрения наиболее ценным анионом для питания растений является H_2PO_4 . Отсюда вполне понятно сильное действие суперфосфата, в котором P как раз представлен в виде этого ценного для растения аниона.

Кроме того, благодаря избытку свободной H_2SO_4 суперфосфат имеет резко выраженную кислую реакцию (pH около 2.0). Эта кислая реакция способствует дальнейшему сохранению анионов H_2PO_4 и HPO_4 . Нижние горизонты чернозема неблагоприятны для существования этих анионов, но это не значит, что в точке соприкосновения корневого волоска с почвой не может образоваться нужный нам анион. Корневые выделения на небольшом пространстве могут резко изменить реакцию среды, в результате чего может получиться нужный растению анион.

2. Описание чернозема

Выемка почвы произведена почвоведом А. Г. Сеньюшовым. Приводим описание разреза.

Разрез № С — 3

Название почвы: обыкновенный чернозем. Пункт: Митрофановский опытный пункт. Северный участок Б — IV — 2 Ю — Б четверть клина. Рельеф и микрорельеф: водоздельное плато. Угодие и его культурное состояние: поле из-под яровой пшеницы. Начало вскипания от HCl с 38 — 70 см. Глубина разреза — 130 см.

Описание горизонтов почвы

Мощн. в см	Описание
0 — 16	Черный, влажный, перепашанный, равномерно окрашенный суглинок, комковато-зернистой структуры. Постепенно переходит в следующий горизонт. Нижняя граница намечается по плотности.
16 — 38	Чуть плотнее того же цвета, суглинистый, зернистая структура ярко выражена. Окраска равномерная; внизу структурные отдельности крупнее, в окраске приобретает снизу буроватый оттенок. Переход постепенный, нижняя граница выражена заметнее.

¹ Тр. ЛОБИУАА, вып. 39, стр. 18, 1935.

² J. of Am. Soc. of Agr., 27, № 5, p. 330, 1935.

Мощн. в см

38 — 70 Заметно плотнее, неравномерной окраски от включений крупных пятен кротовин и заклинков. Общий тон окраски темный от преобладания гумусовых потоков. Кротовины и заклинки вскипают с 38 см, гумусовые потоки, не вскипает до 70 см.

70 — 130 Грязнокоричневая, бурно вскипающая глина, местами нифильтрованная тонкими потоками гумуса. В левой стороне разреза широкий карман гумуса доходит до 88 см. Со 120 см и до дна ямы обильные выделения карбонатов в виде пятен величиной до 3 см.

Весь разрез заметно влажен, причем влажность постепенно и ровно увеличивается.

Таблица 1

Краткая химическая характеристика отдельных горизонтов

(Анализы Е. П. Корчагиной)

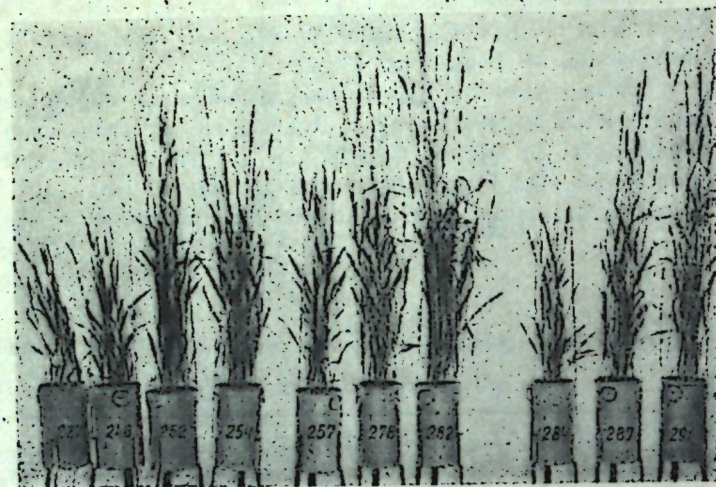
Горизонты	pH водн.	pH солев.	S по Каррену	N общ. %	N легко гидролиз. в мг/м³	Обм. в мг/м³	P_2O_5 в мг/м³ по Кирсанову
0 — 20	6.7	5.7	50.0	0.27	65	38.9	10.5
20 — 40	7.0	5.9	48.4	0.20	46	30.7	8.9
50 — 70	7.9	7.2	108.1	0.11	44	27.8	4.0
90 — 110	7.9	7.4	137.8	0.06	19	27.2	3.2

Во всех горизонтах отсутствовала водорастворимая P_2O_5 и извлекаемая 0.05n HCl, точно так же, как 0.2n уксусной кислоты. В первых 2 горизонтах S показывает сумму обменных оснований, в двух нижних сюда же входят и катионы карбонатов.

3. Постановка вегетационных опытов

Для каждого горизонта было образовано 3 серии: 1-я (А) основная без изменения почвы, 2-я (Б) с прибавлением на сосуд в первых двух горизонтах 20 м-экв. и в двух следующих — 80 м-экв. H_2SO_4 из раствора 0.1n, 3-я (В) для первых двух горизонтов 10 м-экв., а для вторых — 20 м-экв. $FeCl_3$ из раствора 0.05n. Следует отметить, что считая по первой дозе и для первых горизонтов $FeCl_3$ давалось в 5 раз больше, чем требовалось для образования $FePO_4$ из внесенного удобрения, K и N вносились в количествах по 0.2 г на сосуд, первый в обычной нашей смеси KCl и K_2SO_4 и N — в виде $(NH_4)_2SO_4$; P_2O_5 вносился в виде Na_2HPO_4 в таких микродозах, как 40 и 80 мг на сосуд. Емкость сосуда — 2 кг почвы. Высевался двухрядный Энгельгардовский ячмень; убрал при полной зрелости, урожай просушен при 100°.

Развитие ячменя на пахотном слое и на слое глубины 90—110 см в различных сериях представлено на фиг. № 1 и 2. Фиг. № 3 дает картину действия P_2O_5 -удобрения в основной серии на каждом из четырех горизонтов.

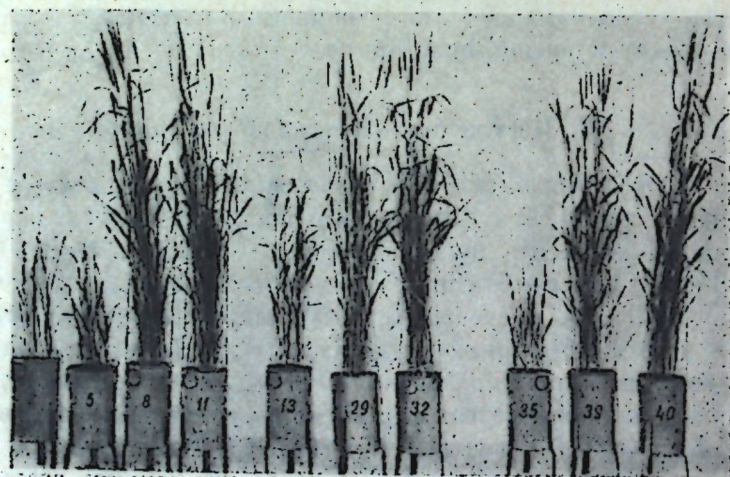


0 KN KNP, KNP,
Основная серия

KN KNP, KNP,
Серия II

KN KNP, KNP,
Серия FeCl₃

Фиг. 1. Развитие ячменя на различных сериях пахотного слоя обыкновенного чернозема (0—20 см)

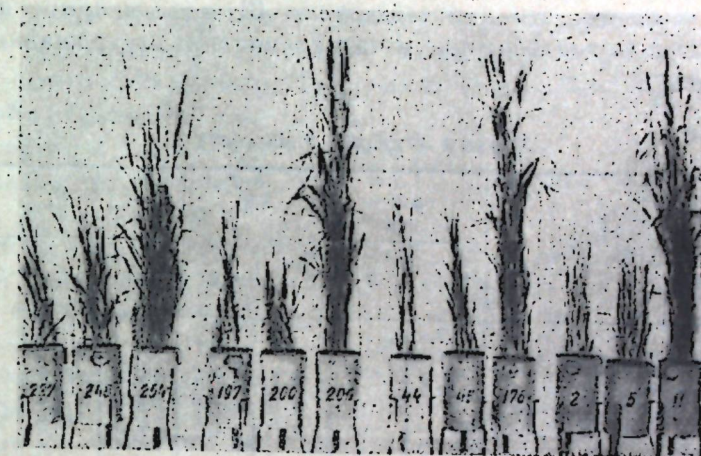


0 KN KNP, KNP,
Основная серия

KN KNP, KNP,
Серия II

KN KNP, KNP,
Серия FeCl₃

Фиг. 2. Развитие ячменя в различных сериях в слое 90—110 см обыкновенного чернозема



0 KN KNP
0—20

0 KN PKN
20—40

0 KN PKN
50—70

0 KN PKN
90—110

Фиг. 3. Развитие ячменя на отдельных горизонтах обыкновенного чернозема. Основная серия

4. Как изменяется урожай в основной серии по отдельным горизонтам

Из табл. 2 видно, что без удобрения урожай на всех горизонтах очень незначителен. Можно считать, что урожай трех нижних горизонтов практически равны друг другу, и только в пахотном слое урожай зерно + солома на 1.4 г выше.

Чем объяснить такое повышение урожая пахотного слоя? Работы бывшего ГИОА на Каменно-Степной опытной станции и Ф. В. Чирикова на той же опытной станции показывают, что на обыкновенном черноземе пашня по сравнению с залежью имеет повышенные количества доступной P_2O_5 . Если сравнить по горизонтам ряды урожаев без удобрения с рядами урожаев по KN, то наибольшая прибавка получается только на пахотном слое и на третьем горизонте. Из табл. 1 видно, что эта почва по всему профилю богата обменным K и что для обеспечения действия N в первую очередь необходимы фосфаты почв. Та же таблица показывает, что несмотря на близкую нейтрализационную способность первых двух горизонтов, пахотный слой все же имеет повышенное количество P_2O_5 по нашему методу. На основании всего этого легко объяснить получающееся небольшое повышение урожая на пахотном слое большим содержанием в нем доступных фосфатов.

Подтверждением этого объяснения служит и то, что как только мы внесли во все горизонты I дозу P_2O_5 , являющуюся микродозой, то все отличия горизонтов не только сгладились, а даже больше того — два нижних горизонта дали более высокий урожай, чем пахотный слой. Приводим цифры урожая при I дозе P_2O_5 по отдельным горизонтам, начиная с пахотного слоя — 13.6, 11.7, 14.4, 17.1 г зерно + солома на сосуд. Соответствующие цифры при II дозе будут: 18.8, 18.1, 20.4 и 21.1.

Следует отметить, что в исследовании Щусьева и при даче полного удобрения нижние горизонты не могли сравниться по урожайности с пахотным слоем.

Таблица 2

Урожай ячменя в г на сосуд

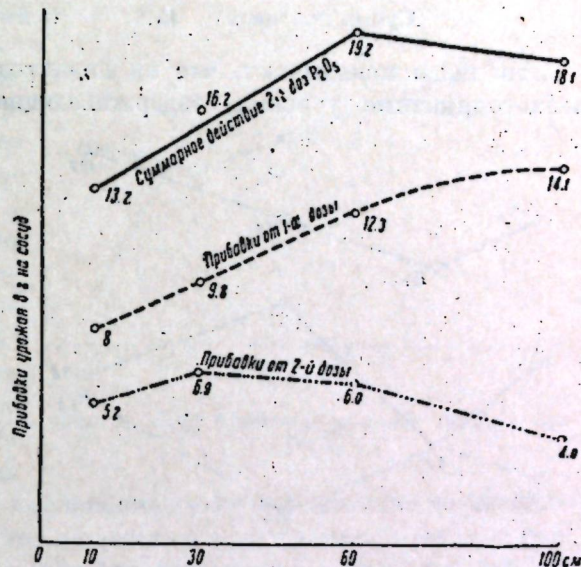
Горизонт	0		KN		KN+40 мг P ₂ O ₅		KN+80 мг P ₂ O ₅	
	3+С	3	3+С	3	3+С	3	3+С	3
Горизонт 0—20 см								
А	3.6	1.7	5.6	2.4	13.6	6.2	18.8	7.0
Б	—	—	6.6	3.0	16.5	7.4	22.0	9.5
В	—	—	5.6	2.5	13.3	6.2	15.4	7.2
Горизонт 20—40 см								
А	2.3	1.0	1.9	0.5	11.7	4.3	18.1	6.6
Б	—	—	1.9	0.3	8.7	3.6	15.5	6.5
В	—	—	1.6	0.2	8.4	3.5	16.8	7.0
Горизонт 50—70 см								
А	2.2	0.7	2.1	0.4	14.4	5.6	20.4	8.2
Б	—	—	3.8	1.5	16.1	6.3	20.3	8.3
В	—	—	2.1	0.3	нет данны.	нет данны.	18.2	7.4
Горизонт 90—110 см								
А	2.1	0.7	3.3	0.2	17.1	6.4	21.1	8.7
Б	—	—	3.5	0.9	12.9	6.4	21.8	8.8
В	—	—	1.7	0.3	13.4	5.5	20.8	8.6

На фиг. 4 мы даем в кривой сумму прибавки урожая от P₂O₅ по отдельным горизонтам. Кривая I показывает те же величины для I дозы и кривая II — для II дозы P₂O₅. Приводим числовые данные, соответствующие этим кривым:

Горизонт	0	20—40	50—70	90—110
1-я прибавка от P ₂ O ₅	8.0	9.8	12.3	14.1
2-я прибавка от P ₂ O ₅	5.2	6.4	6.0	4.0
Сумма прибавок	13.2	16.2	18.3	18.1

Сумма прибавок (верхняя кривая) урожая по P₂O₅ для первых трех горизонтов идет по прямой и для последнего горизонта рост кривой

останавливается. Средняя кривая для первых трех горизонтов также представляет прямую линию, с некоторым замедлением ее роста для 4-го горизонта. Нижняя кривая, начиная с подпахотного горизонта, значительно снижается и образует с средней кривой острый угол. Такое выражение кривых вполне отвечает двум основным положениям: 1) по мере углубления количества доступных фосфатов в обыкновенном черноземе резко уменьшаются, и 2) несмотря на это уменьшение и на усиление щелочности реакции почвы, все же доступность для растений внесенных фосфатов несколько не уменьшается. Значение второго положения усиливается еще более тем, что мы внесли фосфат со щелочной реакцией в виде Na₂HPO₄. Такая реакция удобрения при pH почвы в нижних горизонтах около 8.0 по общим представлениям должна снижать усвояемость растением P₂O₅, тем не менее, этого не получилось. Повидимому, ячмень своими корневыми выделениями мог преодолеть на черноземе неблагоприятные условия усвоения фосфатов.

Фиг. 4. Ход прибавок урожая в основной серии¹

5. Действие подкисления и внесения FeCl₃ на урожай ячменя

На фоне KN подкисление дало положительный результат в пахотном слое и 3-м горизонте, на двух остальных его действие было незаметным. На трех первых горизонтах роль FeCl₃ была незаметна и только на материнской породе Fe дало некоторое снижение урожая. Фиг. 7 воспроизводит высоту урожая при полном удобрении в различных сериях по отдельным горизонтам. Беглый взгляд на этот график сразу же отмечает некоторые неблагоприятные свойства подпахотного горизонта. Этот горизонт как в основной серии, так особенно при подкислении дает резкое понижение урожая, в то время как пахотный слой дает, наоборот, сильное его повышение. Во всех случаях, за исключением подкисления, урожай на глубинных горизонтах по PKN выше урожая пахотного слоя. При подкислении по полному удобрению урожай пахотного слоя и слоя последнего равны.

¹ На фиг. 4, 5 и 6 сплошная линия обозначает сумму прибавок урожая от 2 доз P₂O₅, прерывистая — прибавку от 1-й дозы и прерывистая с точками — от 2-й дозы P₂O₅.

Ход прибавок от отдельных доз P_2O_5 при подкислении такой:

Горизонты	0—20	20—40	50—70	90—110
1-я прибавка . . .	9.9	6.8	12.3	9.4
2-я »	5.5	6.8	4.2	8.9
Сумма прибавок	15.4	12.6	16.5	18.3

Эти числа показывают, что на подпахотном горизонте есть какие-то неблагоприятные условия, задерживающие действие P_2O_5 -удобрений,

усиливающиеся при подкислении почвы. Казалось бы, подкисление должно было ослабить отрицательные моменты, но фактически получилось, что оно усилило их. Без специального изучения нельзя объяснить это загадочное явление.

Ход прибавок урожая от P_2O_5 -удобрений при подкислении представлен на фиг. 5. На ней как кривая I, так и кривая II представлены ломаными линиями, представляющими для трех глубинных горизонтов почти замкнутый четырехугольник, в котором 2-й и 4-й горизонты

Фиг. 5. Ход прибавок урожая от P_2O_5 при подкислении

имеют почти одни и те же точки, а для 3-го горизонта по кривой I получается максимум и по кривой II — минимум. Ход прибавок урожая от P_2O_5 в серии $FeCl_3$ выражается так:

Горизонты	0—20	20—40	50—70	90—110
1-я прибавка . . .	7.7	6.8	—	11.7
2-я прибавка	2.1	8.4	—	7.4
Сумма прибавок	9.8	15.2	—	19.1

Измерение pH по отдельным горизонтам

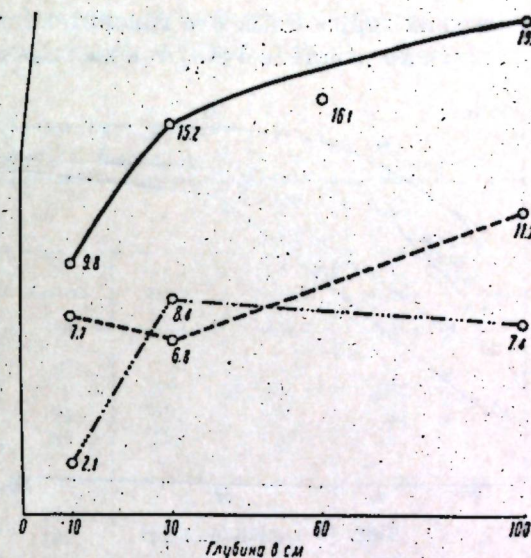
Горизонты	0—20	20—40	50—70	90—110
H_2O	6.99	7.71	8.03	8.10
0.1 м-экв. H_2SO_4	6.23	7.35	—	—
0.4 »	5.38	5.86	7.42	7.69
1.2 »	—	—	5.50	7.68
0.1 м-экв. $FeCl_3$	6.23	7.15	—	—
0.2 »	5.88	6.61	7.73	7.73
0.4 »	—	—	7.42	7.60

Графически ход прибавок урожая представлен на фиг. 6.

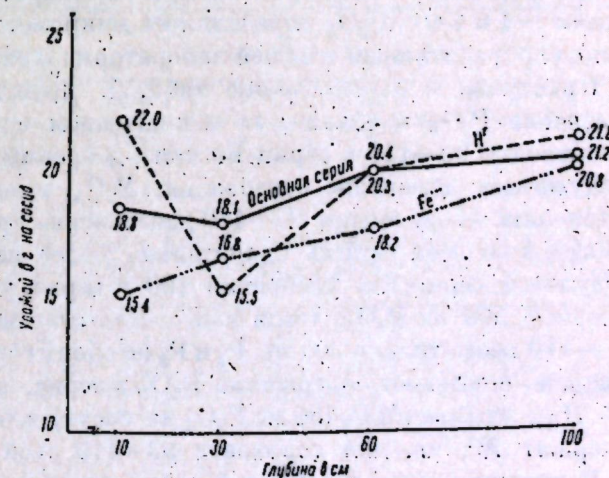
При сравнении этой фигуры с четвертой по верхней кривой отчетливо видно отрицательное действие Fe на пахотном слое, затем это отрицательное действие Fe постепенно сглаживается и на последнем горизонте переходит в слабо положительное. Задерживающее влияние Fe в усвоении фосфатов особенно видно по средней кривой. По мере того как увеличивается карбонатность, смягчается отрицательное значение Fe в усвоении фосфатов и переходит в положительное. Если подвести итоги кислования и действия Fe на урожай, то можно сказать, что кислование имеет положительное значение только для пахотного слоя и что Fe действует отрицательно на трех первых горизонтах. Отрицательное действие кислования в подпахотном слое связано с пониженным использованием ячменя фосфатов. Общее представление о действии 80 мг P_2O_5 на урожай общей массы ячменя на различных горизонтах по сериям дает фиг. 7.

В табл. 3 и фиг. 8 приводим данные по взаимодействию почвы с $FeCl_3$ и H_2SO_4 . Испытание производилось следующим образом: на 10 г почвы давалось 25 см³ воды с различным количеством названных соединений; после этого почва взбалтывалась 1 час, 24 часа отстаивалась и затем определялся pH хингидронным методом.

Таблица показывает обычную сильную забуференность обыкновенного чернозема. Интересно отметить, что испытывавшиеся на первых 2 горизонтах 0.1 м-экв. $FeCl_3$ и H_2SO_4 имеют почти один и тот же pH; то же самое мы видим при 0.4 м-экв. этих соединений на

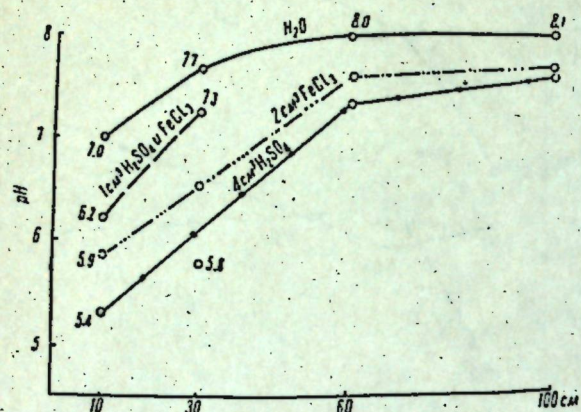


Фиг. 6. Ход прибавок урожая от P_2O_5 при $FeCl_3$



Фиг. 7. Высота урожая при NPK в различных сериях

двух нижних горизонтах. Это говорит о том, что в данных концентрациях подкисляющее действие FeCl_3 так же сильно, как и H_2SO_4 . Такое явление



Фиг. 8. Изменения pH

удержались в верхних 4 см; pH в этих 4 см понизился по сравнению с нижележащими при H_2SO_4 с 7.58 до 7.35, а при FeCl_3 это понижение было еще более слабым — с 7.53 до 7.40.

6. Вынос P_2O_5 урожаем

Для решения этого вопроса мы проанализировали урожай по двум горизонтам — 1 и 4-му. P_2O_5 определялось микрометодом Эмерсона, предварительно проработанным в нашей лаборатории и описанным в нашей работе.¹

Приступая к рассмотрению табл. 4, прежде всего отметим малое изменение P_2O_5 в соломе, за исключением одной цифры, относящейся к горизонту 90—110 в серии Fe при удобрении KN. Большого внимания заслуживает изменение содержания P_2O_5 в зерне. Пахотный слой по сравнению с горизонтом 90—110 дает в зерне при всех комбинациях удобрений и во всех сериях значительно более высокое содержание P_2O_5 . В нулевой серии без удобрения 100 г зерна урожая на пахотном слое содержат 506 мг P_2O_5 , тогда как соответствующая цифра для горизонта 90—110 всего только 309 мг. P_1 и P_2 на обоих горизонтах, как и следовало ожидать, повышают содержание P_2O_5 в зерне, но отнюдь не выравнивают его. При удобрении P_2 (80 мг P_2O_5 на сосуд) в основной серии 100 г зерна содержат 761 мг, для горизонта 90—110 этой цифре отвечают 556 мг.

В пахотном слое в основной серии первая доза P увеличивает содержание P_2O_5 в зерне почти на 40%, при удвоении этой дозы повышение доходит до 52%. При подкислении KN-удобрения не только повышают урожай, но и увеличивают на 20% содержание P_2O_5 в зерне.

¹ Тр. Почв. инст. Акад. Наук СССР, т. XII, стр. 227.

Относительно Fe серии следует отметить, что внесение железа снизило поступление P_2O_5 в растение только в 2 случаях: при 0—20 см по KN и при 90—110 см по KNP_2 .

P_2O_5 в мг на 100 г урожая
(Анализы Е. П. Корчагиной)

Таблица 4

Горизонты	Удобрения	0		II		Fe	
		зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
0—20	0	506	96	—	—	—	—
	KN	494	99	597	130	433	99
	$\text{KN}+\text{P}_1$	692	96	654	105	704	99
	$\text{KN}+\text{P}_2$	761	99	742	99	716	93
90—110	0	309	105	—	—	—	—
	KN	463	102	389	96	374	164
	$\text{KN}+\text{P}_1$	507	80	488	80	506	86
	$\text{KN}+\text{P}_2$	556	130	581	96	525	93

Примечания: 1) Максимальное отклонение в двух параллельных определениях при данных пересчетах 15 мг P_2O_5 ; 2) $\text{P}_1=40$ мг и $\text{P}_2=80$ мг P_2O_5 на сосуд.

Данные этой таблицы выражены на фиг. 9 (стр. 42), из которой видно, что сумма выноса P_2O_5 несколько меньше для горизонта 90—110, чем для

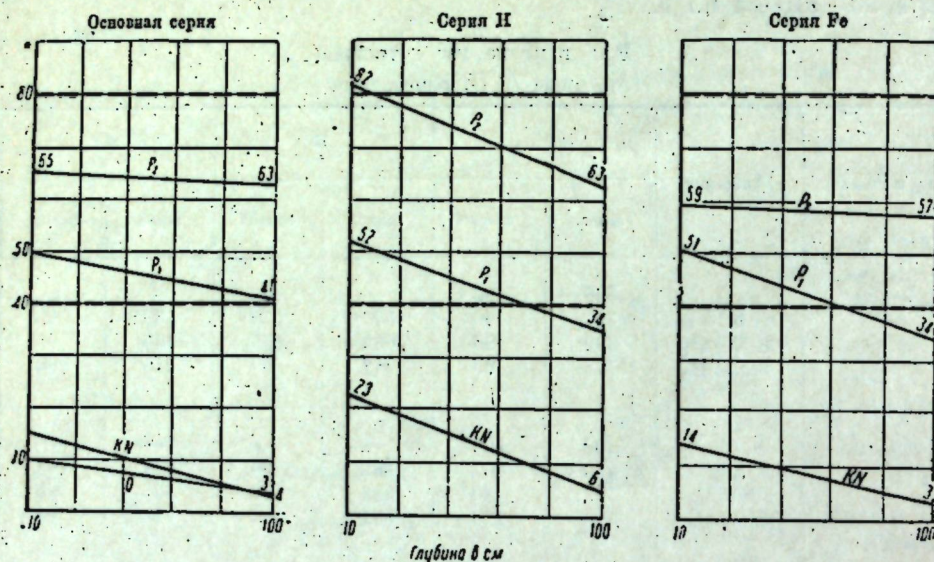
Таблица 5

Вынос P_2O_5 урожаем ячменя в мг на сос.

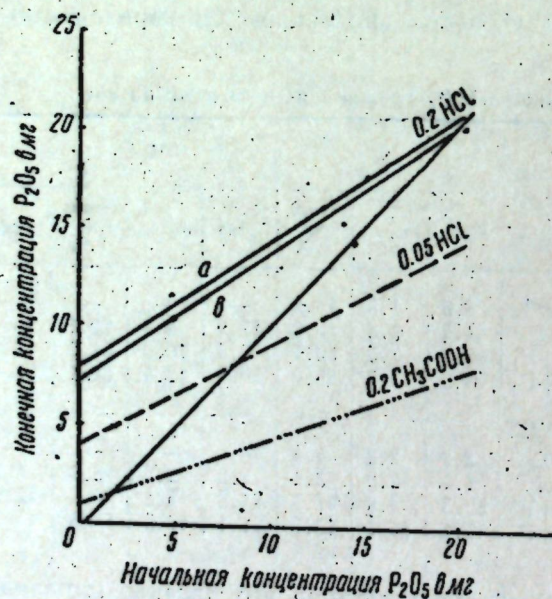
Горизонты	Удобрения	0			II			Fe		
		зерно	солома	сумма мг P_2O_5	зерно	солома	сумма мг P_2O_5	зерно	солома	сумма мг P_2O_5
0—20	0	8.6	1.8	10.4	—	—	—	—	—	—
	KN	11.9	3.2	15.0	17.9	4.7	22.6	10.8	3.1	13.9
	$\text{KN}+\text{P}_1$	42.9	7.5	50.4	48.5	10.0	58.5	43.5	7.1	50.6
	$\text{KN}+\text{P}_2$	53.3	11.7	65.0	70.5	12.4	82.9	51.6	7.6	59.2
90—110	0	2.2	2.2	4.4	—	—	—	—	—	—
	KN	1.4	2.0	3.4	3.5	2.5	6.0	1.1	2.3	3.4
	$\text{KN}+\text{P}_1$	32.5	8.8	41.3	31.2	5.2	36.4	27.9	6.3	34.2
	$\text{KN}+\text{P}_2$	47.4	16.1	63.5	51.1	12.5	63.6	45.2	11.3	56.5

пахотного слоя. Особенно отчетливо это явление выразилось при внесении H^+ . На этой фигуре густые линии с перерывами обозначают количество внесенной P_2O_5 в удобрениях. Беглый взгляд на ту же фигуру показывает весьма интересную особенность: во всех сериях при даче P_1 (40 мг P_2O_5 на сосуд) урожай пахотного слоя вынес больше P_2O_5 , чем дано в этой дозе, за исключением серии Fe.

Теперь переходим к весьма важному вопросу: сколько же мг P_2O_5 использовало растение из внесенных удобрений? Для этого берем



Фиг. 9. Вынос P_2O_5 урожаем ячменя из горизонтов 0—20 и 90—110 см



Фиг. 10. Критическое равновесие P_2O_5 по горизонтам чернозема

из табл. 5 разности выносов урожаем P_2O_5 при NP_1K (40 мг P_2O_5) и KN и по P_2NK (80 мг P_2O_5) и KN .

Эти данные показывают необычайно высокое использование I дозы P_2O_5 — свыше 90% — в пахотном слое во всех сериях и на горизонте

Горизонты	Дозы удобр.	0	II	Fe
0—20	40	35.4	35.9	36.7
0—20	80	50.0	60.3	45.3
90—110	40	37.8	30.5	30.7
90—110	80	63.5	57.6	53.1

90—110 основной серии. Что же касается II дозы, то в обычных условиях, т. е. без подкисления и Fe, она могла быть использована растением на пахотном слое только на 37% и на 60% при подкислении. Близко к этой цифре используется растением P_2O_5 во всех сериях на горизонте 90—110. При этом следует отметить, что опытные станции Украины уже давно установили для чернозема внесение 2 ц суперфосфата на га как наиболее рентабельное количество удобрения под сахарную свеклу. Эта доза P_2O_5 очень близко подходит к нашей — 40 мг на сосуд, при которой получается максимальное использование этого удобрения растением в сосудах. Таким образом, 3-месячный опыт в сосудах дал те же результаты, для достижения которых в полевых условиях потребовались годы и сотни опытов.

7. Определение критической концентрации P_2O_5

Об определении этой концентрации подробно говорится в одной из наших работ.¹

У авторов этого метода Demolon и Barbier при обработке почвы однопроцентным раствором уксусной кислоты сильное действие фосфорнокислых удобрений получалось при критическом равновесии с точкой пересечения биссектрисы, отвечающей 3 мг P_2O_5 и меньше. Мы изучали критическое равновесие по отдельным горизонтам при начальных концентрациях P_2O_5 — 0, 5, 10, 15 и 20 мг на 100 г почвы. Отношение почвы к растворителю — 1:10. Методика исследования строго выдерживалась в том виде, как она описана в указанной нашей работе.

Мы устанавливали равновесие P_2O_5 при таких концентрациях кислот: 0.2 и 0.05н HCl и 0.2н уксусной кислоты. Результаты этих испытаний представлены на фиг. 10. Две верхних кривых представляют результаты, полученные при 0.2н HCl, а — для 1-го горизонта, б — для 2-го; 3-й горизонт дал такую же кривую, как и первые два; на 4-м горизонте произошло полное поглощение P_2O_5 , и потому для него нет кривой. При 0.05н HCl первые три горизонта дали почти одну и ту же кривую, с конечной концентрацией равновесия при 7 мг P_2O_5 . На последнем горизонте получилось полное поглощение. При 0.2н уксусной кислоты первые 2 горизонта дали одну и ту же кривую с критическим

¹ Тр. Почв. инст. Акад. Наук СССР, т. XII, стр. 220.

равновесием при 0.5. Из этих данных отчетливо видно, что критическое равновесие P_2O_5 при $0.2n$ CH_3COOH дает наилучшее совпадение с данными вегетационного опыта. Полученные кривые также показывают, что при изучении критического равновесия P_2O_5 в карбонатных горизонтах необходимо исходить не из начальной концентрации кислоты, а из конечной; другими словами, надо брать повышенное количество м-экв. кислоты, учитывая нейтрализационную способность этих горизонтов. Более подробно по этому вопросу будет сказано в следующем нашем сообщении, в котором мы детально остановимся на явлениях фиксации P_2O_5 черноземом сравнительно с подзолистыми почвами.

Выводы

На основании испытания отдельных горизонтов обыкновенного чернозема и при вегетационных опытах и химических исследованиях почвы и урожая ячменя приходим к следующим выводам:

1. Все горизонты обыкновенного чернозема без удобрения дают слабый урожай, но он все же несколько выше на пахотном слое.

Повышенное плодородие пахотного слоя объясняется большой обеспеченностью доступной P_2O_5 .

2. Удобрение NPK не только сглаживает разность урожая на отдельных горизонтах, но даже дает на нижних слоях почвы более высокий урожай ячменя, чем на пахотном.

3. Малая доза P_2O_5 -удобрения, 2 мг ее на 100 г почвы, не только дает сильное повышение урожая, но и почти полностью используется ячменем — свыше 90%. Обыкновенный чернозем — одна из самых ценных почв по полноте использования P_2O_5 -удобрения. Это положение удалось установить только потому, что мы взяли очень незначительную дозу P_2O_5 , в 10 раз меньшую, чем она берется в аналогичных агрономических исследованиях.

4. Согласно сложившимся взглядам, условия для сильного действия P_2O_5 -удобрений на нижних горизонтах чернозема весьма неблагоприятны в силу щелочной реакции их. Этот отрицательный момент еще более усилился оттого, что самое удобрение (Na_2HPO_4) имело щелочную реакцию. Несмотря на это P_2O_5 -удобрение в наших опытах почти полностью использовалось растением. Этот факт говорит о том, что количество и интенсивность корневых выделений ячменя были вполне достаточны, чтобы побороть отрицательные моменты, затрудняющие поступление P_2O_5 в растение. Повидимому, здесь также сказались и специфические черты химизма чернозема.

5. Наша микродоза P_2O_5 -удобрений близко отвечает более выгодной дозе P_2O_5 в суперфосфате для сахарной свеклы, что показывает особую ценность нашего метода микродоз. Этот метод до сих пор не применялся при агрохимических исследованиях, но он должен получить теперь широкое применение в практике вегетационного метода.

6. При опытах выявилось отрицательное действие подкислений на подпахотном слое. Раньше мы объясняли отрицательное действие под-

кисления на черноземе при усиленных количествах влаги разрушением поглощающего комплекса, приводящим к усилению подвижности Al в почве. Теперь к этому объяснению можно добавить, что при сильной влажности подкисление сказывается не только на пахотном слое, но и на подпахотном, относящемся резко отрицательно к подкислению.

7. $FeCl_3$, внесенный в усиленном количестве по сравнению с дозой P удобрений, на пахотном слое дает понижение урожая, но его отрицательное действие затухает по мере усиления карбонатности горизонтов.

8. Критическое равновесие P_2O_5 можно устанавливать как при $0.05n$ HCl, так и при $0.2n$ CH_3COOH с учетом конечной концентрации для карбонатных горизонтов. В этих случаях нужно вводить дополнительное количество кислоты, требующееся для нейтрализации карбонатов.

9. При полном удобрении отрицательные стороны эрозии легче исправить на черноземе, чем на подзолистых почвах.

A. KIRSANOV

ASSIMILATION OF P_2O_5 BY PLANTS IN DIFFERENT HORIZONS OF COMMON CHERNOZEM

Summary

Investigations of separate horizons of common chernozem by means of pot-culture experiments, chemical analysis of the soil and barley crops, give rise to the following conclusions:

1. All horizons of common unfertilized chernozem yield a poor crop; only the yielding capacity of the arable layer is somewhat higher.

The increased fertility of the arable layer is due chiefly to the high contents of available P_2O_5 .

2. Fertilization with NPK levels out the difference of crop yields on individual horizons; by complete fertilizer the yielding capacity of the underlayers becomes even higher than that of the arable layer.

3. A small dose of P_2O_5 -fertilizer — 2 mgr for 100 gr of soil — not only increases the yielding capacity of the soil, but is almost completely consumed by barley (over 90%). With regard to the highest degree assimilation of P_2O_5 -fertilizer, common chernozem is one of the most valuable soils for superphosphate application. To ascertain this it was necessary to carry out an experiment with a very small dose of P_2O_5 , actually ten times less; than is usually taken in analogous pot trials.

4. According to the common opinion, the conditions for a powerful effect of P_2O_5 -fertilizers on the under layers of chernozem are very unfavourable owing to alkaline reactions. These disadvantageous conditions are still increased by the fertilizer (Na_2HPO_4) itself having an alkaline reaction. In spite of this, experiments with P_2O_5 showed that the fertilizer is almost completely consumed by the plant. This fact shows that the

quantity and intensity of the root-excretions is sufficient to overcome all unfavourable conditions preventing the assimilation of P_2O_5 by the plant. Evidently the specific chemical nature of chernozem also ought to be taken into account.

5. The microdose of P_2O_5 -fertilizers nearly corresponds to the more advantageous dose of P_2O_5 in superphosphate in praxis for sugar beet: that shows the great value of our micro-dose method. So far this method has not been used for agrochemical investigations, but it is very useful in the pot-culture method practice.

6. Experiments showed the negative effect of acidifying on the arable layer. Formerly the negative effect of acidifying on chernozem in the presence of large quantities of moisture I have explained by disintegration of the absorbing complex, leading to an increase of Al mobility in the soil.

Now we are able to indicate in addition to the above explanation, that in the presence of much moisture, acidifying has a negative effect not only on the arable layer, but also on the under layers.

7. $FeCl_3$ in the arable layer reduces the yielding capacity of the soil, but this negative effect is gradually weaker in proportion with the increase of carbonate contents of the soil.

8. The critical equilibrium of P_2O_5 can be fixed at 0.05 N HCl standart, and at 0.2 N CH_3COOH , taking into account the final concentration of carbonate horizons. In such a case it is necessary to use an additional quantity of acids to neutralise the carbonates.

9. By application of complete fertilization the negative effects of erosion are easier to improve in chernozem than in podzol-soils.

Б. А. ГАИЖА

ПРОФИЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ОБЫКНОВЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА И ПОДЗОЛОВ

«Хорошо известно, что только поверхностный слой почвы от 6 до 8 дюймов оказывается пригодным для жизни растений, а более глубокие слои почвы играют только косвенную роль в питании растений».¹

E. I. Russell

Вопросы изучения агрономических особенностей пахотного слоя и подстилающих его горизонтов почв привлекли внимание сектора плодородия Почвенного института несколько лет назад. В ряде работ А. Т. Кирсанова было выявлено, что на подзолистых почвах нередки случаи, когда в глубоких горизонтах оказываются большие количества питательных веществ, например P_2O_5 в легкорастворимой форме при бедности этими веществами пахотного слоя, но питательные вещества из нижних горизонтов подзолистых почв используются растениями крайне слабо. Ясно выявлена физиологическая неравноценность фосфорной кислоты горизонта A_1 по сравнению с нижними горизонтами.

Исследование распределения плодородия в профиле обыкновенного чернозема и некоторых подзолистых почв начато А. Т. Кирсановым в 1933 г. Результаты изложены в двух работах: 1) Профильное изучение обыкновенного чернозема Митрофановского опытного поля; 2) Агрохимические особенности пахотного слоя и подстилающих его горизонтов подзолистых почв.

В настоящей работе исследовалось вегетационным и лабораторным методами распределение плодородия в профиле следующих почв: 1) обыкновенный чернозем, 2) тяжелый средне-оподзоленный суглинок из березового леса, 3) средне-оподзоленный средний суглинок из дубового леса; 4) тяжелая супесь из соснового леса (2—4 почвы взяты в окрестностях Москвы); 5) средне-оподзоленный суглинок на лёссовидном суглинке, взятый из смешанного леса в Западной области на территории б. Энгельгардтовской опытной станции, 6) культурный подзолистый суглинок с фермы Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

¹ Soil conditions and plant growth, p. 114, 1927.

Краткий обзор предшествующих исследований

Неплодородие подпахотных горизонтов почвы уже давно известно в практике земледелия. В зоне подзолистых почв считают, что выпашивание подзола имеет следствием полную потерю урожая. В черноземной зоне опасаются углублять пахоту настолько, чтобы наверх выворачивалась крупка, ибо, по наблюдениям земледельцев, выворачивание крупки влечет за собой резкое снижение или гибель урожая.

Значение изучения распределения плодородия по профилю почвы описано А. Т. Кирсановым в указанных выше работах. К этому следует добавить особенное значение изучения характера неплодородия в подпахотных горизонтах почв орошаемых районов, где при планировке нередко снимается целиком не только пахотный горизонт почвы, но и следующий за ним.

В течение последних трех десятилетий в разных странах был произведен ряд исследований, посвященных прямо или косвенно вопросам изучения изменения плодородия почв по профилю и причин этого изменения.

В одних исследованиях имеется только констатация факта понижения плодородия с углублением в почву, в других же делаются попытки такого воздействия на нижние горизонты, которое способствовало бы выравниванию плодородия по всему исследуемому профилю почвы.

Особняком стоят те теоретические исследования, в которых делаются попытки выяснить поведение главных элементов питания растений в разных условиях почвенной среды и функции корней растений в этих условиях.

В результате указанных выше исследований А. Т. Кирсанов установил следующие положения. (См. предыдущие статьи этого тома).

А. По чернозему

1. Все горизонты (0—20, 20—40, 50—70 и 90—110) обыкновенного чернозема без удобрения дают слабый урожай, но он все же выше на пахотном слое. Повышенное плодородие пахотного слоя объясняется большей обеспеченностью его доступной P_2O_5 .

2. Удобрение NPK не только сглаживает урожайность разных горизонтов, но и дает более высокий урожай ячменя на нижних горизонтах.

3. Малая доза P_2O_5 (2 мг на 100 г почвы) на всех горизонтах, давал сильное повышение урожая, используется ячменем почти полностью (свыше 90%).

4. Выявлено резко отрицательное действие подкисления на урожайность на подпахотном слое (при сильной влажности).

5. Внесение в почву $FeCl_3$ на пахотном слое дает понижение урожая, но его отрицательное действие затухает по мере усиления карбонатности.

Б. По подзолам

1. Оба подпахотных горизонта (A_2 и B_1) дали резко пониженные урожаи по сравнению с пахотным горизонтом как без удобрения, так и при внесении полного удобрения.

2. При применении минеральных удобрений следует считаться с усиленным поглощением как катионов, так и особенно фосфорной кислоты на бедных почвах. Повидимому, на бедных подзолистых почвах необходимо применять в первое время усиленные дозы удобрений и только после заправки почвы удобрениями переходить к нормальным дозам.

3. На второй год при посеве на тех же почвах ячменя с повторным внесением полного удобрения урожай на нижних горизонтах повысился в 2—5 раз по сравнению с урожаем первого года, причем урожай зерна повысился в 3—9 раз.

4. И на второй год культуры растения не используют имеющихся в нижних горизонтах почвы запасов легкорастворимой фосфорной кислоты.

При этих исследованиях подтвердилось выявленное ранее Кирсановым (3) на основании вегетационных опытов и лабораторных исследований положение, что P_2O_5 , извлекаемая слабыми кислотами из различных горизонтов почв подзолистой зоны, не равноценна с точки зрения усвоения ее растениями, что легкорастворимая P_2O_5 пахотных горизонтов более полно используется растениями, чем аналогичная P_2O_5 из более глубоких горизонтов и что P_2O_5 горизонта В имеет много общего в отношении растворимости и усвоения ее растениями с P_2O_5 апатита.

А. Т. Кирсанов подчеркивает, что понижение усвояемости питательных веществ более глубоких горизонтов находится в связи с ухудшением общих физиологических условий развития растений на этих горизонтах, так как и водорастворимое удобрение на горизонте В усваивается растениями слабее, чем на горизонте A_1 .

С. В. Щусев (4) в 1900 г. поставил вегетационные опыты с овсом на старопашотном черноземе с полей Плотнянской опытной станции (Подолья). Им были взяты слои почвы 0—26 см, 26—44 см и 44—62 см. Удобрения (N, P и K) вносились в разных комбинациях. Урожаи двух нижних слоев по NP были выше, чем на пахотном слое, по NPK урожаи этих слоев достигли только приблизительно 65% урожая верхнего слоя по такому же удобрению. Без удобрения нижние слои дали урожай, равные приблизительно 35% урожая неудожденного пахотного слоя. Сосуды с удобрениями не имели повторностей. По заключению автора, в пахотном слое в первом минимуме находится фосфор и во втором — азот; в подпахотном и переходном слоях усвояемого фосфора нет, а азота столько же, сколько и в пахотном горизонте.

В этом случае неплодородие нижних горизонтов зависит от прямого недостатка питательных веществ — в первую очередь фосфора, а общие условия почвенной среды нижних горизонтов не проявляют отрицательного влияния на усвоение растениями внесенных удобрений.

В 1909 г. К. К. Гедройц (5) обработал материалы вегетационных опытов в Петербургской сельскохозяйственной лаборатории по исследованию плодородия различных горизонтов чернозема и подзолистых почв. Взяты были только культурные почвы, 5 суглинистых черноземов из б. Тульской губ. и 4 оподзоленных суглинка из б. Смоленской губ.; из числа последних А, Б и В взяты с помещичьего поля, считавшегося клевероутомленным, а Г — с крестьянского поля. Почва для опытов взята с глубин: а) чернозем — 0—22 см, 30—53 см и 140 см (материнская порода); б) подзол — 0—22 см, 26—49 см и 53—75 см. Опытными растениями были овес и клевер.

Полное удобрение на сосуд: N — 0.1 ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$); P_2O_5 — 0.5 г (Na_2HPO_4); K_2O — 0.2 г (K_2SO_4). Под клевер дано 0.1 г N. На черноземах без удобрения получены никакие урожаи на верхнем слое и резко падающие урожаи на втором слое и подпочве; полное удобрение только на двух почвах дало наибольший урожай на втором слое, а на подпочве подняло урожай приблизительно до 80% от урожая верхнего слоя, КР-удобрение вообще не дало повышения урожая. КN-удобрение повысило урожай верхнего слоя в 2 с лишним раза и в 2—4 раза урожай второго слоя. С клевером по полному удобрению также не достигнуто выравнивания урожайности нижних слоев с верхним. На втором слое в двух случаях урожай составлял около 95% от урожая верхнего слоя; урожай подпочвы во всех случаях был значительно ниже — от 25 до 60% от урожая верхнего слоя.

На оподзоленных суглинках при полном удобрении на верхнем слое урожай овса повысился в 2.5—3.5 раза, на втором слое — в 3—6 раз и на третьем — в 6—7 раз по сравнению с соответствующим сосудом без удобрения. Следовательно, действие полного удобрения на двух нижних слоях почв было очень сильно, но только на одной почве (Г) урожаи нижних слоев достигли 75—80% урожая верхнего слоя; на остальных же трех почвах урожаи нижних слоев составляли 40—50% урожая верхнего слоя. Клевер дал картину урожайности по полному удобрению, аналогичную с овсом.

А. Косцелеский (6) исследовал плодородие горизонта A_1 , A_2 и В старопахотного оподзоленного суглинка из окрестностей Ново-Александрии. Сеялся овес. Без удобрения величина урожая резко падала от A_1 к B_1 . При удобрении азотом горизонты A_2 и B_1 дали урожай на 40—50% выше, чем A_1 . По NPK Ca-удобрению отношение величин урожаев (от A_1 к B_1) получилось: 100—90.5—85, а по NPK — 100—93.9—90.1. Следовательно, минеральные удобрения дали на горизонтах A_2 и B_1 более сильное повышение урожая, чем на горизонте A_1 и почти уравнили урожайность по всему взятому профилю. Прибавление извести к NPK-удобрению вызвало заметное понижение урожайности по всем горизонтам.

С. Скальский (7), работая на Плотнянской опытной станции со старопахотным черноземом, нашел, что подпахотные горизонты паровой и непаровой почв (особенно паровой) обнаруживают потребность в P_2O_5 гораздо резче, чем в азоте. Напротив, Б. М. Вельбель (8) (Полтавская

опытная станция) нашел, что пахотный и подпахотный слои почвы мало обеспечены усвояемым азотом и значительно — легкодоступными калием и фосфором. Е. Г. Петров (35) (Голодно-Степская опытная станция) исследовал степень использования растениями питательных веществ из разных слоев серозема до глубины в 1.5 м. В сосудах выращивалась кукуруза. Установлено, что растения брали питательные вещества главным образом из пахотного слоя. Плодородие более глубоких слоев — ничтожно. Alway и McDole (9) установили, что на подпочвах лёссовых почв Небраски (полузасушливый район) с глубины от 3 до 20 футов инокулированные мотыльковые растут так же хорошо, как и на верхнем слое почвы, но на тех же почвах растения других семейств росли неудовлетворительно без удобрения и давали хороший урожай только при удобрении азотом или если они следовали (в севообороте) за мотыльковыми. Alway, McDole, Rost (10) провели вегетационные опыты на поверхностном слое лёссовых почв и на подпочвах с глубины 1, 2, 3, 4, 5 и 6 футов. Подпочвы оказались неплодородными для кукурузы и не обнаружили неплодородия по отношению к инокулированным мотыльковым. Лёссовые подпочвы полусухих областей Небраски, как и более влажных частей этого штата, в отношении неплодородия (gawness) обнаруживают промежуточные свойства между подпочвами сухих областей и подпочвами влажных областей США и Европы. Harmer (11) взял для исследования плодородия глубоких горизонтов целинные почвы во влажной области последнего Висконсинского оледенения в штате Миннесота. Опыт производился с люцерной и ячменем.

Две серии почв с бедной карбонатами подпочвой (лиственный лес) дали одинаковые урожаи люцерны на верхнем горизонте почвы и на подпочве (с глубины 3 фута). На других пяти почвах (с сильно карбонатной подпочвой) из прерии и сгоревшего хвойного леса верхний слой почвы дал урожаи люцерны в 2—6 раз больше, чем подпочва из 3-го фута. Содержание азота в подпочве двух плодородных почв было не больше, чем в подпочвах остальных почв. Следовательно, во влажном штате Миннесота некоторые моренные подпочвы оказываются такими же плодородными для инокулированной люцерны, как и верхний слой почвы, а подпочвы других почв совершенно не плодородны. Неплодородие не ассоциируется с низким содержанием азота и бедностью карбонатами.

McMiller (12) продолжил опыты Harmer. Он взял две почвы из коллекции Harmer (с неплодородной для люцерны подпочвой) и произвел опыт с люцерной, внеся в сосуды Na_2HPO_4 и K_2SO_4 по расчету 1000 ф. на акр. Внесение фосфора и калия сделало неплодородные подпочвы такими же плодородными, как и верхние слои взятых двух почв. В данном случае неплодородие глубоких горизонтов происходит от отсутствия в них усвояемых фосфора и калия при общем недостатке азота.

С. Е. Millar (13), на основании опытов с выращиванием кукурузы на гумусовом и подгумусовых горизонтах тяжелых супесчаных почв (Мичиган), пришел к следующим выводам: 1) кукуруза давала слабый рост на почвах, взятых из подгумусовых горизонтов профиля; 2) горизонт B_1

обеспечивал рост кукурузы не лучше, чем A_2 ; 3) прибавка азота оказала слабое, но заметное влияние на рост кукурузы, 4) гумусовый горизонт является главнейшим источником питания для кукурузы, она получает очень мало питательных веществ из подгумусовых горизонтов.

S. D. Conner (14) исследовал влияние P, K и N удобрений на урожайность поверхностных и глубоких горизонтов до 1 м некоторых почв штата Индиана. Опыт произведен в сосудах с посевом последовательно пшеницы, донника, пшеницы и леспедезы. Им установлено: 1) подпахотные горизонты обнаружили большую потребность в фосфоре для зерновых и мотыльковых, чем поверхностные горизонты. Большей частью эта потребность возрастает с глубиной взятия почвы; 2) зерновые на подпахотных горизонтах испытывают большой дефицит азота; 3) первый посев на подпахотных горизонтах испытывает больший дефицит фосфора и азота, чем последующие посевы; 4) эродированные поверхностные почвы и подпочвы нуждаются в сильном фосфорном и азотистом удобрениях для немотыльковых и только в фосфорном — для мотыльковых растений. При внесении P и N подпахотные горизонты дают такой же урожай, как и пахотный слой; 5) почвы штата Индиана одинаково обеспечены усвояемым калием по всему профилю.

C. Krügel, C. Dreispring, W. Heinz (31) исследовали свыше 100 почв из разных стран Западной Европы и пришли к следующим заключениям.

1. Всегда, без исключения, пахотный горизонт содержит значительно больше легкорастворимой фосфорной кислоты, чем подпахотные горизонты. Значение пахотного горизонта в качестве источника P_2O_5 для питания растений значительно превосходит значение подпахотных горизонтов.

2. В пахотном горизонте главная часть легкорастворимой фосфорной кислоты находится в верхнем деятельном слое до глубины 5—10 см.

3. В почвенном профиле содержание легкорастворимой фосфорной кислоты сильно уменьшается по мере увеличения глубины.

Thornton (15) произвел исследование содержания усвояемого фосфора и калия в пахотном и подпахотном горизонтах 460 почв, по Нейбауэру, и химическим методом.

Испытание, по Нейбауэру, показало, что содержание усвояемого фосфора в поверхностном слое почвы во всех 460 почвах выше, чем в подпахотном горизонте, причем в подпахотном горизонте довольно много усвояемой P_2O_5 (27—62 ф. на акр); особенно много усвояемой P_2O_5 в почвах Калифорнии — 189 ф. на акр в верхнем слое и 143 ф. на акр в подпахотном горизонте. Содержание усвояемого калия в подпахотных горизонтах несколько ниже, чем в пахотных, но это соотношение не так постоянно и не так выразительно вследствие большого количества усвояемого калия в подпахотных горизонтах (от 182 до 627 ф. на акр).

При химическом определении усвояемого фосфора разница между содержанием его в пахотных и подпахотных горизонтах меньше, а в ряде случаев в подпахотных горизонтах оказалось усвояемого фосфора столько же или больше, чем в пахотных.

Почти во всех случаях химический метод дает в подпахотных горизонтах большее количество усвояемого фосфора, чем метод Нейбауэра. Автор заключает, что химические методы определения усвояемого фосфора (в разбавленных кислотах) надежны для верхнего горизонта почвы, но для нижних горизонтов дают повышенные показания. Химическим методом в подпахотных горизонтах найдено несколько меньше усвояемого калия, чем в пахотных, что согласуется с определениями по Нейбауэру.

Нельзя установить определенной корреляции между рН и количеством усвояемого фосфора и калия по Нейбауэру, но можно отметить слабое повышение содержания усвояемого фосфора при рН 6.1—6.5 до 7.1 в пахотных горизонтах и более сильное — в подпахотных. Для усвояемого калия отмечена тенденция к уменьшению с возрастанием рН.

Почвы среднего запада все без исключения обнаружили дефицит усвояемого фосфора. Непродуктивность подпахотных горизонтов, по крайней мере в почвах влажных областей, зависит от недостатка фосфора.

Haskell (16) (Массачусет) исследовал усвояемость калия в верхнем горизонте и в слоях с глубины 1, 2, 3 и 4 фута тонкопесчанистого суглинка. Химическое определение калия показало возрастание содержания его с 0.242% в гумусовом горизонте до 1.296% на глубине 4 фута. Вегетационные опыты с разными вариантами удобрений дали следующие выводы:

При удобрении фосфором и азотом подпочвы не обнаружили неплодородия, и гибели растений не было. Калий во всем профиле находится в достаточно усвояемой форме для обеспечения максимального урожая. Калий в глубоких горизонтах почвы или более легко усвояем, или находится в больших количествах, чем в близких к поверхности горизонтах. Содержание калия в растениях в момент уборки не находилось ни в каком отношении с тем количеством его, которое действительно необходимо растениям.

Могут ли растения брать питательные вещества из глубоких горизонтов почвы?

Известно, что корни всех культурных растений очень скоро после всходов уходят за пределы гумусового горизонта и достигают более или менее значительной глубины, например: у злаков — до 2 м, у люцерны — до 17.5 м (Ротмистров, Schulze, Weaver, Piper и др.). Также давно установленный для многих почв факт неплодородия глубоких горизонтов почв приводит некоторых исследователей к мысли, что функции корней растений не однородны и что следует различать, по крайней мере, три рода корней: 1) корни верхнего яруса, располагающиеся главным образом в верхней части гумусового горизонта, отличающиеся повышенной активной способностью к усвоению минеральных питательных веществ; 2) корни нижнего яруса — водоснабжающие корни, не имеющие значения в добытии растением минеральной пищи и усваивающие только те минеральные вещества, которые имеются в готовом виде в почвенном растворе

и 3) корни верхнего и среднего ярусов с механическими функциями, укрепляющие и удерживающие растения в почве.

С этой точки зрения неплодородие нижних горизонтов почвы объясняется неспособностью глубинных корней к активной деятельности по усвоению минеральных веществ почвы.

Behrens (17) сообщает об опыте Леммермана с целью установить, с какой глубины растения могут извлекать питательные вещества.

Опыт был произведен с легкой песчаной почвой в больших сосудах. Фосфорнокислосое удобрение (CaHPO_4) внесено из расчета 1000 кг/га P_2O_5 на глубины: 0—25 см, 25—50 см, 50—75 см и 75—100 см. Во все сосуды ежегодно вносились азот и калий. В течение 11 лет в сосудах выращивались разные растения. В среднем, за 10 лет прибавка урожая по сравнению с сосудами без фосфора получилась для разных глубин аложения фосфора такая:

Глубина аложения фосфора (в см)	Прибавка урожая в г на сосуд	Вынос P_2O_5 урожаем в мг на сосуд
0—25	349.7	2029
25—50	324.6	1923
50—75	317.9	1590
75—100	180.3	1364

По окончании опыта был проверен баланс фосфора.

Автор делает такой вывод: растения могут брать и усвоить фосфор из всех горизонтов почвы до глубины 1 м. К этому категорическому заключению необходимо добавить поправку: при условии, что в глубоких горизонтах фосфор находится в доступной для растений форме и что общие условия почвенной среды благоприятны для жизнедеятельности корней растений.

Behrens отмечает, что потеря фосфора путем выщелачивания не было.

Weaver (18) приводит описание ряда опытов, доказывающих, что ячмень, рожь и озимая пшеница берут воду из всех глубин почвы, пронизанных их корнями, и что в последний период жизни, ко времени колошения и созревания, они берут воду главным образом из наиболее глубоких горизонтов.

В другом его опыте нитраты были положены в почву на разных глубинах в количестве 400 мг на 1 млн. частей почвы; ко времени цветения ячмень извлек 286 частей из слоя почвы в 12—18 дм., 135 частей из слоя в 18—24 дм. и 168 частей из слоя в 24—30 дм. К моменту созревания он извлек 186 частей нитратов из слоя от 2 до 2.5 фут. Корни картофеля извлекали нитраты с тех же глубин, но в несколько меньшем количестве. Кукуруза взяла 203,140 и 118 частей нитратов с глубины в 3, 4 и 5 фут, соответственно.

Во всех опытах, когда корни соприкасались с удобрением слоем почвы, они развивались и ветвились гораздо более обильно, чем в не-удобренных слоях.

В других опытах, в которых слои почвы снабжались монокальций-фосфатом, установлена такая же активность корней в отношении усвоения фосфора с разных глубин. Эти опыты показывают, что корни растений были активны в отношении усвоения воды и питательных веществ даже на максимальной глубине их проникания. Растения берут из глубоких слоев почвы значительные количества питательных веществ, хотя и меньшие, чем из верхнего слоя почвы; по отношению к однолетним растениям последнее можно объяснить тем, что более глубокие корни имеют более короткий срок работы.

Из этих опытов следует, что растения могут брать и действительно берут минеральные питательные вещества со всех глубин почвы в пределах распространения корней.

Формы неплодородия подпахотных горизонтов почв и объяснение наблюдаемых форм неплодородия по цитированным исследованиям

Из рассмотрения вышеуказанных работ вытекает возможность выделить две категорически различные формы неплодородия подпахотных горизонтов почв: первая форма свойственна почвам сухих и полусухих областей, соответствующих нашим зонам чернозема, каштановых почв и сероземов. Неплодородие глубоких горизонтов этих почв погашается внесением соответствующих удобрений. Вторая форма неплодородия глубоких горизонтов почв свойственна влажным областям, соответствующим зоне подзолистых почв. Здесь неплодородие глубоких горизонтов почв имеет активный характер: в типичных случаях внесение полного удобрения (по крайней мере, в пределах норм, принятых при вегетационных опытах) дает слабый или близкий к нулю эффект в урожае.

Причины неплодородия глубоких горизонтов почвы сводятся, по рассмотренным исследованиям, к следующему:

1. В почвах сухих и полусухих областей, и в частности в черноземах, причиной неплодородия является недостаток в глубоких горизонтах усвояемого азота, или фосфора, или же обоих вместе.

2. В подзолистых целинных почвах причины неплодородия глубоких горизонтов в конце концов сводятся к тому же, т. е. к недостатку питательных веществ в усвояемой форме, но качество этого дефицита питательных веществ имеет другой, более сложный характер, чем в почвах сухих зон и в черноземе. Неплодородие не погашается внесением удобрений. Встречающиеся иногда в глубоких горизонтах подзолистых почв большие запасы легкорастворимой фосфорной кислоты не усваиваются растениями. Очевидно, и вносимые в виде удобрений фосфаты переходят в почве горизонтов A_2 , B_1 и B_2 в недоступную для растений форму, сохраняя растворимость в разбавленных сильных кислотах. Формы химических соединений фосфора не однородны по профилю почвы. Физические

и биологические условия ухудшаются с глубиной. Следовательно, общие условия почвенной среды в подгумусовых горизонтах подзолистых почв неблагоприятны для использования растениями как имеющихся в них в легкорастворимой форме питательных веществ (по существу — только фосфор), так и вносимых удобрений.

В старопашотных унавоженных подзолистых почвах и по клеверницам эти общие условия почвенной среды глубоких горизонтов складываются иначе.

При опытах К. К. Гедройца горизонты A_2 и B_1 подзолистых почв при полном удобрении дали хорошие урожаи, достигающие 40—80% от урожая пахотного горизонта.

В опытах Косцелецкого с подзолистыми почвами урожаи на горизонтах A_2 и B_1 при полном удобрении достигли 90—93% от урожаев пахотного горизонта.

Изучавшиеся А. Т. Кирсановым культурные подзолистые почвы разделены им на 3 категории по их отношению к вносимому фосфору: 1) вообще не нуждающиеся в фосфоре; 2) превращающие вносимый фосфор в недоступную для растений форму и 3) почвы, в которых поглощение фосфора не препятствует использованию его растениями.

В описываемых здесь опытах горизонт A_2 культурной унавоженной почвы при удобрении дал нормально развитые растения ячменя и высокий урожай, тогда как на горизонте B_1 растения совсем не могли развиваться. Отсюда следует, что культура, сопряженная со внесением навоза (и посевом клевера), вносит радикальные изменения в свойства подгумусовых горизонтов почвы.

Прямо или косвенно выяснению причин неплодородия подгумусовых горизонтов почв могут служить еще и нижеприведенные работы.

К. К. Гедройц (24) установил, что из исследованных им фосфатов наименее доступно фосфорнокислородное железо ($FePO_4$), притом независимо от свойств среды и рода растений.

М. А. Егоров (25) нашел, что причина неплодородия подпахотных горизонтов нормальных почв заключается не в образовании в них закисного железа.

Е. Hillgard (26) объясняет неплодородие подгумусовых горизонтов почв влажных областей вымыванием из верхних слоев мельчайших частиц и аккумуляцией их в нижних горизонтах; следствие — уплотнение, недостаток аэрации, уменьшение числа полезных микроорганизмов, редукционные процессы и образование ядовитых веществ. Климат засушливых и полужасушливых областей не благоприятствует аккумуляции почвенных коллоидов в подпочве.

А. Floyd Neek (27) исходит из того, что некоторые почвы, бедные фосфорной кислотой, очень слабо реагируют в урожае на внесение фосфатов; объяснение — фиксация фосфатов в форме, не доступной растениям.

Формы химически-поглощенного почвой фосфора он разделяет на 3 группы: 1) легко усвояемый растениями — поглощенный в виде Ca_3

(PO_4)₂, 2) слабо усвояемый — $AlPO_4$, 3) трудно усвояемые формы поглощенного фосфора — $FePO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$ и $Fe_2(OH)_3PO_4$.

Его лабораторные исследования привели к таким выводам: преобладание той или иной формы, в которой фосфор фиксируется почвой, зависит от относительного изобилия в почве веществ, способных фиксировать фосфор; если отношение активного кальция к активному железу и алюминию высоко, то фиксация происходит в виде кальций-фосфата, и фиксированный фосфор будет легко усвояем; в обратном случае в результате фиксации получаются ферро- и алюмофосфаты, и фосфор будет трудно усвояем. Поэтому, при поверхностном внесении легкорастворимых фосфатов в латеритные почвы фосфор проникает только на несколько миллиметров в глубь почвы.

Степень насыщенности почвы основаниями оказывает влияние на формы фиксации фосфора. Низкая степень насыщенности сопровождается большей способностью почвы к фиксации фосфора в трудноусвояемой форме. Минимум фиксации фосфора в трудноусвояемой форме наступает при 80—90% насыщенности почвы основаниями. Изменения в способности почвы фиксировать фосфор в трудноусвояемой форме путем изменения процента насыщенности основаниями не превосходит 20—30% от внесенного фосфора. Повышенная емкость обмена почв имеет тенденцию к понижению способности почв к фиксированию фосфора в трудноусвояемой форме, но при условии надлежащей степени насыщенности почв.

К. К. Гедройц пришел к выводу, что присутствие в почве углекислого кальция понижает концентрацию одного из продуктов гидролиза $FePO_4$, что должно вызвать увеличение количества фосфорной кислоты, переходящей в раствор из $FePO_4$. При внесении извести в виде CaO или $CaCO_3$ дело сводится к распределению почвенной фосфорной кислоты между кальцием и железом, причем в общем на долю кальция должно приттись P_2O_5 больше, чем на долю железа.

А. Т. Кирсанов (21) следующим образом определяет роль подвижного железа в подзолистой почве: 1) подзолообразовательный процесс не только усиливает кислотность почвы, но и подвижность других элементов, угнетающих развитие растений; 2) повышение концентрации подвижного железа сильно снижает поступление P_2O_5 в растение, но это не отражается на развитии растений при слабокислой реакции. В свою очередь, фосфаты и, особенно CaO , сильно уменьшают поступление Fe_2O_3 в растение; 3) почти повсеместный успех фосфорнокислых удобрений на подзолистых почвах зависит не только от того, что они питают растения, но и от того, что они связывают избытки подвижного Fe_2O_3 ; отсюда вытекает двухсторонняя роль этих удобрений на подзолистых почвах.

Hibbard (32) считает, что PO_4 , фиксированная почвой из водного раствора, становится трудно растворимой в воде и в тех слабых растворителях, которые применяются для определения усвояемой фосфорной кислоты.

Spurway (33) нашел, что обработка почвы $CaCl_2$ понижала растворимость фосфора в нейтральных и щелочных почвах и увеличивала

растворимость фосфора в кислых почвах. Внесение в почву $MgCl_2$ увеличивало растворимость фосфора в 28 почвах из исследованных 31. Важнейшие почвенные факторы, влияющие на фиксацию фосфора почвой и растворимость его, — количество и пропорция гидролизующих почвенных оснований.

Roszmann (34) считает, что наряду с осаждением фосфора в почве в виде нерастворимых фосфорных соединений происходит также и коллоидная адсорбция его.

В опытах Ellett a. Hill (36) гидроокиси железа и алюминия фиксировали от 60 до 70% водорастворимого фосфора, превращая его в относительно нерастворимые и неусвояемые формы. Если же к этим окисям прибавить эквивалентное количество кальция, то в неусвояемой форме фиксируется только 43% фосфора.

Сводка основных положений прежних исследований

1. В науке и практике земледелия давно известны отдельные случаи неплодородия подпахотных горизонтов почвы.

2. Исследованиями в разных странах установлено два характера неплодородия подпахотных горизонтов почв:

а) в почвах засушливых и полузасушливых областей подпахотные горизонты оказываются плодородными для мотыльковых растений и неплодородными для злаков; при удобрении азотом они дают такие же урожаи злаков, как и пахотный горизонт;

б) в почвах влажных областей неплодородие подпахотных горизонтов выражается в том, что и при внесении полного удобрения получают очень низкие урожаи.

3. Неплодородие горизонтов A_2 , B_1 и B_2 подзолистых почв иногда имеет активный характер, выражающийся в переходе легкорастворимых минеральных удобрений в недоступное для растений состояние, или же в таком состоянии почвенной среды, которое неблагоприятно влияет на жизнедеятельность корней.

4. В целинных подзолистых почвах активное неплодородие подпахотных горизонтов почвы выражено гораздо более ярко, чем в старопашотных почвах, удобрявшихся навозом или находившихся под посевами клевера.

5. Неплодородие подпахотных горизонтов обыкновенного чернозема объясняется недостатком в них питательных веществ; при внесении удобрений на почвах из подпахотных горизонтов получают такие же урожаи, как и на пахотном горизонте, или же более высокие (А. Т. Кирсанов).

6. Изучение причин неплодородия горизонтов A_2 , B_1 и B_2 подзолистых почв имеет большое практическое значение, так как в этих горизонтах всегда имеется большой запас калия и нередко большое количество легкорастворимой фосфорной кислоты, не усваиваемой растениями.

7. В литературе есть следующие объяснения причин неплодородия подпахотных горизонтов разных почв: а) плотность сложения и

недостаток аэрации; б) общее неблагоприятное для деятельности корней растений состояние физических, химических и микробиологических условий; в) наличие ядовитых веществ; г) отсутствие одного или нескольких элементов питания растений; д) неспособность глубинных корней растений усваивать минеральные вещества; е) поглощение почвой внесенного в удобрение фосфора с превращением его в неусвояемые растениями формы.

8. Исследования Егорова показывают, что в нормальных почвах причиной неплодородия нижних горизонтов не является наличие закисных соединений. Ядовитые вещества могут встречаться в нижних горизонтах заболоченных и подзолисто-глеевых почв.

9. Сопоставление степени неплодородия старопашотных и целинных подзолистых почв приводит к заключению, что физические свойства нижних горизонтов подзолистых почв не являются основной причиной их активного неплодородия. В условиях естественного сложения нижние горизонты подзолистых почв нередко непригодны для деятельности корней растений (плотная глина, орштейн, ортзанд, отсутствие аэрации, низкая температура), и тогда корни растений не проникают в эти горизонты: они становятся локально-неплодородными. При вегетационных опытах отрицательные черты физических свойств нижних горизонтов почв значительно смягчаются.

10. Предположение, что глубинные корни растений являются только водоносными корнями и неспособны к усвоению минеральных питательных веществ, опровергается позднейшими исследованиями (Weaver, Behrens).

11. Неспособность растений усваивать находящиеся в нижних горизонтах подзолистых почв в легкорастворимой форме питательные вещества связана с химическим состоянием этих веществ, реакцией почвы, емкостью обмена и степенью насыщенности основаниями.

12. А. Т. Кирсанов установил физиологическую неравноценность легкорастворимой фосфорной кислоты горизонта A_1 подзолистых почв и нижних горизонтов в противоположность черноземам, во всем профиле которых легкорастворимая фосфорная кислота является и легкоусвояемой.

13. К. К. Гедройц пришел к заключению о химической неоднородности фосфорнокислых соединений горизонта A_1 и нижних горизонтов подзолистых почв в противоположность черноземам, по всему профилю которых фосфорная кислота находится в форме кальций-фосфатов.

14. А. Т. Кирсанов установил, что процесс подзолообразования усиливает кислотность почвы и подвижность железа и других элементов, угнетающих развитие растений и связывающих фосфорную кислоту.

15. Внесение извести в почву (А. Т. Кирсанов, К. К. Гедройц, А. Floyd Неск) уменьшает количество подвижного железа и ведет к превращению ферро-фосфатов в кальций-фосфаты.

16. Все исследователи считают ферро-фосфаты наиболее труднодоступной для растений формой почвенных соединений фосфорной

кислоты, и притом независимо от вида растения и свойств почвенной среды (Гедройц).

17. Нормальный алюмофосфат менее доступен для растений, чем кальций-фосфаты (Floyd Hesk). Гедройц нашел, что для некоторых растений (горчица, лен) на первом месте по усвояемости стоит алюмофосфат.

Морфологическая характеристика почв

Для профильного изучения плодородия в 1935 г. взяты следующие почвы:

1. Обыкновенный чернозем с Митрофановского опытного пункта (близ г. Воронежа) с поля из-под яровой пшеницы. На водораздельном плато

Морфологически он характеризуется так: горизонт 0—16 см, черный, влажный (при подсыхании сереет), перепаханный, равномерно окрашенный суглинок с хорошо выраженной комковато-зернистой структурой. Переход по окраске не заметен.

Мощи. в см

16—38 Чуть плотнее того же цвета суглинок с равномерной окраской и ярко выраженной комковатой структурой. К низу структурные отдельности выражены крупнее и приобретают в окраске буроватый тон. Переход постепенный.

38—70 Заметно плотнее. Окраска неравномерная от включенных крупных кротовин цвета нижележащего горизонта.

Общий тон окраски темный — от преобладания гумуса.

Кротовины вскипают с 38 см; межкротовинные пространства — с 70 см.

70—130 Грязнокоричневая бурно вскипающая глина, инфильтрованная тонкими потоками гумуса. В одной стороне разреза широкий карман гумуса доходит до 88 см. Со 120 см и до дна ямы — обильные выделения карбонатов в виде пятен величиной до 3 см, распадающихся на мелкие зерна.

2. Культурная, сильно подзолистая суглинистая почва на опесчанном моренном суглинке. Петровско-Разумовское (Москва)

Северо-восточный очень пологий склон. Ранее был лес, под культурой — 8 лет. Ежегодно вносился навоз. В 1933 г. поле было под капустой, в 1934 г. — под огурцами.

Мощи. в см

A₁ 0—14 Пахотный. Светлосерый, комковатой структуры, рыхлый, редкие валунчики.

Частиц < 0.01 — 44.07%.

A₁ 14—21 Подпахотный. Светлосерый с белесыми пятнами в нижней части, плитчато-комковатой структуры, уплотненный; много ходов дождевых червей; содержит мелкие орштейновые зерна.

A₂ 21—47 Белесый с буроватым оттенком, уплотненный, пластинчатой структуры, легкий суглинок; значительное количество железистых конкреций. Количество валунов увеличивается.

В нижней части — гнезды валунного песка. В верхней части — гумусовые затеки. Переход в следующий горизонт постепенный.

Частиц < 0.01 — 48.22%; < 0.001 — 1.61%

B₁ 47—85 Бурый, в верхней части с белесыми затеками, к низу красно-бурый очень плотный валунный суглинок, распадающийся на ребристые

отдельности, покрытые белесоватой присыпкой. По трещинам гумусовые затеки.

Гнезда глинистого крупнозернистого песка.

Частиц < 0.01 — 21.31%; < 0.001 — 1.23%

3. Средне-подзолистая пылеватая тяжело-суглинистая почва на покровной глинке из березового леса в колхозе Виноградово в 30 км от Москвы по Дмитровскому шоссе

Мощи. в см

A₀ 0—1 Рыхлая лесная подстилка.

A₁ 1—17 Серовато-бурый, в нижней части более светлый суглинок. Структура (от 15 до 19) комковатая. Встречаются зерна орштейна. Густо пронизан корнями и ходами червей.

Переход в следующий горизонт не резкий, но заметный.

Частиц < 0.01 — 49.93%; < 0.001 — 3.22%

A₂ 17—25

Белесый с буроватым оттенком и серыми гумусовыми затеками в верхней части. Опопозоливание несплошное, много бурых пятнышек. Сильно пористый, с большим количеством ходов червей. Содержит немного орштейновых зернышек. Количество корней небольшое. Структура — пластинчато-плитчатая.

Переход в следующий горизонт постепенный, языками и линзами, доходящими до глубины 35—40 см. В нижней части горизонта много неопозоленных орешков.

Частиц < 0.01 — 56.77%; < 0.001 — 4.25%

B₁ 25—50

Бурый, желтоватый, с затеками опопозоливания в верхней части. Структура ореховато-ребристая; кремнеземистая присыпка на поверхности отдельностей. К низу структурные отдельности крупнеют и переходят в призмовидные. Редкие корешки березы, ходы червей. Переход в следующий горизонт постепенный.

Частиц < 0.01 — 57.25%; < 0.001 — 8.65%

B₂ 50—75.

Желто-бурый, плотный, пылевато-глинистый с призматической структурой.

На поверхности отдельностей редкие белесоватые затеки по трещинам. Встречаются крупные экземпляры дождевых червей. К низу глина становится вязкой.

Частиц < 0.01 — 58.39%; < 0.001 — 10.68%

4. Средне-подзолистая суглинистая почва на тяжелом моренном суглинке из дубовой рощи в Останкине (Москва)

Мощи. в см

A₀ 0—2 Дернина, густо переплетенная корешками травянистой растительности.

A₁ 2—19 Светлосерый, с буроватым оттенком, в нижней части с белесоватыми пятнышками опопозоливания. Структура комковато-плитчатая. Густо пронизан корнями. Встречаются отдельные валунчики. Песчанистый средний суглинок. Переход в следующий горизонт постепенный.

Частиц < 0.01 — 30.47%; < 0.001 — 7.13%

Мощн. в см

A₂ 19—34

Белесый с буроватым оттенком, с редкими пятнышками охристого цвета. В верхней части слабые гумусовые затеки. Структура листовато-пластинчатая, непрочная. По механическому составу легче A₁ и содержит больше крупного песка, хрища и мелких валуны.

Переход в следующий горизонт постепенный, языками оподзоливания.

Частиц < 0.01 — 23.25%; < 0.001 — 4.48%

B₂ 34—55

Бурый с красноватым оттенком, с затеками оподзоливания в верхней части. Плотный валунный суглинок неправильной ребристой комковатой структуры. Редкие корни дуба и ходы червей.

Частиц < 0.01 — 29.63%; < 0.001 — 6.38%

B₂ 55—80

Красно-бурый плотный валунный суглинок. Валунны 6—10 см. Прорезается лентой песка. Редкие корни дуба.

Частиц < 0.01 — 26.13%; < 0.001 — 6.38%

5. Средне-подзолистая крупно-пылеватая суглинистая почва на лёссовидном суглинке из смешанного леса на территории полеводческой Опытной станции

Западной области (ст. Дурово Б.-В. ж. д.)

Мощн. в см

A₀ 0—5

Рыхлый полуразложившийся слой мхов и древесных остатков слоистого сложения с корнями ивы и ольхи.

A₁ 5—22

Суглинок. Сильно увлажнен. Сложение в верхней части рыхлое, в нижней заметно уплотненное с мало выраженной слоистостью. Окраска сероватобурая. Глыбы распадаются на непрочные комочки неопределенной формы. Много живых и разложившихся корней травянистой и древесной растительности. Встречаются округлые пустоты, заполненные мелкими агрегатами темносерой окраски, и ходы червей. Переход к A₂ вполне отчетливый.

Частиц < 0.01 — 28.64%; < 0.001 — 4.50%

A₂ 22—35

Суглинок белесой окраски с буроватым оттенком в нижней части, сильно увлажнен. Уплотнен, в нижней части уплотнение увеличивается. Сложение слоистое. Структура пластинчатая. Наблюдаются прожилки буроватой окраски и пористость. Корней почти нет. Темнобуроватые точечные отдельности рассеяны по всему разрезу. Переход к B₁ ясный.

Частиц < 0.01 — 23.04%; < 0.001 — 2.10%

B₁ 35—75

Лёссовидный суглинок желто-бурой окраски. Очень плотно сложен. Наблюдается пористость, а в нижней части спаянность, поверхность которой покрыта яркой коричневой пленкой. Из спаев и пор сочится вода. Глыбы распадаются на граненные агрегаты в 5—10 см. Редко встречаются корни деревьев.

Частиц < 0.01 — 35.00%; < 0.001 — 10.84%

B₂ 75—150

Светложелтый лёссовидный суглинок. В сложении отмечаются спаянность и пористость. Поверхность спаев покрыта коричневой пленкой с ясно выраженным светлосиним зеленоватым оттенком.

Частиц < 0.01 — 40.61%; < 0.001 — 7.30%

6. Средне-подзолистая тяжелая супесь на плотном моренном суглинке из сосново-елового леса в Лосиноостровской (Москва, Черкизово)

Мощн. в см

A₀ 0—2

Плотная дернина.

A₁ 2—13

Светлосерый с буровато-желтым оттенком, тяжело супесчаный. Бесструктурен, пронизан корешками, влажен. Переход к следующему горизонту резкий.

Частиц < 0.01 — 27.34%; < 0.001 — 1.02%

A₂ 13—30

Белесый с буровато-желтым оттенком, влажный. В верхней части слабые гумусовые затеки. Редкая галька и хрищ. Рыхлый, супесчаный.

Частиц < 0.01 — 23.16%; < 0.001 — 1.52%

B₁ 30—50

Бурый с белесыми затеками оподзоливания. По всему разрезу разбросаны мелкие ржаво-бурые пятна ортаанда. Много хрища и гальки, встречаются валуны 5—6 см в диаметре. Супесчаный. Переход к следующему горизонту постепенный. На контакте с моренным суглинком белесые пятна и большое количество валуны.

Частиц < 0.01 — 16.29%; < 0.001 — 0.60%

B₂ 55—75

Красно-бурый, очень плотный валунный суглинок неоднородного механического состава с гнездами песка, большим количеством валунов и хрища.

Частиц < 0.01 — 18.71%; < 0.001 — 0.88%

Выемка и описание чернозема сделаны почвоведом А. Г. Сенюшовым. Описание подзолистых почв составлено почвоведом И. К. Ярошевичем.

Характеристика химических свойств почв

Материалы по химическому исследованию почв приведены в сводной таблице (стр. 64—65).¹

Пользуясь химическими показателями А. Т. Кирсанова и И. В. Тюрина, можно представить ожидаемую отзывчивость почв к удобрениям в виде таблицы (стр. 66).

Такая химическая оценка плодородия почв и эффекта вносимых удобрений не может иметь безоговорочного применения к разнообразным почвам.

По отношению к чернозему приведенные химические показатели дают прямые указания на то, что урожайность того или иного горизонта зависит от наличия или дефицита питательных веществ для растений и что погашение дефицита питательных веществ будет иметь следствием выравнивание урожайности по всему взятому профилю почвы. Близкая к нейтральной реакция, структурность и обеспеченная ею аэрация, громадное преобладание Са⁺⁺ над Fe⁺⁺⁺ Al⁺⁺⁺, однохарактерность фосфатов по всему профилю и однородность поведения вносимых фосфорнокислых удобрений —

¹ Анализы производились сотрудницей Лаборатории плодородия почв А. Л. Иоффе и в Лаборатории массовых анализов Почвенного института.

Результаты анализа почв

№ по порядку	Название почвенных образцов	Влажность воздушно-сухой почвы	РН	P ₂ O ₅		общий по Кельдаль в г на 100 г абс.-сух. почвы	от	К а л и й			Г у м у с	Поглощ. водород. в м-экв. на 100 г абс.-сух. почвы	Сумма поглощен. оснований в м-экв. на 100 г абс.-сух. почвы
			водной суспензии	0.2н HCl в мг на 100 г абс.-сух. почвы	0.2н C ₂ H ₅ O ₄ в мг на 100 г абс.-сух. почвы			Нитрат в г на 100 г абс.-сух. почвы	0.2н HCl в мг на 100 г абс.-сух. почвы	водного раст. в мг на 100 г абс.-сух. почвы			
1	Митрофановка 0—20	10.16	6.70	9.74	следы	0.30	3.77	11.68	1.85	5.78	не определ.	48.89	
2	» 20—40	9.33	7.00	9.65	чуть зам. следы	0.22	0.68	9.86	1.14	4.50	—	46.78	
3	» 50—70	9.67	7.86	следы	нет	0.12	0.68	4.38	1.34	2.80	—	не определ.	
4	» 90—110	7.78	7.88	нет	»	0.06	1.50	3.49	1.46	1.09	—	—	
5	Черкизово А ₁	2.68	4.75	чуть зам. следы	»	0.19	0.49	1.23	1.38	3.12	0.94	6.37	
6	» А ₂	0.82	4.67	»	»	0.02	0.21	0.48	0.21	0.58	1.43	1.92	
7	» В ₁	0.61	4.94	следы	»	0.01	нет	0.97	0.73	0.14	0.97	3.01	
8	» В ₂	2.33	4.22	2.09	чуть зам. следы	0.01	»	3.94	0.53	0.04	3.08	4.71	
9	Виноградово А ₁	2.21	4.88	2.55	нет	0.13	0.18	9.53	2.01	2.33	0.28	6.34	
10	» А ₂	1.62	4.49	3.55	»	0.03	следы	4.40	1.37	0.42	1.57	5.59	
11	» В ₁	4.01	4.39	15.62	следы	0.02	—	6.49	1.40	0.26	3.88	10.00	
12	» В ₂	4.94	3.96	15.78	»	0.03	—	10.62	1.64	0.37	4.58	14.31	
13	Останкино А ₁	2.24	4.81	3.58	чуть зам. следы	0.14	0.19	4.68	1.59	2.01	0.50	4.19	
14	» А ₂	0.90	4.81	следы	нет	0.02	нет	2.44	0.84	0.20	1.27	2.52	
15	» В ₁	2.26	4.46	»	»	0.02	следы	3.45	1.06	0.13	3.30	3.78	
16	» В ₂	2.61	4.07	7.00	»	0.01	»	4.46	2.87	0.13	2.43	6.47	
17	Дурово А ₁	2.51	4.74	4.10	»	0.16	1.95	4.45	1.91	2.54	0.52	2.77	
18	» А ₂	1.49	4.71	3.04	»	0.04	0.54	0.97	1.06	0.53	1.68	2.13	
19	» В ₁	2.80	4.71	7.71	чуть зам. следы	0.02	следы	4.71	1.07	0.19	4.42	4.11	
20	» В ₂	4.71	4.52	7.34	»	0.02	»	5.54	1.20	0.17	5.24	9.36	
21	Ферма Тимиряз. с.-х. академии А ₁	2.20	5.00	25.56	5.11	0.15	19.26	20.70	4.66	2.66	0.08	5.72	
22	» А ₂	1.19	4.71	2.53	нет	0.03	3.31	4.39	1.57	0.30	1.24	2.93	
23	» В ₁	3.01	4.18	следы	»	0.02	1.09	3.49	0.79	0.33	5.14	4.12	

все это обеспечивает благоприятные условия почвенной среды по всему профилю почвы для развития растений и использования ими вносимых удобрений.

Почвы и горизонты		Отзывчивость на удобрение		
		фосфором	калием	азотом
Чернозем	0—20	средняя	средняя	почти нет
	20—40	»	»	средняя
	50—70	оч. сильная	сильная	»
	90—110	»	»	сильная
Подзолистые почвы				
Ферма Тимирязевской сельскохозяйственной академии . . .	A ₁	нет	нет	нет
	A ₂	сильная	сильная	сильная
	B ₁	оч. сильная	»	оч. сильная
Виноградово	A ₁	сильная	средняя	средняя
	A ₂	»	сильная	сильная
	B ₁	слабая	»	»
Останкино	B ₂	»	средняя	»
	A ₁	сильная	сильная	средняя
	A ₂	оч. сильная	»	сильная
Дурово	B ₁	»	»	»
	B ₂	сильная	»	»
	A ₁	»	»	средняя
Лосиноостровская	A ₂	»	оч. сильная	сильная
	B ₁	средняя	сильная	оч. сильная
	B ₂	»	»	»
Лосиноостровская	A ₁	оч. сильная	оч. сильная	средняя
	A ₂	»	»	сильная
	B ₁	»	»	оч. сильная
	B ₂	сильная	сильная	»

В подзолистых почвах нет однохарактерности свойств почвенной среды по профилю почвы. Химические и физические (а с ними и биологические) условия резко различны в отдельных горизонтах.

Подгумусовые горизонты подзолистых почв обладают активным и плодородием, т. е. в них имеются в наличии такие факторы, которые парализуют возможность усвоения растениями вносимых в легко для них доступной форме удобрений.

Поэтому внесение достаточного количества дефицитных в почве элементов питания растений на подзолистых почвах дает в результате резко различное отражение в урожаях на гумусовом горизонте по сравнению с почвой глубоких горизонтов.

Вегетационные опыты 1936 г.

Вегетационные опыты велись в вегетационном павильоне ВИУАА. Растения в некоторой части сосудов пострадали от затопления, вследствие плохого состояния крыши, что эти сосуды пришлось выбраковать.

В сосуд взято было чернозема по 8 кг, а остальных почв — по 7 кг. Полив производился в первую часть лета дистиллированной водой, во вторую часть — водопроводной. Был посеян двухрядный ячмень. Посев — между 12 и 25 июня. После прорывки было оставлено в сосудах по 20 растений.

Схемы удобрения были приняты следующие:

А. Для чернозема и культурной подзолистой почвы:

- 1) без удобрения,
- 2) N — 1.0 г на сосуд, K₂O — 0.5 г и P₂O₅ — 0.2 г,
- 3) N и K — столько же, P₂O₅ — 0.4 г,
- 4) N и K — столько же, P₂O₅ — 0.6 г,
- 5) N и K — столько же, P₂O₅ — 1.0 г.

Б. Для остальных подзолистых почв:

- 1) без удобрения,
- 2) N — 1.0 г, K₂O — 0.5 г,
- 3) K и N столько же, P₂O₅ — 0.2 г,
- 4) K и N столько же, P₂O₅ — 0.4 г,
- 5) K и N столько же, P₂O₅ — 0.6 г,
- 6) P₂O₅ — 0.6 г, K — 0.5 г,
- 7) N — 1 г, P₂O₅ — 0.6 г,
- 8) N и P₂O₅ столько же, K₂O — 0.25 г.

Удобрения вносились в виде соединений: 1л (NH₄)₂SO₄, K — K₂SO₄ и P — CaHPO₄·2H₂O.

Удобрения внесены при снаряжении сосудов и перемешаны со всей массой почвы.

Повторность — большей частью тройная.

Уже с первых дней после начала всходов была замечена большая разница в развитии растений между различными почвами и различными горизонтами подзолистых почв. На всех горизонтах чернозема всходы шли дружно, растения имели нормальный, здоровый вид и дальнейшее развитие их шло одинаково, с приблизительно одновременным прохождением фаз.

На горизонте A₁ подзолистых почв всходы и развитие растений протекали нормально. На горизонте A₂ культурной подзолистой почвы (ферма Тимирязевской сельскохозяйственной академии) растения также прекрасно развивались и мало отставали от растений на горизонте A₁ той же почвы. В остальных же сосудах с почвами из горизонтов A₂, B₁ и B₂ целинных подзолистых почв и B₁ культурной почвы растения развивались совершенно ненормально: всходы были замедленные, рост крайне медленный, листья острые с бледной желтоватой окраской, нижние листья сплошь пожелтели и отмерли, в последующих листьях засыхали верхушки. Фазы развития растений в одном сосуде протекали неодновременно и беспорядочно. Когда 1—2 растения созревали, другие были в стадии колошения, налива или молочной спелости. На горизонтах A₂, B₁ и B₂ почвы из Лосиноостровской всходы дважды погибали; на горизонте B₁ культурной почвы первые всходы тоже погибли.

К концу вегетации во всех сосудах с почвой нижних горизонтов подзолистых почв, за исключением A_2 с фермы, растения имели жалкий вид, не сравнимый с растениями на горизонте A_1 . Не все растения дали колос. В колосе содержалось по 1—5 зерен. Влияние вариаций удобрений на нижних горизонтах подзолистых почв вообще было крайне слабое и его можно было подметить только в поздних стадиях развития растений. Общие условия почвенной среды оказали такое сильное угнетающее действие на рост растений, что им затемнялось влияние комбинаций и доз удобрений.

К концу вегетации было замечено следующее явление. У части растений на почвах горизонтов A_2 , B_1 и B_2 при созревании их началось вторичное кущение, причем ответвление происходило над почвой на расстоянии 1—2 см от поверхности; эти боковые побеги были не похожи на свои материнские растения: они имели хороший рост и нормально развитые листья зеленой окраски. Из этого можно сделать предположение, что за время пребывания почвы нижних горизонтов в сосудах в течение 100—110 дней в них произошли радикальные изменения в благоприятную для растений сторону.

I. Обыкновенный чернозем

Вес урожая в г на сосуд

Горизонты почвы	0		Основное удобрение N — 1.0 г; K_2O — 0.5 г							
			P — 0.2		P — 0.4		P — 0.6		P — 1.0	
	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна
0—20	9.86	4.43	25.14	10.11	31.82	11.72	33.71	11.02	41.75	15.45
20—40	4.94	1.59	11.30	3.00	32.13	12.21	33.41	10.36	37.38	12.63
50—70	3.52	0.94	19.33	6.97	31.77	11.41	33.48	13.54	35.02	12.70
90—110	2.68	0.53	18.54	4.10	35.52	12.33	36.10	12.96	35.70	11.20

Таблица I «В»

Прибавка урожая от увеличения доз P_2O_5 (по фону N 1.0; K_2O — 0.5; P_2O_5 — 0.2) от 0.2 до 1.0 г на сосуд

Горизонты почвы	Прибавка урожая			
	от 0.2 до 0.4	от 0.4 до 0.6	от 0.6 до 1.0	сумма прибавок
0—20	6.68	1.89	8.04	16.61
20—40	20.83	1.28	4.37	26.08
50—70	12.34	1.71	1.54	15.69
90—110	16.98	0.58	0.34	17.56

Таблица I «С»

Урожай нижних горизонтов в % от урожая пахотного слоя

Горизонты почвы	0	N K			
		P — 0.2	P — 0.4	P — 0.6	P — 1.0
0—20	100	100	100	100	100
20—40	50.0	44.9	101.0	99.1	89.5
50—70	35.7	77.0	99.9	99.3	83.9
90—110	27.2	73.3	111.6	107.1	85.7

Результаты учета суммарного урожая и зерна приведены в табл. I—VI. Для массы урожая построены графики применительно к действию P, K и N (фиг. 1—6); такие же графики вычерчены для прибавок массы урожая под влиянием увеличения дозировки P_2O_5 (фиг. 7—12); действие азота изображено на фиг. 13—14 для трех почв и действие калия на фиг. 16—18.

II. Культурная подзолистая почва фермы Тимирязевской сельскохозяйственной академии

Таблица II «А»

Вес урожая в г на сосуд

Горизонты почвы	0		Основное удобрение N — 1.0 г; K_2O — 0.5 г							
			P — 0.2		P — 0.4		P — 0.6		P — 1.0	
	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна
A_1	28.76	12.00	31.27	10.50	31.39	11.48	33.59	11.27	35.03	11.20
A_2	5.78	2.19	7.13	2.46	13.61	4.77	14.66	5.15	19.87	7.50
B_1	1.79	0.29	0.69	—	0.88	—	0.84	—	0.79	—

Таблица II «В»

Прибавка урожая от увеличения доз P_2O_5 (по фону N — 1.0; K_2O — 0.5; P_2O_5 — 0.2) от 0.2 до 1.0 г на сосуд

Горизонты почвы	Прибавка урожая			
	от 0.2 до 0.4	от 0.4 до 0.6	от 0.6 до 1.0	сумма прибавок
A_1	0.12	2.20	1.44	3.76
A_2	6.48	1.05	5.21	12.74
B_1	0.19	—0.06	—0.09	0.04

Таблица II «С»

Урожай нижних горизонтов в % от урожая пахотного слоя

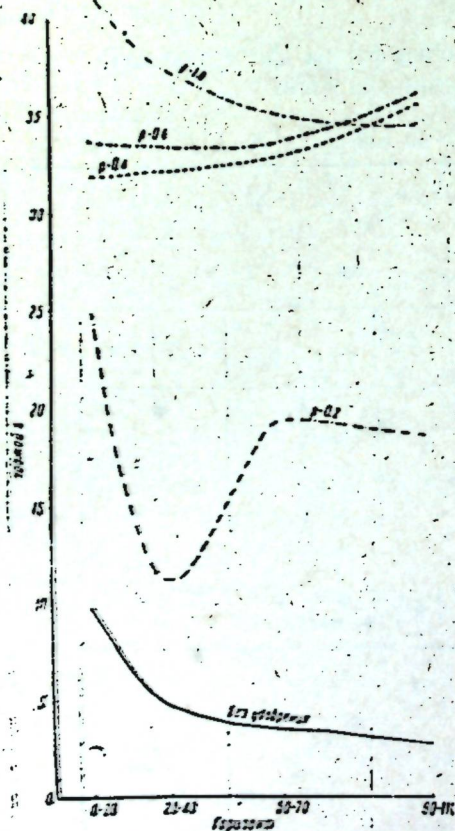
Горизонты почвы	Без удобрения	N—1.0 г; K ₂ O—0.5 г			
		P—0.3	P—0.4	P—0.6	P—1.0
A ₁	100	100	100	100	100
A ₂	20.1	22.8	43.3	43.6	56.7
B ₁	6.8	2.2	2.8	2.5	2.1

Рассмотрение таблиц и графиков урожайности

1. Чернозем

Из табл. 1 и фиг. 1 видно, что уже первая доза P_2O_5 (0.2 г на сосуд) на фоне KN вызвала сильное повышение урожая по сравнению с сосудами без удобрения по всем четырем горизонтам, причем в горизонте 0—20 и 20—40 процентное увеличение урожая по сравнению с нулевыми сосудами приблизительно одинаково, а на следующих горизонтах почти вдвое больше. При дозе P_2O_5 в 0.4 г на сосуд урожай горизонта 20—40 превысил немного урожай пахотного горизонта; урожай горизонта 90—110 превысил его на 11%, а урожай горизонта 50—70 сравнялся с урожаем пахотного горизонта. При дозе P_2O_5 в 0.6 г верхние три горизонта чернозема дали одинаковый урожай, а на горизонте 90—110 — на 7% больше. При дозе P_2O_5 в 1.0 г на сосуд наибольший урожай дал пахотный горизонт, урожай следующих горизонтов составил, соответственно, 89.5, 83.9, 85.7% от урожая пахотного горизонта.

Из табл. I «В» и I «С» и фиг. 2 видно, что наибольшая суммарная прибавка урожая от увеличения доз P_2O_5 по фону НК 0.2 г P_2O_5 получена на



Фиг. 1. Чернозем из Митрофановки
Воронеж. обл. Влияние разных доз P_2O_5
на урожай по фону KN . Урожай со-
евых и зерна в г на сосуд

III. Тяжелый подзолистый целинный суглинок Виноградного

Всё урожало в г на сосуд

Горизонты почвы		Основное удобрение N-1.0 г; K-0.5 г										P-0.5, 2 г					
		0		P-0.0		P-0.2		P-0.4		P-0.6		N-0.0; K-0.5		N-1.0; K-0.5		N-1.0; K-0	
				зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего
A ₁	28.82	11.22	21.10	4.18	23.50	6.27	32.37	8.44	39.38	14.57	45.28	19.61	31.35	10.62	29.72	8.76	
A ₂	7.89	3.38	4.17	0.10	4.62	0.40	5.38	0.40	6.30	0.62	11.26	5.90	4.72	0.34	5.72	0.85	
B ₁	2.36	0.68	3.57	0.21	4.13	0.57	4.32	0.68	6.25	1.37	3.33	1.23	7.35	1.23	7.14	1.14	
B ₂	2.02	0.56	2.83	0.28	3.66	0.38	5.29	0.97	6.67	1.30	2.23	0.67	7.33	1.10	6.20	1.28	

Таблица III «В».

Прибавки урожая от увеличения доз P_2O_5 (по фону N 1.0; K 0.5) от 0.0 до 0.6 г на сосед

Горизонты почвы	Прибавка урожая				сумма прибавок
	от 0.0 до 0.2	от 0.2 до 0.4	от 0.4 до 0.6	от 0.6 до 0.8	
A ₁ . . .	2.4	8.87	7.01	18.28	
A ₂ . . .	0.45	0.78	0.92	2.15	
B ₁ . . .	0.38	0.19	1.93	2.50	
B ₂ . . .	0.83	1.63	1.38	3.84	

Таблица III (C)

Урожай низинных горизонтов в % от урожая пахотного слоя

Горы возвыш. плато	N-1.0; K-0.5; P-0.6						
	P-0	P-0.2	P-0.4	P-0.6	N-0; K-0.5	N-1.0; K-0.25	N-1.0; K-0
0							
A ₁ . .	100	100	100	100	100	100	100
A ₂ . .	27.3	19.8	16.6	16.6	24.8	15.5	19.2
B ₁ . .	8.1	17.8	13.3	15.6	7.3	23.4	24.0
B ₂ . .	7.1	13.4	16.3	17.0	4.9	23.3	20.8

Всё урожая в г на сосуд

Горизонты почвы	Основное удобрение N-1.0 г; K-0.5 г									
	0		P-0.2		P-0.4		P-0.6		P-0.8 г	
	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна
A ₁	12.15	4.04	7.79	2.06	13.61	3.70	18.08	7.40	27.32	10.12
A ₂	0.84	0	0.64	0	0.73	0	0.78	0	0.95	0
B ₁	0.84	0.03	0.45	0	0.52	0	0.56	0	0.80	0
B ₂	1.28	0.14	2.19	0.09	2.22	0.19	2.82	0.26	2.65	0.31
									15.43	8.68
									1.02	0.13
									0.39	0
									0.18	4.06
									2.80	0.26

Таблица IV «В»

Прибавка урожая от увеличения доз P₂O₅ (по фону N-2.0; K₂O-0.5) от 0.0 до 0.6 г на сосуд

Горизонты почвы	Прибавка урожая			
	от 0.0 до 0.2	от 0.2 до 0.4	от 0.4 до 0.6	сумма прибавок
A ₁	5.82	4.47	9.24	19.53
A ₂	0.09	0.05	0.17	0.31
B ₁	0.07	0.03	0.25	0.35
B ₂	0.03	0.6	-0.17	0.46

Таблица IV «С»

Урожай нижних горизонтов в % от урожая пахотного слоя

Горизонты почвы	N-1.0; K-0.5					
	P-0		P-0.2		P-0.4	
	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна
A ₁	100	100	100	100	100	100
A ₂	6.9	8.2	5.3	3.4	4.3	3.4
B ₁	6.9	5.8	3.8	2.9	3.0	2.9
B ₂	10.5	28.1	16.3	9.7	15.5	9.7
					100	100
					8.8	4.6
					4.6	3.9
					4.0	18.8
					100	100
					0	0
					0	0
					17.0	17.0

V. Средний оподзоленный целинный суглинок Останкино

Таблица V «А»

Урожай в г на сосуд

Горизонты почвы	Основное удобрение N-1.0 г; K ₂ O K-0.5 г									
	0		P-0.2		P-0.4		P-0.6		P-0.8 г	
	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна
A ₁	16.77	5.77	13.13	4.62	16.30	6.16	17.73	6.56	18.23	6.36
A ₂	3.58	1.20	1.96	0.16	2.13	0.21	4.19	0.52	5.32	1.16
B ₁	2.49	0.62	1.77	0.08	2.01	0.19	1.94	0.19	2.30	0.33
B ₂	1.79	0.46	2.68	0.36	3.11	0.56	4.01	0.82	4.21	1.19
									23.33	10.29
									6.00	2.94
									2.78	0.96
									1.72	0.31
									17.73	7.53
									5.12	1.09
									2.73	0.66
									5.23	1.52
									17.33	7.74
									1.93	0.12
									2.61	0.26
									4.29	0.93

Таблица V «В»

Прибавка урожая от увеличения доз P₂O₅ (по фону N-1.0; K₂O-0.05) от 0.0 до 0.6 г на сосуд

Горизонты почвы	Прибавка урожая			
	от 0.0 до 0.2	от 0.2 до 0.4	от 0.4 до 0.6	сумма прибавок
A ₁	3.17	1.43	0.50	5.10
A ₂	0.17	2.06	1.13	3.36
B ₁	0.24	-0.06	0.36	0.53
B ₂	0.43	0.90	0.20	1.53

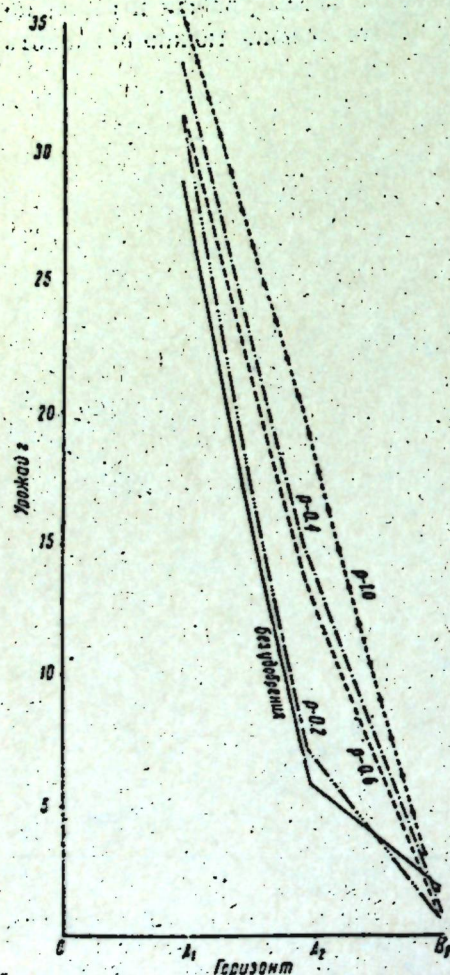
Таблица V «С»

Урожай нижних горизонтов в % от урожая пахотного слоя

Горизонты почвы	N-1.0; K ₂ O-0.5					
	P-0		P-0.2		P-0.4	
	всего	зерна	всего	зерна	всего	зерна
A ₁	100	100	100	100	100	100
A ₂	21.3	14.9	13.1	23.6	29.2	25.7
B ₁	14.2	13.4	12.3	10.9	12.6	11.9
B ₂	10.6	20.4	19.1	23.1	23.1	7.4
					100	100
					29.0	15.4
					15.4	29.5
					23.1	24.7
					100	100
					41.1	15.0
					15.0	24.7

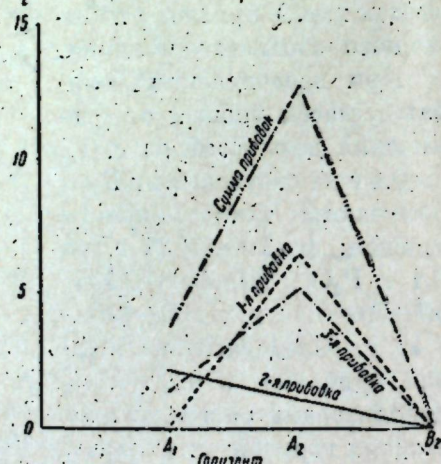
Горизонт A_1 , богатый усвояемым фосфором, дал очень слабую реакцию на увеличение доз P_2O_5 в удобрении. На горизонте A_2 действие увеличения доз фосфора вывилось очень отчетливо; первая и третья прибавки P_2O_5 (0.2—0.4 и 0.6—1.0 г) дали гораздо больший прирост урожая, чем на горизонте A_1 . Сильное

действие первой прибавки указывает на то, что вносимый в удобрение фосфат остался в значительной мере в доступном для растений состоянии. Абсолютная величина прироста урожая (в г на сосуд) от увеличения дозировки фосфора на горизонт A_2 в три раза больше, чем на горизонт A_1 . Урожай на горизонт A_2 по высшей дозе P_2O_5 достиг 56.7% от урожая соответствующего сосуда с почвой A_1 . Если перечислить прибавку урожая горизонтов A_1 и A_2 от первой прибавки P_2O_5 к основному удобрению на 0.1 г P_2O_5 , то на A_1 эта прибавка составляет 0.12 г и на A_2 — 6.48 г.



Фиг. 3. Культурный средний суглинок с фермы Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Влияние разных доз P_2O_5 на урожай по фону KN. Урожай соломы и зерна в г на сосуд

Предел повышения урожайности горизонта A_2 при дозе P_2O_5 в 1 г на сосуд не достигнут. Абсолютный вес зерна в горизонте A_2 значительно ниже, чем на A_1 , напр., при P_2O_5 — 1.0 г вес 1000 зерен, A_1 — 31.9 г, A_2 — 26.7 г. В общем почва из горизонта A_2 оказалась сильно отзывчивой на удобрения и не имела резко выраженного характера активного неплодородия.



Фиг. 4. Культурный средний суглинок с фермы Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Прибавки урожая в г на сосуд от доз P_2O_5 : 0.4, 0.6, 1.0 г на фоне удобрения: P_2O_5 —0.2 г K_2O —0.5 г N —1.0 г

3. Тяжелый подзолистый суглинок Виноградово. Целинная почва

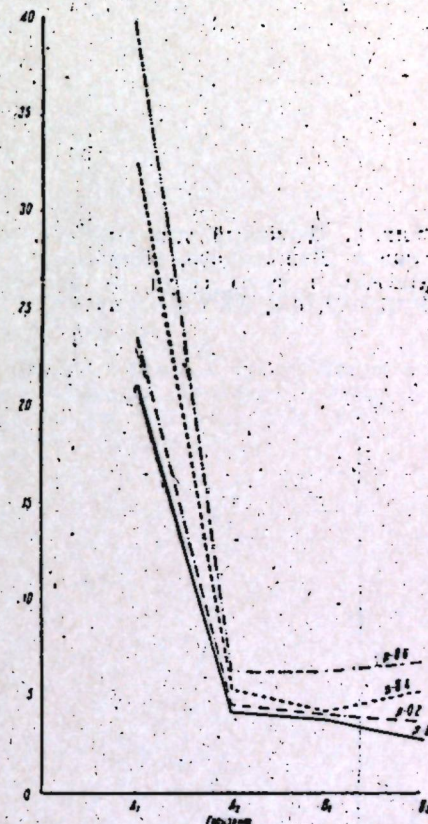
Данные урожайности приведены в табл. 3 и на фиг. 5 и 6.

Горизонт A_1 дал без удобрений высокий урожай; урожай A_2 без удобрения составил 27% от урожая A_1 , урожай B_1 — 8% и урожай B_2 — 7% от урожая A_1 . Действие доз P_2O_5 от 0.2 г до 0.6 г на сосуд по фону KN выразилось так по разным горизонтам.

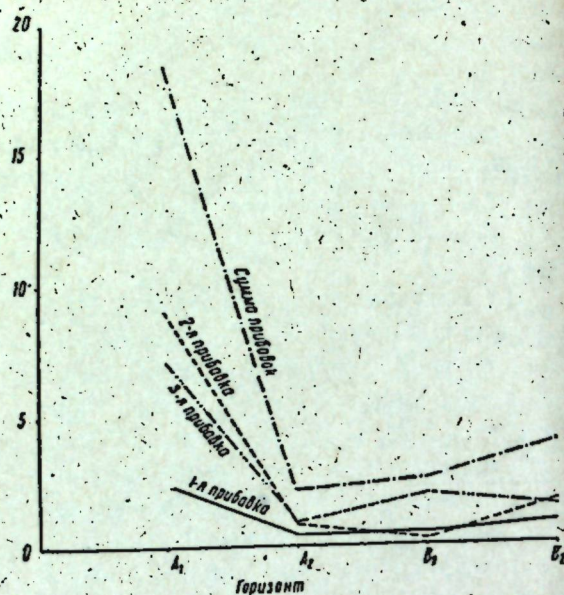
На горизонте A_1 первая доза P_2O_5 вызвала слабое повышение урожая, вторая и третья прибавки дали почти одинаково сильное действие. На горизонтах A_2 , B_1 и B_2 все три прибавки P_2O_5 вызвали слабое повышение урожая; действие третьей прибавки было несколько сильнее, чем первых двух. Абсолютное увеличение массы урожая от внесения 0.6 г P_2O_5 на сосуд для горизонта A_1 составляло 18.3 г, A_2 — 2.15 г, B_1 —2.50 г и B_2 — 3.84 г. Следовательно, на горизонте A_2 , B_1 и B_2 внесенная фосфорная кислота использовалась растениями в очень слабой степени и урожай этих горизонтов колебался в пределах 3—19.9% от урожая горизонта A_1 .

Активное неплодородие нижних горизонтов вполне ясно. Характерно проявилось действие азота: на горизонтах A_1 и A_2 внесение азота и K без фосфора сильно снизило урожай по сравнению с неудобренными сосудами, а на горизонтах B_1 и B_2 при этом урожай несколько повысился; при внесении 0.6 г P_2O_5 и K без азота на горизонтах A_1 и A_2 урожай значительно выше, чем по полному удобрению, а на горизонтах B_1 и B_2 отсутствие азота при полной дозе P и K снизило урожай, соответственно, в 2 и 3 раза. Следовательно, на горизонтах A_1 и A_2 азот оказывал отрицательное действие на урожай.

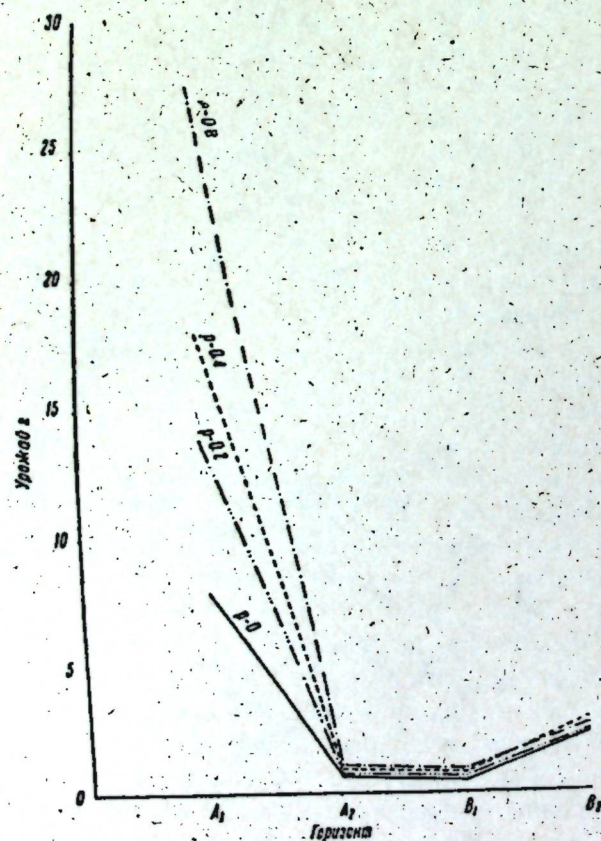
Внесение калия на горизонте A_1 оказало положительное действие: при отсутствии калия при PN-удобрении урожай получился на 10 г (25%) меньше, чем при полном удобрении. Более слабое снижающее действие оказало отсутствие или уменьшение дозы калия на горизонте A_2 . На горизонтах B_1 и B_2 отсутствие калия в удобрении



Фиг. 5. Целинный тяжелый суглинок Виноградово. Влияние разных доз P_2O_5 на урожай по фону KN. Урожай соломы и зерна в г на сосуд



Фиг. 6. Целинный тяжелый суглинок Виноградово. Прибавки урожая в г на сосуд от доз P_2O_5 : 0.2, 0.4, 0.6 г по фону KN



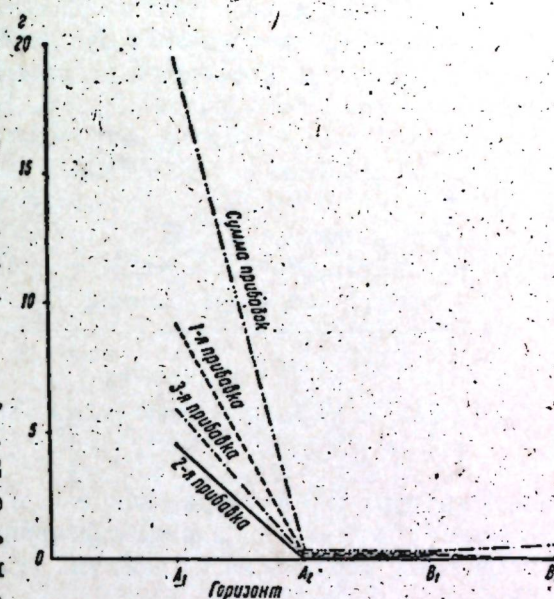
Фиг. 7. Целинная тяжелая супесь Лосиноостровская (Черкизово). Влияние разных доз P_2O_5 на урожай по фону KN. Урожай зерна и соломы в г на сосуд

не снижало урожая. Абсолютный вес зерна на горизонтах A_2 , B_1 и B_2 очень низкий (12—21 г); крайне неблагоприятно также отношение зерна к соломе.

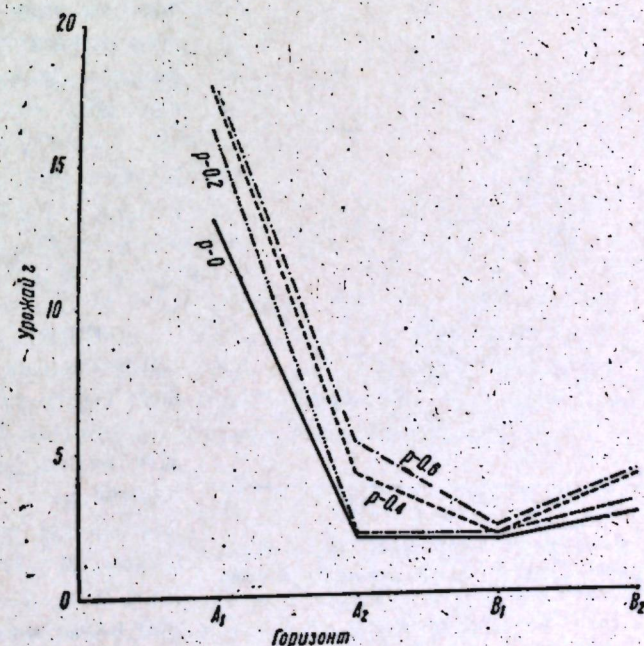
4. Тяжелая оподзоленная супесь из Лосиноостровской (Черкизово). Целинная почва.

Данные урожайности приведены в табл. 4 и на фиг. 7 и 8.

Действие доз фосфора от 0.2 до 0.6 г на сосуд на горизонте A_1 на фоне KN выразилось в сильном увеличении урожая и первая доза в 0.2 г P_2O_5 по KN почти удвоила урожай по сравнению с KN-удобрением. Несколько меньшую прибавку

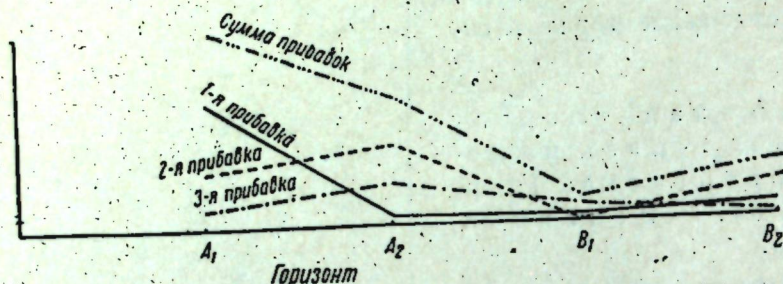


Фиг. 8. Целинная тяжелая супесь Лосиноостровская (Черкизово). Прибавки урожая в г на сосуд от доз P_2O_5 : 0.2, 0.4, 0.6 г по фону KN



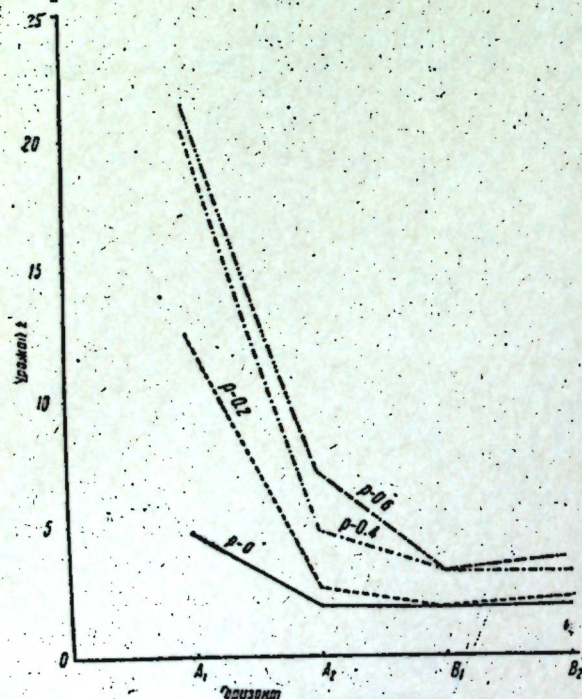
Фиг. 9. Целинный средний суглинок Останкино. Влияние разных доз P_2O_5 на урожай по фону KN. Урожай соломы и зерна в г на сосуд

дала вторая доза и наибольшую (9.2 г) — третья прибавка. Сумма прибавок урожая составила 19.53 г. Доза в 0.6 г P_2O_5 не удовлетворила потребности почвы в фосфоре. На горизонтах A_2 , B_1 и B_2 нельзя вообще



Фиг. 10. Целинный средний суглинок Останкино. Прибавки урожая в г на сосуд от доз P_2O_5 : 0.2, 0.4, 0.6 г по фону KN

отметить действие фосфора, как и K и N, вследствие того, что общие почвенные свойства крайне неблагоприятны для роста растений и они совершенно парализовали действие удобрений. Активное неплодородие нижних горизонтов этой почвы проявилось очень сильно. Азот на горизонте A_1 оказывал отрицательное действие. Уменьшение дозы калия или отсутствие его в удобрении сильно снижало урожай.



Фиг. 11. Целинный средний суглинок Дурово Зап. обл. Влияние разных доз P_2O_5 на урожай по фону KN. Урожай в г на сосуд

дала первая доза P_2O_5 (3.17 г) и наименьшую — третья доза (0.5 г); сумма прибавок урожая по сравнению с KN-удобрением составила 5.10 г сухого вещества урожая. На горизонте A_2 также отчетливо видно

5. Средний оподзоленный суглинок Останкино. Целинная почва

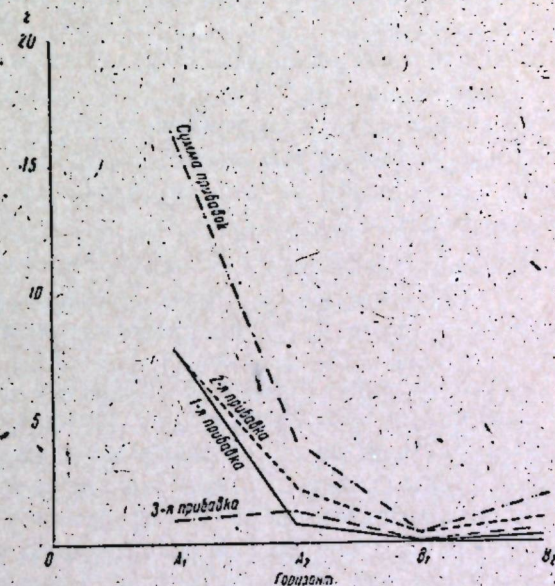
Данные урожайности приведены в табл. 5 и на фиг. 9 (стр. 79) и 10.

Действие P_2O_5 на фоне KN на горизонте A_1 выразилось в постепенном повышении урожая с увеличением доз P_2O_5 от 0.2 до 0.6 г на сосуд, причем наибольшую прибавку

повышение урожая от увеличения доз P_2O_5 , причем наименьшую прибавку дала первая доза. Сумма прибавок урожая составляет 3.36 г; урожай сосуда с 0.6 г P_2O_5 составляет 29% от урожая соответствующего сосуда горизонта A_1 . На горизонте B_1 действие фосфора оказалось совсем неопределенным. На горизонте B_2 ясно видно слабое действие увеличения доз фосфора: при дозе 0.6 г P_2O_5 урожай повысился по сравнению с KN-удобрением на 1.53 г и составил 23% от урожая соответствующего сосуда A_1 . Таким образом, на горизонтах A_2 , B_1 и B_2 активное неплодородие выявилось с полной ясностью и наиболее сильно — на горизонте B_1 . Действие азота на горизонте A_1 было отрицательное: по РК-удобрению урожай на 5 г выше, чем по PKN; при KN-удобрении урожай был ниже, чем в сосуде без удобрения. На горизонтах A_2 и B_1 также оказалось слабое повышение урожая по KP в сравнении с KPN, а на горизонте B_2 при отсутствии азота произошло заметное снижение урожая.

Уменьшение дозы калия или устранение его из удобрения оказало мало заметное отрицательное влияние на массу урожая на горизонте A_1 при увеличении урожая зерна; на горизонте A_2 без калия произошло сильное уменьшение урожая; на горизонтах B_1 и B_2 уменьшение дозы калия и отсутствие его не оказали влияния на урожай.

Урожай горизонта A_2 составляет от 11 до 29% от урожаев горизонта A_1 , урожай горизонта B_1 — не больше 15% урожаев горизонта A_1 и урожай горизонта B_2 — от 7 до 29% от урожая горизонта A_1 . Качество зерна урожаев нижних горизонтов крайне низкое.



Фиг. 12. Целинный средний суглинок Дурово Зап. обл. Прибавки урожая в г на сосуд от доз P_2O_5 : 0.2, 0.4, 0.6 г по фону KN

6. Средний оподзоленный суглинок из Западной области, ст. Дурово. Целинная почва

Данные урожайности приведены в табл. 6 и на фиг. 11 (стр. 80) и 12. На горизонте A_1 действие доз фосфора на фоне KN было такое: первая и вторая дозы по 0.2 г P_2O_5 на сосуд дали одинаковые прибавки урожая (7.8 г), третья доза дала слабую прибавку (0.9 г). На горизонте A_2 отчетливо видно увеличение урожаев с увеличением доз P_2O_5 и суммарная

прибавка урожая составляет 4,15 г. На горизонте B_1 действие фосфора совсем неясно; на горизонте B_2 под влиянием увеличения доз P_2O_5 происходит слабое увеличение урожая, и суммарная прибавка урожая составляет 1,8 г. Урожай горизонтов A_2 по разным дозам P_2O_5 на фоне KN составляют от 21 до 28% от урожаев соответствующих сосудов горизонтов A_1 ; урожай горизонтов B_1 составляют от 10 до 15% и урожай горизонтов B_2 — от 15 до 18% от урожаев соответствующих сосудов горизонтов A_1 .

И в этой почве активное неплодородие нижних горизонтов выявилось очень резко.

Устранение азота из удобрения вызвало слабое понижение урожаев на горизонтах A_1 , A_2 и B_1 и сильное на горизонте B_2 . Уменьшение дозы калия в полном удобрении вызвало слабое снижение урожая горизонтов A_1 , а устранение калия привело к снижению урожая приблизительно на 25%. На горизонтах A_2 и B_1 влияние внесения калия не проявилось. На горизонте B_2 эффект от калия также неясен. Качество зерна в урожае нижних горизонтов такое же плохое, как и на нижних горизонтах остальных подзолистых почв.

Сопоставление результатов химического исследования почв и вегетационного опыта

Рассмотрение таблиц и графиков урожайности в сопоставлении с аналитическими данными различных горизонтов обыкновенного старопашотного чернозема, подзолотистой культурной почвы и четырех целинных подзолистых почв приводит к таким заключениям.

Чернозем из Митрофановки представляет несколько истощенную почву, скорее слабо, чем средне обеспеченную усвояемой фосфорной кислотой в двух верхних горизонтах при полном отсутствии ее в двух нижних горизонтах. Сопоставление таблицы нуждемости почв в удобрениях по химическим показателям с результатами вегетационного опыта (действие фосфора на фоне KN) показывает, что два верхних горизонта дали сильную реакцию на фосфор. Следующие два горизонта дали столь же сильный или более сильный эффект от фосфора: первые дозы фосфора (2,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы) вызвали сильное увеличение урожаев на всех горизонтах, причем подпахотный, т. е. второй горизонт, дал относительно меньшее увеличение урожая. Такая ослабленная восприимчивость подпахотного горизонта обыкновенного чернозема к малым дозам фосфора установлена ранее А. Т. Кирсановым.

При более высоких дозах фосфора урожай нижних горизонтов становится равным урожаю пахотного горизонта или же превышает их. Следовательно, неплодородие нижних горизонтов этого чернозема является исключительно следствием недостатка в них некоторых питательных веществ и в первую очередь фосфора. Вносимые удобрения остаются в усвояемой форме и используются растениями. В нижних горизонтах взятого чернозема нет активного проявления неплодородия.

Культурная подзолистая почва с фермы Тимирязевской сельскохозяйственной академии представляет уже различное отношение к вносимым удобрениям по разным горизонтам ее.

Для горизонта A_1 показания вегетационного опыта согласуются с химическими показателями. Горизонт A_2 дал такую же согласованность показателей по отношению к P_2O_5 : крайняя нуждаемость в P_2O_5 , установленная анализом, отразилась в сильном повышении урожая от внесения P_2O_5 , причем абсолютная величина урожаев была удовлетворительна. Горизонт B_1 той же почвы дал урожай лишь в долях грамма и никакого действия удобрений не проявилось. Следовательно, вносимые в горизонт A_2 удобрения в сильной степени, хотя и не полностью, используются растениями, а в горизонте B_1 внесенные удобрения оказались совершенно недоступными растениям.

Таким образом, неплодородие в горизонте A_2 частично погашается внесением удобрений; значительная часть внесенного фосфора осталась в доступной для растений форме. На горизонте B_1 неплодородие носит активный характер, и внесенные удобрения стали полностью недоступными растениям. Никакого соответствия между химическими показателями и результатом вегетационного опыта по отношению к ожидаемому действию удобрений на этом горизонте нет.

В целинном суглинке. Виноградово горизонт A_1 по химическим показателям должен дать сильное повышение урожая от удобрения фосфором и среднюю реакцию на калий и азот. Фосфорнокислое удобрение удвоило урожай по сравнению с KN. Калий также дал значительный положительный эффект. Следовательно, показания химического исследования и вегетационного опыта согласуются по отношению к P и K; азот оказал отрицательное действие.

На горизонте A_2 анализом отмечена сильная нуждаемость в фосфоре, калии и азоте. Фосфорнокислое удобрение увеличило в полтора раза урожай по сравнению с KN-удобрением, но и при максимальной дозе P_2O_5 (0,6 г) урожай был меньше, чем в сосуде без удобрения на горизонте A_1 . Влияния калия на урожай не оказалось. Азот понизил урожай. Абсолютная величина урожаев очень низка.

На горизонтах B_1 и B_2 химически установлены средняя отзывчивость на фосфор (содержание «усвояемого» фосфора около 16-мг на 100 г почвы) и сильная отзывчивость на калий и азот.

Под влиянием фосфора урожай увеличился приблизительно в 2,5 раза по сравнению с KN-удобрением и в 3 раза по сравнению с неудобренным сосудом. Калий оказал отрицательное влияние на урожай. Азот на фоне KP удвоил урожай. Абсолютная величина урожаев горизонтов B_1 и B_2 по PKN составляет около 17% урожая горизонта A_1 по такому же удобрению.

На нижних горизонтах этой почвы, следовательно, есть параллелизм между химическим прогнозом потребности в фосфоре и вегетационным опытом, но весовое выражение в урожае действия фосфора очень мало; из этого следует, что и при достаточном внесении калия и азота растения

очень слабо используют вносимый фосфор и совсем не используют почвенных запасов легкорастворимой фосфорной кислоты.

Таким образом, горизонты A_2 , B_1 и B_2 представляют явление активного неплотнородия, в сильной степени тормозящего действие вносимых удобрений.

На среднем суглинке Останкино на горизонте A_1 действие вносимого фосфора гораздо слабее, чем ожидалось по химическим показателям. В связи с этим находится слабое действие калия и отрицательное действие азота. На горизонте A_2 максимальная доза фосфора увеличила урожай в 2,5 раза по сравнению с KN-удобрением; более слабое увеличение урожая получено на горизонтах B_1 и B_2 . На калий сильно реагировал горизонт A_2 , на азот — B_2 . На этой почве активное неплотнородие проявилось уже и на горизонте A_1 .

По максимальной дозе фосфора (0,6 г) на фоне KN урожай нижних горизонтов по отношению к урожаю горизонта A_1 составили: A_2 — 29,2%, B_1 — 12,6%, B_2 — 23,1%. В горизонте B_1 содержится 7,7 мг «усвояемой» фосфорной кислоты.

Действие удобрений по профилю среднего суглинка со ст. Дурово аналогично предыдущим почвам, но природный фон здесь несколько иной: во всех горизонтах есть «усвояемая» фосфорная кислота, причем горизонты B_1 и B_2 содержат по 7 мг на 100 г почвы. Вопреки этому, действие внесенного фосфора оказалось наиболее слабым именно на горизонтах B_1 и B_2 , что иллюстрируется суммарными прибавками урожая от внесения фосфора, именно: на горизонте A_1 — 16,53 г, на горизонте A_2 — 4,15 г, на горизонте B_1 — 0,33 г и на горизонте B_2 — 1,80 г.

Следовательно, растения лишь в ничтожной доле использовали P_2O_5 -удобрения и совсем не использовали природных запасов легко растворимой P_2O_5 почвы. Соответствия между химическим прогнозом и вегетационным опытом нет. Горизонты A_2 , B_1 и B_2 обладают активным неплотнородием.

Действие калия на фоне PN на нижних горизонтах не проявилось. Тяжелая супесь из Лосиноостровской представляет наиболее яркий пример активного неплотнородия горизонтов A_2 , B_1 и B_2 . Урожай по всем вариантам удобрений был настолько жалок и развитие растений так уродливо, что никакого суждения о действии удобрения высказать нельзя.

Рассмотрение материалов химического исследования в сопоставлении с результатами вегетационного опыта приводит к такому предварительному выводу.

В подзолистых почвах подгумусовые горизонты имеют неблагоприятные физические свойства для жизнедеятельности корней: сложение плотное или очень плотное и аэрация затруднена. В связи с этим, вероятно, неблагоприятны и условия микробиологические.

Реакция по всему профилю взятых почв кислая, причем кислотность большей частью усиливается к низу. Емкость поглощения очень мала. В горизонтах A_2 , B_1 и B_2 содержатся довольно значительные количе-

ства поглощенного водорода. Количество органического вещества на подпахотных горизонтах ничтожное; содержание подвижных полуторных окислов велико.

Является предположение, что на фоне общих неблагоприятных условий для деятельности корней в горизонтах A_2 , B_1 и B_2 одной из главных причин неплотнородия этих горизонтов почвы является их способность превращать вносимый в легко усвояемой форме фосфат в недоступную для растений форму; на создающемся фоне дефицита фосфора никакой правильности в действии вносимых совместно с фосфором калийных и азотистых удобрений не может быть.

Эта мысль поддерживается таким сопоставлением. В вегетационных опытах Петербургской сельскохозяйственной лаборатории со старопахотными, хорошо унавоженными и клевероутомленными подзолистыми почвами на горизонтах A_2 и B_1 получены нормальные растения и хорошие урожаи.

В опытах Косцелецкого со старопахотными подзолистыми почвами урожаи на горизонтах A_2 и B_1 по минеральному удобрению достигали 93% от урожаев горизонта A_1 .

В наших опытах на горизонте A_2 культурной подзолистой почвы с фермы Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 9 лет назад вышедшей из-под леса и ежегодно получавшей навоз, минеральные удобрения, в особенности фосфор, проявили сильное действие: растения были нормальные и дали хороший урожай; на горизонте B_1 той же почвы рост растений при тех же удобрениях был совершенно ненормальный. Однородная с этой целинная почва из Останкина ярко проявила невосприимчивость к удобрениям на горизонтах A_2 , B_1 и B_2 .

Какие изменения могут произойти в нижних горизонтах подзолистой почвы под влиянием культуры?

Физические свойства нижних горизонтов, не затрагиваемых обработкой, не улучшаются: остаются та же плотность сложения, бесструктурность и затрудненность аэрации; можно предположить даже, что физические условия на горизонте A_2 станут хуже по таким причинам: 1) плуг выравнивает и уплотняет дно борозды; 2) образование глыб при пахоте способствует быстрому току вниз ливневой и снеговой воды и вымыванию мелких почвенных частиц; 3) растирание почвы при обработке способствует выносу мельчайших почвенных частиц в подпахотные горизонты.

Следовательно, особенности физических свойств горизонтов A_2 , B_1 и B_2 не являются исключительной причиной их неплотнородия. В химизме подпахотных горизонтов можно ожидать таких изменений.

Вследствие более или менее частого внесения навоза и накопления растительных остатков в пахотном горизонте увеличатся по сравнению с целинной почвой абсолютное количество растворимого гумуса и проникание его в подпахотные горизонты.

При разложении навоза и растительных остатков освобождается значительное количество калия (до 0,7%) и извести (до 0,75%). Эти элементы, в особенности известь, сильно выщелачиваются из пахотного горизонта

и, таким образом, происходит систематическое микроизвесткование подпахотных горизонтов почвы. Следствием этого будут увеличение степени насыщенности в подпахотных горизонтах; уменьшение количества поглощенного водорода, процесс превращения полуторифосфатов в кальций-фосфаты и понижение концентрации подвижного железа и алюминия.

Независимость активного неплотродия горизонтов A_2 , B_1 и B_2 подзолистых почв от их физических свойств становится ясной при вегетационных опытах. Почвы предварительно просушиваются при частом перелопачивании; перед набивкой почвы слегка смачиваются, в результате получается прекрасная комковатая структура, в особенности на горизонтах B_1 и B_2 ; идеальная аэрация обеспечивается дренажем и поливом снизу.

Таким образом, те явления, которые связаны с земледелием, повидимому, должны оказать прямое влияние на химическое состояние почвенной фосфорной кислоты на нижних горизонтах подзолистых почв и на динамику вносимых в легко усвояемой форме фосфатов.

А. Т. Кирсанов установил, что определяемая его методом легкорастворимая в $0.2n$ HCl фосфорная кислота в профиле подзолистой почвы не однородна: в горизонте A_1 такое определение потребности почв в фосфоре полностью согласуется с вегетационным опытом, а в нижних горизонтах растворимая в $0.2n$ HCl фосфорная кислота оказывается недоступной для растений. По заключению А. Т. Кирсанова, подзолообразовательный процесс не только усиливает кислотность почвы, но одновременно усиливает подвижность железа и других элементов, угнетающих развитие растений. Повышение концентрации подвижного железа сильно понижает поступление P_2O_5 в растение. Фосфаты, и особенно кальций, связывают подвижное железо.

А. Floyd Hesk установил, что реакция почвы и присутствие активного кальция—важные факторы, определяющие формы фиксации фосфора.

Наибольшая подвижность фосфора имеет место в почвах с нейтральной реакцией, содержащих мало активных полуторных окислов.

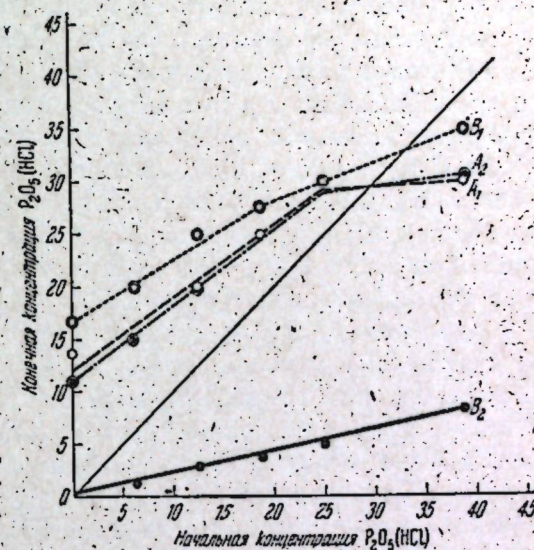
Низкая степень насыщенности почвы основаниями сопровождается большей способностью почвы к фиксации фосфора в трудно доступной растениям форме.

При одинаковой степени насыщения почва с более низкой емкостью поглощения более способствует превращению фосфора в недоступное для растений состояние. Если в почве отношение активного кальция к активному железу и алюминию высоко, то фиксация фосфора происходит в виде кальций-фосфатов, и фиксированный фосфор будет легко усвояем; при обратном отношении кальция, железа и алюминия в почве фосфор фиксируется в форме ферро- и алюмо-фосфатов, трудно усвояемых растениями.

Исследуемые нами подзолистые почвы обладают сильно кислой реакцией, малой емкостью поглощения и низкой степенью насыщенности. На горизонтах A_2 , B_1 и B_2 количество подвижного железа должно быть в них велико.

В связи с этим предполагается, что в горизонтах A_2 , B_1 и B_2 отношение количества Ca к Fe и Al благоприятствует поглощению фосфора (почвенного и вносимого в виде удобрения) в виде $FePO_4$, $Fe(OH)_3$, $FePO_4$ и $Al(OH)_3 \cdot AlPO_4$, т. е. в формах, трудно доступных и недоступных растениям. С целью проверки этих предположений сделаны дополнительные исследования поглощения P_2O_5 почвами из растворов в $0.2n$ HCl и $0.2n$ $C_2H_4O_2$ при разных концентрациях P_2O_5 в растворах и определения подвижного кальция и железа.

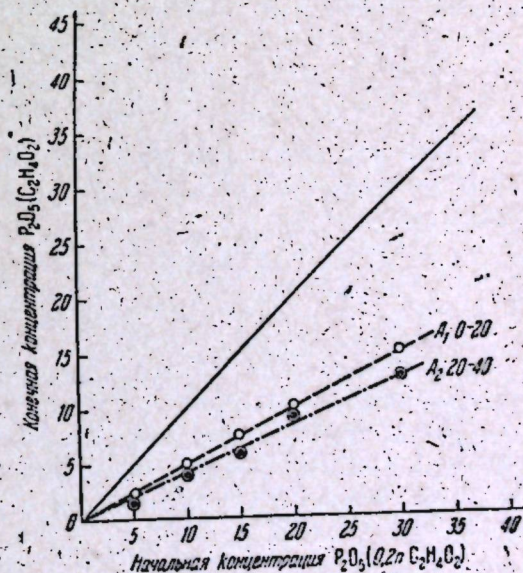
Поглощение P_2O_5 из растворов в $0.2n$ HCl и $0.2n$ $C_2H_4O_2$



Фиг. 13. Черномзем Митрофановка. Поглощение P_2O_5 из $0.2n$ HCl

Определение поглощения почвами производилось следующим образом: 20 г почвы встряхивалось 1 час с 200 см^3 $0.2n$ кислоты с добавлением 5, 10, 15, 20 и 30 мг P_2O_5 в виде KH_2PO_4 ; после суточного отстаивания конечная концентрация P_2O_5 определялась колориметрическим способом А. Т. Кирсанова. Для черномзема концентрация кислоты подбиралась так, чтобы конечная ее концентрация была близка к $0.2n$.

Степень поглощения P_2O_5 изображена графиками, на которых конечные концентрации P_2O_5 отложены на оси ординат, а первоначальные концентрации P_2O_5 — на оси абсцисс. Точки пересечения кривых конечных концентраций с биссектрисой представляют критические точки равновесия при поглощении. На другой серии графиков нанесены проценты поглощения P_2O_5 по отношению к внесенному на 100 г почвы количеству P_2O_5 .



Фиг. 14. Черномзем Митрофановка. Поглощение P_2O_5 из $0.2n$ $C_2H_4O_2$

Для того чтобы уяснить, какое количество вносимой фосфорной кислоты поглощается почвами в форме кальций-фосфатов и какое в форме полуторафосфатов, принято такое предположение: 0.2n HCl растворяет на холоду полуторафосфаты, кальций-фосфаты и фосфаты щелочных металлов. Так как в исследуемых почвах нет водорастворимой фосфорной кислоты, то, следовательно, в них нет фосфатов щелочных металлов и монокальций-фосфата. Значит, разность конечных концентраций P_2O_5 в 0.2n HCl и 0.2n $C_2H_4O_2$ после процесса поглощения фосфорной кислоты, выраженная в процентах от первоначальной концентрации P_2O_5 , покажет количество P_2O_5 , поглощенной железом и алюминием в процентах от внесенной дозы P_2O_5 , а конечная концентрация P_2O_5 в 0.2n $C_2H_4O_2$ дает процентное количество P_2O_5 , связанной с кальцием, в сумме с непоглощенной фосфорной кислотой.

Для первых испытанных доз, прибавки P_2O_5 к почве это показание кажется близким к истине; по мере же приближения реакции поглощения и отдачи P_2O_5 к состоянию равновесия правильность предположенного соотношения между P_2O_5 , растворимой в 0.2n HCl и 0.2n $C_2H_4O_2$, может оказаться нарушенной.

Предельные дозы внесения P_2O_5 (20—30 мг на 100 г почвы) могут превышать поглотительную способность почв по отношению к фосфорной кислоте, что отразится на количестве P_2O_5 в уксуснокислом растворе. Для того чтобы уточнить определение растворимости P_2O_5 в 0.2n $C_2H_4O_2$, сделано определение поглощения P_2O_5 из водного раствора в двух почвах — Черкизово и Виноградово.

1. Чернозем

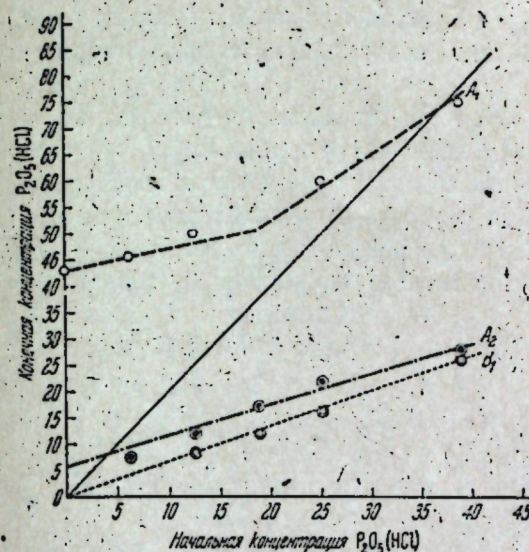
Первые три горизонта дают кривые поглощения P_2O_5 из 0.2n HCl, согласно с определением легкорастворимой P_2O_5 в них. Критические точки равновесия:

горизонт	0—20—28,
»	20—0—30.5,
»	50—70—33.5.

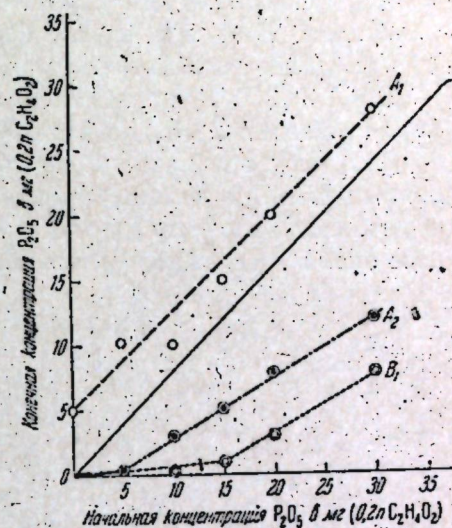
При горизонте 90—110 равновесие не наступило при взятой начальной предельной концентрации 32.5 мг P_2O_5 на 100 г почвы, и критическая точка не получена вследствие полного поглощения P_2O_5 . В уксусной кислоте поглощение имеет очень энергичный характер, и при взятых начальных концентрациях равновесие не достигнуто ни для одного горизонта (фиг. 13 и 14, стр. 87).

2. Культурная почва. Ферма Тимирязевской сельскохозяйственной академии

В 0.2n HCl для горизонта A_1 не удалось установить критическую точку, так как количество легкорастворимой P_2O_5 велико (43 мг на 100 г почвы) и поглощение слабо заметно. Горизонты A_2 и B_1 обнаружили силь-

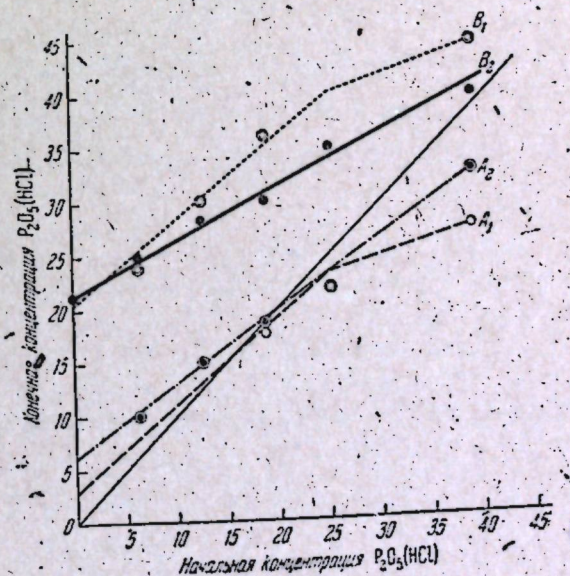


Фиг. 15. Культурная подзолистая почва. Ферма Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Поглощение P_2O_5 из 0.2n HCl



Фиг. 16. Культурная подзолистая почва. Ферма Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Поглощение P_2O_5 из 0.2n $C_2H_4O_2$

ное поглощение P_2O_5 : равновесие для A_2 в точке 3, для B_1 в точке 0. График поглощения P_2O_5 из 0.2n $C_2H_4O_2$ показывает, что в горизонте A_1 большая часть P_2O_5 находится в форме кальций-фосфатов, так как поглощение в очень слабой степени начинается лишь при наивысшей начальной концентрации P_2O_5 ; в горизонте A_2 поглощение P_2O_5 при малых дозах (5—10 мг) происходит с образованием целиком полуторафосфатов; P_2O_5 в горизонте B_1 поглощается весьма энергично и целиком в виде полуторафосфатов (фиг. 15 и 16).



Фиг. 17. Виноградово. Поглощение P_2O_5 из 0.2n HCl

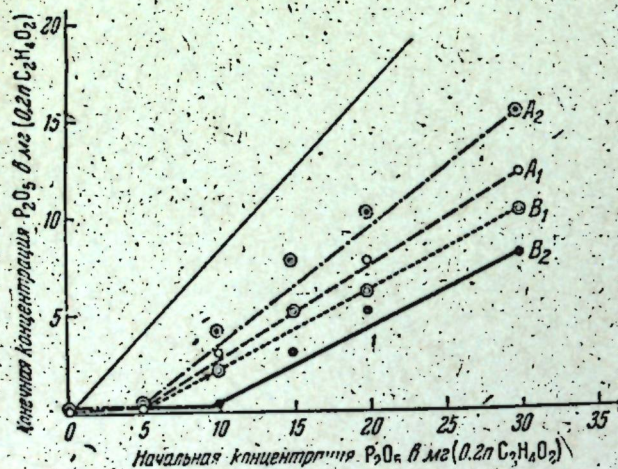
3. Целинный суглинок Виноградово

В горизонтах A_1 и A_2 , содержащих мало легкорастворимой P_2O_5 , происходит сильное поглощение P_2O_5 из 0.2n HCl: критическая точка для горизонта A_1 — 17, для горизонта A_2 — 19. Для горизонтов B_1

и B_2 равновесие не достигнуто при предельной взятой начальной концентрации P_2O_5 вследствие большого содержания легкорастворимой P_2O_5 на этих горизонтах.

В $0.2n$ $C_2H_4O_2$ поглощение P_2O_5 идет чрезвычайно энергично во всех горизонтах. Первые дозы P_2O_5 поглощаются целиком.

При всех начальных концентрациях во всех горизонтах этой почвы поглощение P_2O_5 идет исключительно с образованием полуторафосфатов: в горизонте A_1 — при дозах до 20 мг, в остальных горизонтах — при дозе около 7 мг. Самое слабое поглощение P_2O_5 из уксусной кислоты происходит в горизонте A_2 (фиг. 17, стр. 89, и фиг. 18).



Фиг. 18. Виноградово. Поглощение P_2O_5 из $0.2n$ $C_2H_4O_2$.

В $0.2n$ $C_2H_4O_2$ происходит энергичное поглощение P_2O_5 при всех взятых начальных концентрациях и равновесие не достигнуто ни для одного горизонта.

Поглощение P_2O_5 происходит целиком в форме полуторафосфатов: в горизонтах A_1 , A_2 и B_2 — до концентрации около 8 мг и в горизонте B_1 — до концентрации 15 мг P_2O_5 на 100 г почвы (фиг. 19 и 20).

5. Целинный суглинок Дурово Западной области

Поглощение из $0.2n$ HCl в горизонтах A_1 и A_2 довольно сильное; критические точки равновесия A_1 — 18 и 19. Слабее происходит поглощение в горизонтах B_2 и B_1 , для которых точки равновесия — около 33. Поглощение из $0.2n$ $C_2H_4O_2$ имеет очень энергичный характер и почти одинаково на всех горизонтах. Поглощение P_2O_5 во всех горизонтах этой почвы происходит с образованием только полуторафосфатов до концентрации 15 мг P_2O_5 на 100 г почвы.

4. Целинный суглинок Останкино

Из $0.2n$ HCl происходит сильное поглощение P_2O_5 в горизонтах A_1 , A_2 и B_1 . Точки равновесия для них — 20, 15 и 2 соответственно. В горизонте B_2 слабое поглощение начинается при высоких начальных концентрациях P_2O_5 и равновесие не достигнуто.

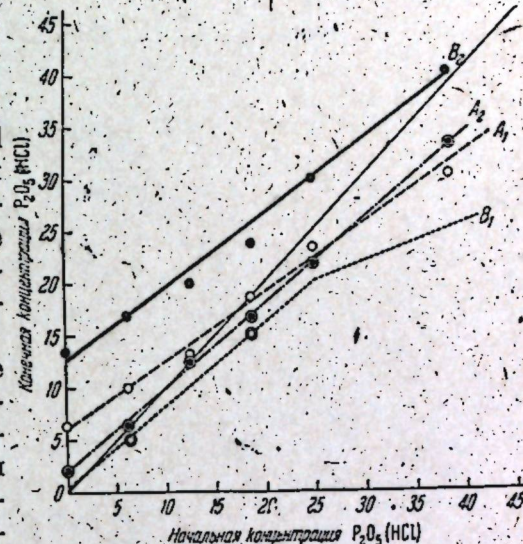
6. Целинная супесь Лосиноостровская (Черкизово)

Поглощение P_2O_5 из $0.2n$ HCl сильно выражено: в горизонтах A_1 , A_2 и B_1 точка равновесия — около 0. Слабее идет поглощение на горизонте B_2 , для которого критическая точка равновесия — около 30.

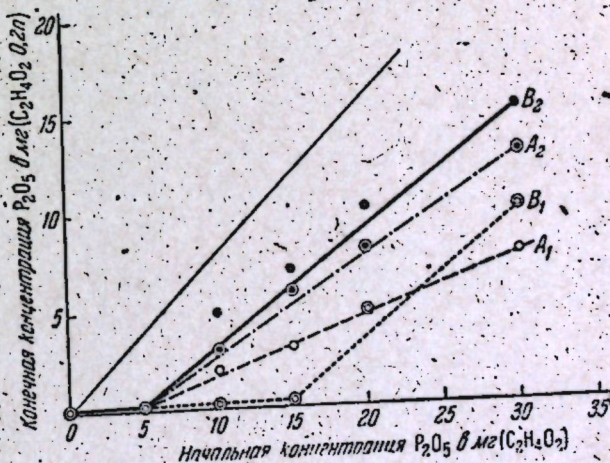
Из $0.2n$ $C_2H_4O_2$ поглощение P_2O_5 происходит наиболее энергично в горизонте A_1 , затем в горизонте A_2 . Более слабое и почти одинаково поглощение происходит в горизонтах B_1 и B_2 . Поглощение P_2O_5 протекает с образованием исключительно полуторафосфатов на горизонте A_1 до концентрации 18 мг, на горизонтах A_2 , B_1 и B_2 — до концентрации около 7 мг на 100 г почвы (фиг. 21 и 22, стр. 92).

Из рассмотрения явлений поглощения P_2O_5 в различных горизонтах почв из солянокислого и уксусного растворов следует заключение, что во всех горизонтах всех исследуемых подзолистых почв вносимый фосфор при малых дозах фиксируется с образованием только полуторафосфатов и что при самой высокой начальной концентрации P_2O_5 в $0.2n$ $C_2H_4O_2$ (30 мг P_2O_5 в 100 см³) далеко не достигается насыщение почвенных полуторных окислов фосфорной кислотой.

При вегетационных опытах с подзолистыми почвами на 100 г почвы вносилось 2.86 мг, 5.72 мг и 8.58 мг P_2O_5 . Очевидно, что на горизонтах A_2 , B_1 и B_2 вся или почти вся внесенная фосфорная кислота превращалась в полуторафосфаты и становилась трудно доступной растениям. Можно предположить, что при увеличении в несколько раз доз P_2O_5 ,

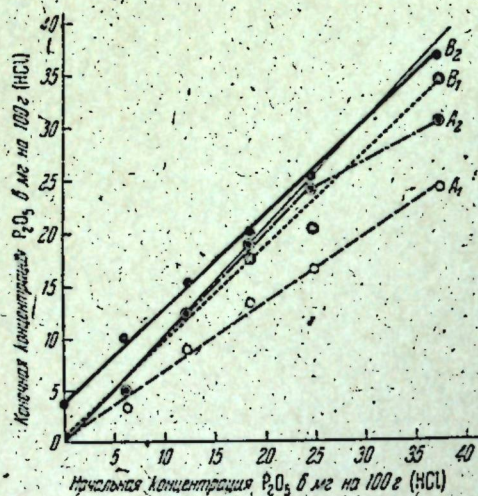


Фиг. 19. Останкино. Поглощение P_2O_5 из $0.2n$ HCl .



Фиг. 20. Останкино. Поглощение P_2O_5 из $0.2n$ $C_2H_4O_2$.

вносимых в почву горизонтов A_2 , B_1 и B_2 подзолов, действие фосфора оказалось бы более сильным и урожайность этих горизонтов по полному минеральному удобрению приблизилась бы к урожайности верхних горизонтов.



Фиг. 21. Черкизово. Поглощение P_2O_5 из 0.2N HCl

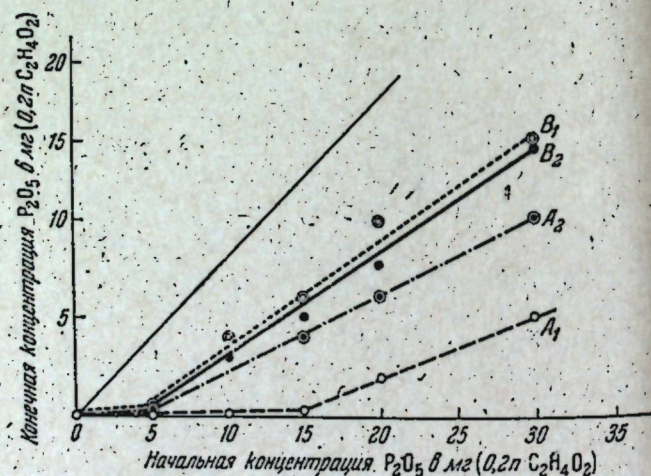
Приведенные выше результаты вегетационных опытов ярко показывают, что, вопреки однохарактерности поглощения фосфорной кислоты в лабораторной обстановке по профилю всех исследуемых почв, вносимое фосфорнокислородное удобрение имеет совершенно различное физиологическое значение на черноземе и в подзолах по горизонтам их профиля.

Все горизонты чернозема отвечают сильным повышением урожая на внесение фосфорной кислоты, и, как показали исследования А. Т. Кирсанова, использование растений вносимой в малых дозах фосфорной кислоты во всем профиле чернозема доходит до 90%.

Такое же явление происходит и в гумусовом горизонте подзолов: хотя вносимый в малых дозах фосфор поглощается целиком или преимущественно в виде полуторафосфатов, тем не менее, фосфорное удобрение сильно усваивается растениями даже при внесении малых доз.

Совсем иначе обстоит дело с подгумусовыми горизонтами: в них вносимый фосфор становится слабо доступным или почти недоступным растениям. Исследованиями Кирсанова установлено, что подгумусовые горизонты некоторых подзолов на второй год их использования не проявляют неплодородия и дают нормальные урожаи.

Следовательно, в гумусовых горизонтах подзолистых почв происходит быстрая перестройка образовавшихся при поглощении фосфора из



Фиг. 22. Черкизово. Поглощение P_2O_5 из 0.2N $C_2H_4O_2$

удобрения полуторафосфатов в легко усвояемые растениями соединения, а в горизонтах A_2 , B_1 и B_2 подзолистых почв этот процесс протекает с большой медленностью и только при наличии каких-то определенных почвенных условий на этих горизонтах, так как не во всех почвах на второй год пользования подгумусовые горизонты становятся плодородными.

Объяснить всецело этот процесс наличием большого количества органического вещества на горизонте A_1 подзолов и ничтожным содержанием его в остальных горизонтах нельзя.

Основываясь на установленном А. Т. Кирсановым значении взаимодействия подвижного железа и фосфорной кислоты в подзолистых почвах, можно предположить, что активное неплодородие подгумусовых горизонтов этих почв, наряду с другими почвенными факторами (резкое уменьшение содержания органического вещества, уменьшение значения pH, изменение физических свойств, уменьшение степени насыщенности, и т. д.), зависит также от различного соотношения в содержании подвижного кальция и подвижных полуторных окислов.

Предварительные определения показывают, что усиление активного неплодородия подгумусовых горизонтов подзолистых почв находится в связи с изменением отношения $CaO : R_2O_3$.

В исследуемых почвах содержание титана доходит до 0.7%. Роль титана в режиме фосфорного питания растений послужит темой для отдельного исследования.

Заключение

1. Цель работы заключалась в исследовании усвоения растениями (ячмень) фосфора и калия из подпахотных горизонтов почв.
2. На черноземе исследование действия доз фосфора от 0.2 до 1.0 г на сосуд (от 2.5 до 12.5 мг P_2O_5 на 100 г почвы) показало, что на всех горизонтах до глубины 110 см внесенный фосфор вызвал сильное повышение урожая, причем дозы в 5 и 7.5 мг P_2O_5 на 100 г почвы дали на нижних горизонтах более высокие (абсолютно) урожаи, чем на пахотном горизонте. Неплодородие нижних горизонтов чернозема — следствие недостатка в них, в первую очередь, фосфора, во вторую очередь — азота. Бедность нижних горизонтов усвояемым фосфором объясняется тем, что его естественные запасы использованы растениями, частью отложены на поверхностном горизонте, частью удалены с урожаями.
3. На горизонте A_1 всех исследованных подзолистых почв действие фосфорнокислого удобрения соответствовало химическому прогнозу; при этом на одних почвах наиболее сильное действие оказали первые дозы (2.86 мг на 100 г почвы), на других — последующие дозы.
4. На горизонте A_2 в действии фосфорнокислого удобрения оказалась большая разница между культурной и целинными почвами. На горизонте A_2 культурной почвы внесенный фосфор вызвал сильное повышение урожая, увеличивающегося с увеличением доз фосфора; на горизонте

А₂ целинных почв действие фосфорнокислого удобрения было слабое или ничтожное, и абсолютная величина урожаев очень низка.

5. На горизонтах В₁ и В₂ как культурной, так и целинных подзолистых почв действие внесенного фосфорнокислого удобрения было слабым или ничтожным, абсолютные величины урожаев очень низки.

6. В урожайности нижних горизонтов некоторых почв можно отметить последовательное нарастание урожая с увеличением доз вносимого фосфора, совершенно независимое от имеющихся в почве количеств природной, легкорастворимой фосфорной кислоты. Например, на тяжелом целинном суглинке Виноградово урожай при разных дозах фосфора был в процентах от урожая почвы с КN-удобрением следующий:

Горизонты	КN	P ₂ O ₅ — 2.86 мг	P ₂ O ₅ — 5.72 мг КN	P ₂ O ₅ — 8.58 мг на 100 г
A ₂	100	111	129	151
B ₁	100	110	115	166
B ₂	100	130	187	235

Содержание усвояемой (растворимой в 0.2N HCl) природной фосфорной кислоты в этой почве: горизонт А₂ — 6.1 мг, горизонты В₁ и В₂ — по 21 мг на 100 г почвы.

7. Природные запасы легкорастворимой в 0.2N HCl фосфорной кислоты в горизонтах А₂, В₁ и В₂ подзолистых почв не используются растениями.

8. Слабое действие фосфорнокислого удобрения на горизонтах А₂, В₁ и В₂ подзолистых почв наводит на мысль, что растворимая в 0.2N HCl фосфорная кислота, имеющаяся на этих горизонтах, находится в виде ферро- и алюмофосфатов и что вносимый в малых дозах фосфор полностью поглощается полуторными окислами.

9. Исследование поглощения P₂O₅ из 0.2N солянокислого и уксуснокислого растворов показывает, что фосфор поглощается целиком в форме полуторафосфатов при дозах его до 10—15 мг на 100 г почвы.

10. Соотношение ионов Ca⁺⁺ и R⁺⁺⁺ в нижних горизонтах подзолистых почв благоприятствует образованию полуторафосфатов при внесении фосфорнокислого удобрения. Низкая степень насыщенности в нижних горизонтах способствует образованию неусвояемых фосфатов.

11. Химический анализ показывает, что все горизонты исследуемых целинных подзолистых почв и нижние горизонты культурной почвы испытывают сильную потребность в калийном удобрении. Гумусовые горизонты всех почв дали правильный ответ на внесение калийного удобрения по фону PN. На горизонтах А₂, В₁ и В₂ действие калия на фоне PN оказалось неопределенным, что можно приписать влиянию недостатка усвояемого фосфора.

12. Действие азота на фоне РК-удобрения на гумусовом горизонте было положительным только в одной почве из четырех. На горизонтах А₂, В₁ и В₂ действие азота оказалось неопределенным, что связано с недостаточным усвоением фосфора и калия.

B. GANJA

THE FERTILITY OF DIFFERENT HORIZONS OF CHERNOSEM AND PODSOLIESED SOILS

Summary

1. The object of the work was to investigate the assimilation of phosphorus and potassium from the deep horizons of soil by plants (barley).

2. Studies of the effect of phosphorus doses from 0.2 to 1.0 gr. to a pot of chernosem (2.5—12.5 mgr P₂O₅ on 100 gr of soil) showed, that at all horizons till 110 cm deep the introduction of phosphorus caused an increase of the crop; doses from 5 to 7.5 mgr of P₂O₅ to 100 gr of soil are more effective and giving higher (absolute) cropyield on the underlayers than on the arable horizon.

The low fertility of the lower layers of chernozem is due to the deficiency in the first place of phosphorus and in the second — of nitrogen.

3. At horizons A₁ of all investigated podzolised soils, the effect of phosphate fertilizer corresponds to the chemical prognosis; in some soils the most powerful effect was obtained by the first unit of fertilizer (2.86 mgr on 100 gr of soil), in others — by the subsequent units.

4. At horizons A₂ the effect of phosphate fertilizer on cultivated and virgin soils was widely different. On cultivated soil the introduction of phosphorus caused a noticeable increase of the crop increasing with the introduction of larger doses of the fertilizers. On virgin soils the effect of phosphate was low or insignificant and the absolute yield of the crop was very small.

5. On horizons B₁ and B₂ of cultivated as well as virgin podzolised soils the effect of introduced phosphate fertilizer was perfectly insignificant and the absolute yield of the crop was also very small.

6. In the fertility of underlying horizons of some soils we observe a successive increase of the yielding capacity in proportion with the increasing of the introduced phosphorus doses, which is absolutely independent from the natural soil phosphate. For instance, in the heavy virgin loam «Vinogradovo», the percent of the yield at different phosphorus doses against that of a K_N-fertilized soil was as follows:

Horizons	K _N	P ₂ O ₅ — 2.86 mgr	P ₂ O ₅ — 5.72 mgr K _N	P ₂ O ₅ — 8.58 mgr on 100 gr
A ₂	100	111	129	151
B ₁	100	110	115	166
B ₂	100	130	187	235

The contents of available (soluble in 0.2N HCl) natural phosphoric acid in this soil is as follows: horizon A₂ — 6.1 mgr; B₁ and B₂ — 21 mgr on 100 gr of soil.

7. The natural resources of easily soluble in 0.2N HCl phosphoric acid in horizons A_2 , B_1 and B_2 of podzolised soils are not consumed by plants.

8. The weak effect of phosphate fertilizer on horizons A_2 , B_1 and B_2 suggests the idea of the soluble in 0.2N HCl phosphoric acid of these horizons is present in the form of ferri- and alumophosphates and the introduced small doses of phosphorus completely absorbed by the sesquioxides.

9. Investigations of absorption of P_2O_5 from 0.2N of hydrochloric and acetic acid solutions show, that doses of phosphorus of 10—15 mgr on 100 gr of soil are completely absorbed in the form of sesquiphosphates.

10. The ionic correlation Ca^{++} and R^{+++} in the subjacent horizons of podzolised soils is beneficial to the formation of sesquiphosphates in the presence of phosphoric acid fertilizers. The low saturation of the subjacent horizons assists the formation of unavailable phosphates.

11. Chemical analysis shows that all investigated horizons of virgin podzolised soils and the subjacent horizons of cultivated soils stand in great need of potassium fertilizers.

The humus horizons of all the soils reacted positively on the introduction of potassium fertilizers with PN manure.

At horizons A_2 , B_1 and B_2 the effect of potassium against a PN manure was uncertain, apparently in consequence of an insufficiency of available phosphorus.

12. The effect of nitrogen in conjunction of PK-fertilizers at humus horizons turned out positive only in one of four soil varieties. At horizons A_2 , B_1 and B_2 the nitrogen effect was uncertain due to an insufficient assimilation of phosphorus and potassium.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирсанов А. Т. Усвоение P_2O_5 растениями на различных горизонтах обыкновенного чернозема. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, т. XIV, 1936.
2. Кирсанов А. Т. Агрохимические особенности пахотного слоя и подстиляющих его горизонтов подзолистых почв. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, т. XIV, 1936.
3. Кирсанов А. Т. Методы определения потребности почв в фосфорнокислых удобрениях. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, т. XII, 1935.
4. Щусьев С. В. К вопросу о плодородии почвенных горизонтов. Журн. оп. агр., т. II, кн. 5, 1901.
5. Гедройц К. К. Сравнительное плодородие различных почвенных горизонтов. Тр. Сельскохозяйств. химич. лаборатории в С.-Петербурге, вып. 6, 1909.
6. Косцелеский А. К вопросу о плодородии почв по отношению к фосфорной кислоте. Журн. оп. агр., т. X, кн. 3, 1909.
7. Скальский С. Вегетационные опыты по плодородию почвы. Записки Сельскохозяйств. общ-ва Южной России, 1912. Цит. по реф. в Журн. оп. агр., т. XIV, 1913.
8. Вельбелль В. М. Вегетационные опыты. Тр. Подт. оп. ст., № 23, 1914. Цит. по реф. в Журн. оп. агр., т. XIX, кн. 2, 1918.

9. Alway I., McDole G. R. The loess soils of the Nebraska portion of the transition region. I. Hygroscopicity, nitrogen and organic carbon Soil Science, v. I, No 3, 1916.
10. Alway I., McDole a. Rost C. O. The loess soils of the Nebraska portion of the transition region. VI. The relative «rawness» of the subsoils. Soil Science, v. III, No 1, 1917.
11. Harmer P. M. The relative «rawness» of some humid subsoils. Soil Science, v. V, No 5, 1918.
12. Mc Miller P. R. Some notes on the cause of the unproductivity of «raw» subsoils in humid region. Soil Science, v. VII, No 3, 1919.
13. Millar C. E. Availability of nutrients in subsoils. Soil Science, v. XIX, No 4, 1925.
14. Conner S. D. Nitrogen, phosphorus and potassium requirements of Indiana surface soils and subsoils. Journ. Amer. Soc. of Agronomy, v. XXVII, No 1, 1935.
15. Thornton S. T. The available phosphorus and potassium contents of surface soils and subsoils, as shown by the Neubauer method and by chemical tests. Journ. Amer. Soc. of Agronomy, v. XXVII, No 1, 1935.
16. Haskell S. B. The availability of subsoil potash. Soil Science, v. XIX, No 2, 1925.
17. Behrens W. U. Die Aufnahme und Verwertung der Phosphorsäure aus den verschiedenen tiefen Bodenschichten durch die Pflanzen. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde, v. XXXVI, H. 5/6, 1934.
18. Weaver J. E. Root development of field crops. New-York — London, 1926.
19. Millar C. E. The feeding power of plants in different soil horizons. Journ. Amer. Soc. of Agronomy, v. XVII, p. 150—159, 1925.
20. Кирсанов А. Т. Химизация чернозема, Воронеж, 1931.
21. Кирсанов А. Т. Роль фосфатов и извести на подзолистых почвах при различных концентрациях. Почвоведение, № 4, 1935.
22. Кирсанов А. Т. Поглощение фосфорной кислоты почвой. Химизация соц. земл., т. III, № 3—4, 1932.
23. Тюрин И. В. и Кононова М. М. О методе определения потребности почв в азоте. Тр. Почв. ин-та, т. VII, 1934.
24. Гедройц К. К. Доступность растениям фосфорной кислоты различных фосфорнокислых солей. Тр. Сельскохозяйств. хим. лаб. в С.-Петербурге, вып. 6, 1909.
25. Егоров М. А. К выяснению причин неплодородия подпахотных горизонтов. Сельскохозяйств. оп. дело, № 4, 1927. Цит. по реф. в Журн. оп. агр., т. XXIV, кн. 2, 1931.
26. Hillgard E. W. Soils New-York, pp. 161—166, 1921.
27. Неск А. Floyd. Phosphate fixation and penetration in Soils. Soil. Science, v. XXXVII, No 5, 1934.
28. Неск А. Floyd. Effect of the degree of base saturation of a soil on its capacity to fix phosphorus in difficultly available form. Soil Science, v. XXXVIII, No 6, 1934.
29. Гедройц К. К. Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений. Журн. оп. агр., т. VI, кн. 6, 1905.
30. Камерон Франк К. Почвенные растворы и классификация солонцов. Цит. по реф. в Журн. оп. агр., т. VI, стр. 613, 1905.
31. Krügel C., Dreyspring C. u. Heinz W. Ueber den leichtlöslichen Phosphorsäurevorrat von Ackerkrume und Untergrund. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde, B. XXXVI, H. 3/4, 1934.
- 7 Труды Почв. ин-та, т. XIV

32. Hibbard P. I. Factors, influencing phosphate fixation in soils. Soil Science, v. XXXIX, No 5, 1935.
33. Roszmann C. A. Retention of phosphorus by soil colloids. Soil Science, v. XXIV, No 6, 1927.
34. Петров Е. Г. Плодородие почвы и значение глубокой вспашки и обработки пласта. Тр. НИХИ, вып. 49, 1931.

А. Г. СЕНЮШОВ

КИСЛОВАНИЕ КАК ФАКТОР АКТИВИРОВАНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА

Введение

Вопросы повышения урожайности почв все более и более привлекают внимание исследователей.

Черноземы истари считаются почвами наиболее плодородными, обладающими большими запасами питательных веществ и благоприятными физическими и биологическими свойствами.

Несмотря на это, среднестатистические урожаи хлебных культур черноземной полосы заметно ниже урожаев на подзолистых почвах. Кроме того, большинство разностей чернозема отзывчиво на внесение удобрений, особенно фосфорнокислых, что при упомянутом богатстве питательными веществами и в частности P_2O_5 должно считаться парадоксальным. Очевидно, фосфорная кислота, являющаяся фактором, оказывающим огромное влияние на урожай, находится в черноземах в форме, трудно усвояемой растением. Причиной этому кальций, связывающий подвижность фосфорной кислоты, и нейтральная реакция черноземов.

По аналогии с известкованием, устраняющим вредное влияние избыточной кислотности северных почв, напрашивается мысль о целесообразности воздействия на нейтральную реакцию черноземных почв и сдвига ее в кислую сторону. Такой сдвиг реакции, хотя бы и кратковременный, безусловно должен ограничить связывающую роль кальция и увеличить подвижность почвенных соединений и в частности стимулировать переход фосфорной кислоты из стабильного состояния в более подвижные и доступные растению формы. Естественно, что такие заманчивые теоретические предпосылки вызывают повышенный интерес к проблеме кислывания черноземов, открывая возможность управления почвой в сторону повышения ее производительности.

За последние годы опубликованы результаты ряда удачных опытов с влиянием кислывания черноземов на урожай сельскохозяйственных культур, что еще более будирует умы работников, связанных с сельским хозяйством, и рисует широкие перспективы применения этого мероприятия в земледелии.

Большинство указанных опытов производилось в вегетационных сосудах и без проверки в полевых условиях; кроме того, они не были увязаны

единством методики наблюдений за изменениями химизма, происходящими в почве под влиянием кислования.

Наша работа представляет результат 2-летних полевых и вегетационных опытов, производимых в двух пунктах б. Центрально-Черноземной области по инициативе научно-исследовательских учреждений г. Воронежа.

Работа произведена под общим руководством зав. Отделом плодородия почв Почвенного института Академии Наук СССР проф. А. Т. Кирсанова на средства, предоставленные Научно-исследовательским сектором Областного земельного управления Центрально-Черноземной области, областной станцией химизации и Почвенным институтом Академии Наук.

Действие и последствие кислования на урожай сельскохозяйственных культур

А. Постановка вопроса и описание почв

В основу работ положено выяснение трех вопросов:

1) установление действия и последствия кислования чернозема на урожай сельскохозяйственных культур;

2) изучение изменений, происходящих в почве под влиянием кислования;

3) изучение динамики подвижных питательных веществ на кислованных и контрольных делянках.

Исследование велось путем закладки полевых и вегетационных опытов и химических исследований почвенных образцов. В двухлетний срок намечалось произвести полевые опыты в наиболее характерных пунктах б. Центрально-Черноземной области с таким расчетом, чтобы полученный материал не зависел от случайных метеорологических условий и дал возможность судить о действии применяемого мероприятия на основных почвенных разностях области.

Одним из пунктов был намечен мощный чернозем областной сельскохозяйственной опытной станции (Орловка) в 18 км от Воронежа, вторым — обыкновенный чернозем Митрофановского опытного поля (Митрофановка). Выбор этих точек диктовался соображением — охватить исследованием крайние точки черноземной полосы, в которых теоретически возможно было предполагать положительное действие кислования.

Таким образом, нами затронута северная граница мощного чернозема, выше которой на выщелоченных и деградированных разностях трудно предполагать целесообразность применения кислования, так как условия почвообразования здесь способствуют вытеснению обменных оснований и насыщению поглощающего комплекса водородным ионом естественным путем, благодаря обилию влаги в этих районах.

Почвы Митрофановского опытного поля на крайнем юго-востоке области представляют южную границу обыкновенного чернозема и здесь отчетливо выступает влага как фактор первого минимума. Обыкновенный чернозем Каменно-Степной опытной станции, занимающий как бы сред-

нее положение между избранными нами пунктами, является в достаточной мере изученным предшествующими исследованиями.

Если добавить к сказанному, что мы располагаем опубликованными данными опытов, произведенных И. П. Сомовым на Безенчукской опытной станции, а также и то, что во всех перечисленных точках опыты велись в течение ряда лет, т. е. при различных метеорологических условиях, то можно полагать, что весь этот материал будет достаточным для объективного суждения об отношении чернозема к такому сильному воздействию на него, каким является кислование. Ниже приводим описание почв участков, где производились полевые опыты.

1. Орловка. Участок А расположен в клину полей отдела агро-техники в 200—250 м от 4-го корпуса усадьбы опытной станции.

В почвенном отношении поле характеризуется разрезом С-3, описание которого приводится ниже.

Глубина
гор. в см

Разрез С-3. Участок А

- | | |
|-----------|--|
| 0 — 16 | Перепаханный, черный, заметно обесструктуренный суглинок; слегка влажный, равномерно окрашенный, по цвету граница не выражена, выделяется по структуре. |
| 16 — 46 | Такого же цвета, равномерно окрашенный суглинок. На стенке разреза ясно выступает коричневатый тон окраски. Структура зернистая, прекрасно выраженная. Переход в следующий горизонт весьма постепенный. Коричневатый тон окраски к низу усиливается. |
| 46 — 73 | Светлее окрашен, в окраске преобладает буро-коричневатый тон. Структура ясно выражена. К низу светлеет и постепенно переходит в следующий. |
| 73 — 100 | Карбонатный, пестро окрашенный с прожилками карбонатов (псевдоминцелий), пятна кротовин с окраской нижележащего горизонта. |
| 100 — 147 | Буро-желтая светлая, сильно карбонатная глина. Карбонаты в большом количестве в виде налета на стенках разреза. До 120 см встречаются пятна кротовин. |

Описанная разность мощного чернозема является преобладающей для данного района, но наряду с ней здесь встречаются пятна заметно выщелоченной разности с пониженным горизонтом вскипания и обедненной основаниями.

Участок В расположен в 300 м южнее на предовражной террасе и представлен в почвенном отношении другим вариантом мощного чернозема, отличающегося от почвы первого участка более повышенным горизонтом вскипания и несколько меньшей мощностью гумусовых горизонтов.

По другим морфологическим признакам заметного различия между обоими вариантами не наблюдается.

Ниже приводится описание почвенного разреза.

Глубина
гор. в см

Разрез С-1. Участок В

- | | |
|--------|--|
| 0 — 16 | Вскипание с 50 см. Черный, рыхлый, равномерно окрашенный горизонт. Непрочная зернистая структура, суглинист, нижняя граница заметна только по плотности. |
|--------|--|

Глубина
гор. в см

16 — 46.

Чуть плотнее, равномерной окраски, того же цвета. Структура несколько более выражена. Книзу едва заметно посветление. Переход весьма постепенный.

46 — 95

Несколько светлее окрашен, чем предыдущий. Окраска неравномерная, все же пестрота не резка. Пятна кротовин слабо выделяются на общем фоне. Книзу постепенно светлеет. Суглинист; нижняя граница ясно заметна.

95 — 100

Буро-желтая глина. Бурно вскипает. Отдельные пятна кротовин встречаются до дна ямы.

В 1933 г. участок был вспахан 2-лемешным плугом на глубину 46 см и борван в 3 следа, после чего комья все же разбивались мотыгой.

Применяя кислование на черноземах, мы имеем целью воздействовать, главным образом, на запасы фосфорной кислоты в почве и перевести их из трудно растворимых в более подвижные, доступные для растения формы, поэтому прежде чем делать выводы из результатов кислования очень важно знать степень обеспечения данной почвы доступной P_2O_5 , а также и другими питательными веществами.

Одновременно с полевыми опытами 1933 г. проф. А. Т. Кирсановым были заложены с теми же почвами и вегетационные опыты по восьмерной схеме. В поле же перед закладкой опытов нами были равномерно взяты образцы пахотного слоя для характеристики однородности участка перед разбивкой делянок. В каждом образце определено pH, P_2O_5 , Fe и сумма обменных оснований. Последняя вычислялась на основе нейтрализационного числа. Приводимые данные показывают хорошо выраженную однородность обоих участков по всем показателям. Для целей опыта особенно ценно то, что фосфорная кислота во всех точках дает сходные показатели, так как в дальнейшем ходе наблюдений однородность эта имеет особо важное значение.

Что касается оценки потребности почв участков в фосфорнокислом удобрении, то количество P_2O_5 (по А. Т. Кирсанову), не превышающее 8.0 мг на 100 г почвы, по установленным для этих почв индексам (8), показывает, что данный чернозем сильно нуждается в P_2O_5 .

2. Митрофановка. Полевые опыты 1934 г. производились на обыкновенном черноземе Митрофановского опытного поля. Участок характеризуется почвой следующего морфологического строения.

Разрез С-3

Обыкновенный чернозем. Митрофановский опытный пункт. Северный участок Б — IV — 2 — Ю — В. Водораздельное плато. Вскипание 38 — 70.

Глубина
гор. в см

0 — 16

Черный, влажный (при подсыхании сереет), перепашанный, равномерно окрашенный суглинок, с хорошо выраженной комковатой зернистой структурой. Переход по окраске не замечен, нижняя граница выделяется, с трудом, по плотности.

16 — 38

Чуть плотнее, того же цвета суглинок. Зернистая структура ярко выражена, окраска равномерна, к низу структурные отдельности

Таблица 1

Нестрога распределения P_2O_5 на мощном черноземе

Участок А	№ точки	pH	Fe		Сумма обменных оснований	№ точки	pH	P_2O_5		Fe	Сумма обменных оснований
			на 100 г	в мг				на 100 г	в мг		
Участок В	1	6.72	2.5	7.5	42	1	6.60	1.5	7.5	39	39
	2	6.55	2.5	7.0	41	2	6.0	1.5	7.5	42	42
	3	6.57	1.5	6.5	45	3	6.33	1.5	7.5	43	43
	4	6.68	1.5	7.0	44	4	6.60	2.0	6.5	40	40
	5	6.57	1.75	6.5	42	5	6.20	2.0	7.5	45	45
	6	6.45	1.75	6.5	44	6	5.90	2.0	8.0	41	41
	7	6.60	1.5	6.5	45	7	5.95	1.5	8.7	42	42
	8	6.60	2.0	6.0	44	8	6.10	2.0	7.0	41	41
	9	6.60	2.5	6.0	41	9	6.10	2.0	7.0	44	44
	10	6.65	2.5	7.0	42	10	6.50	1.5	7.0	41	41
	11	6.70	2.5	7.0	38	11	6.90	1.7	7.0	41	41
	12	6.70	2.25	7.5	38	12	6.60	2.0	8.0	43	43
	13	6.90	2.25	7.5	39	13	6.60	2.0	8.0	40	40
	14	6.50	2.0	7.5	41	14	6.25	1.5	7.5	40	40
	15	6.85	1.5	9.0	40	15	6.50	2.5	6.0	41	41
	16	6.90	1.5	7.5	41	16	6.60	2.5	6.0	41	41
	17	6.65	2.5	7.5	40	17	6.50	2.5	6.0	42	42
	18	6.65	2.5	6.25	37	18	6.70	2.5	6.0	43	43
	19	6.62	1.75	8.0	40	19	6.50	2.5	7.0	41	41
	20	6.24	1.75	8.5	42	20	6.45	2.5	6.0	42	42
	21	6.65	1.5	8.0	42	21	6.65	2.5	6.0	41	41
	22	6.57	1.5	7.75	41	22	6.75	2.5	6.5	42	42
	23	6.42	1.75	7.0	35	23	6.85	2.0	7.0	41	41
	24	6.40	1.25	7.5	42						
	25	6.40	1.5	8.0	40						

Глубина
гор. в см

38 — 70

70 — 130

выражены крупнее, в окраске приобретает внизу буроватый тон, переход постепенный.

Заметно плотнее неравномерной окраски от включенных крупных пятен кротовины, цвета шнележащего горизонта. Общий тон окраски темный от преобладания гумуса. Кротовины вскипают с 38 см, некротовинные пространства — с 70 см.

Грязнокоричневая, бурно вскипающая глина, инфильтрованная тонкими потеками гумуса. В одной стороне разреза широкий карман гумуса доходит до 88 см. С 120 см и до дна ямы обильные выделения карбонатов в виде пятен, величиной до 3 см, распадающиеся на мелкие зерна. Весь разрез заметно влажен, причем влажность к низу постепенно и ровно увеличивается.

Отношение данной почвы к вносимым удобрениям наилучшим образом может быть представлено 4-летними данными полевого опыта по восьмерной схеме, проводившейся на опытном поле (1).

Таблица 2

Урожай яровой пшеницы на Митрофановском опытном поле

Годы Удобрения	1931		1932		1933		1934		Среднее	
	зерно ц/га	%	зерно	%	зерно	%	зерно	%	зерно	%
1 Контроль	7.8	100	4.9	100	4.8	100	11.4	100	7.2	100
2 P_2O_5 60 кг	9.8	126	8.0	161	8.3	175	12.9	113	9.8	136
3 N	7.9	101	6.0	121	7.7	160	11.4	100	8.2	114
4 K_2O	8.8	112	5.3	107	9.9	206	12.1	106	9.1	126
5 P+K	9.7	124	7.0	141	10.7	223	14.8	130	10.5	146
6 P+N	9.3	120	7.1	142	9.1	189	13.3	117	9.7	135
7 N+K	8.5	109	7.6	153	10.6	221	11.4	100	9.5	132
8 PNK	9.8	125	8.1	163	12.3	256	13.7	120	10.9	151

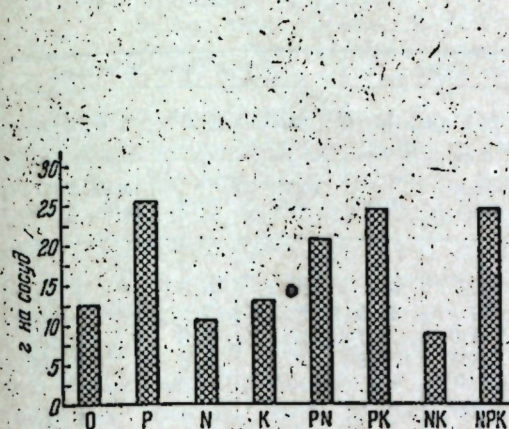
Таблица показывает неизменные прибавки по суперфосфату, достигающие 75%, и только в такой неблагоприятный для действия удобрений год, как 1934, прибавка равна 13%. Азот оказывает положительный эффект, но действие его сказывается только в благоприятные по влажности годы. Калий дает более устойчивые прибавки, хотя невысокие количественно.

Одновременно с полевыми опытами нами были произведены и вегетационные опыты по двум темам:

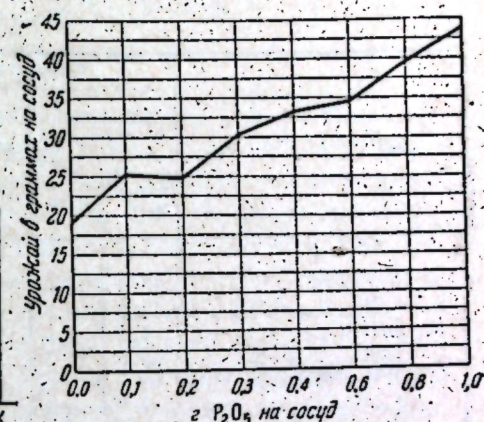
1) выяснение отзывчивости обыкновенного чернозема на удобрения (восьмерная схема) и 2) влияние доз P_2O_5 на урожай (фиг. 1 и 2).

Опыты в сосудах полностью согласуются с данными поля. По восьмерной схеме наблюдаются прибавки лишь в тех сосудах, где внесен был фосфор. Азот без дополнения фосфора не только не повышает урожая, но даже понижает его. В отношении калия следует отметить, что испытываемая почва в нем не нуждается.

Опыт с действием на урожай различных доз P_2O_5 показывает, что повышение урожая находится в прямой зависимости от увеличения



Фиг. 1. Урожай овса в вегетационных сосудах 1934 г.

Фиг. 2. Влияние доз P_2O_5 на урожай овса на обыкновенном черноземе Митрофановского опытного поля, 1934 г.

дозы фосфорной кислоты, и кривая неуклонно идет вверх. Отличительная черта намеченных к изучению почв в обоих пунктах — их сильная отзывчивость на фосфорнокислые удобрения. Это делает их благоприятными для изучения влияния кислования. Дополнительная характеристика этих почв освещается в главе о химическом исследовании.

Б. Полевые опыты с кислованием

Полевые опыты первого года были заложены на двух вариантах мощного чернозема с посевом яровой пшеницы и подсолнечника в Орловке.

Осенью на тех же участках высевана озимая пшеница для учета последствий действия кислования, и отдельно заложены опыты с непосредственным действием кислования на озимую пшеницу (фиг. 3, табл. 3, стр. 106).

Опыт второго года с яровой пшеницей и овсом производился на обыкновенном черноземе Митрофановского опытного поля. Сильная засуха весны 1934 г. явилась причиной неудачи опыта с яровой пшеницей, семена которой долгое время не давали всходов, а затем всходы появились настолько неравномерно и недружно, что опыт пришлось прекратить. Взамен были заложены делянки с несколько измененной схемой и высевно просо.

Таким образом, после двухлетней работы мы располагаем материалом действия кислования на 3 вариантах чернозема по 5 культурам.

Ниже приводим данные урожая полевых опытов.

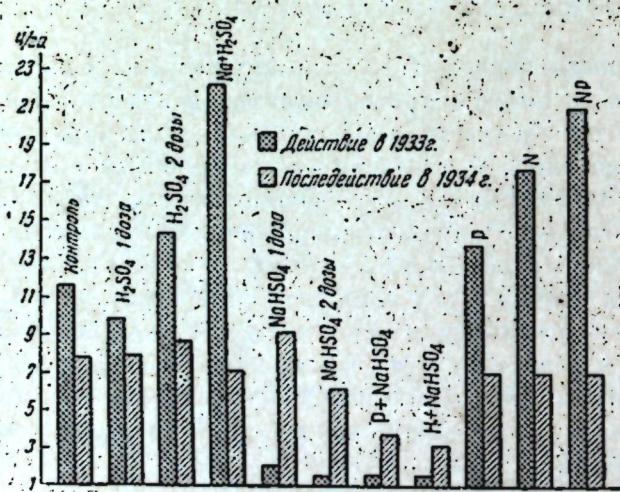
1. Опыт первого года на мощном черноземе Орловка. Опыты производились по методу полевых миниатур, на делянках площадью в 1 м^2 (для подсолнечника делянки увеличены до 2 м^2). Под яровую пшеницу на участке А вносились на ряду с серной кислотой, бисульфатом и удобрения (селитра и суперфосфат) отдельно и

Таблица 3

Урожай яровой и озимой пшеницы на мощном черноземе в 1933—1934 г.

Участок А

Удобрения	Действие кислотности				Последствие кислотности			
	урожай в ц/га ср. из 3 повтор.		% к контролю		урожай в ц/га		% к контролю	
	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно
1. Контроль	56.5	11.6	100	100	29.9	8.3	100	
2. H_2SO_4 , 1 доза	51.3	10.0	89.5	86.5	25.5	7.9	95.2	
3. $NaHSO_4$ »	6.4	1.0	11.0	8.7	34.7	9.3	112	
4. H_2SO_4 , 2 дозы	60.0	14.5	106.1	125.6	32.2	8.8	106	
5. $NP+NaHSO_4$, 2 дозы	0.0	0.0	0.0	0.0	33.2	7.5	90.6	
6. $NaHSO_4$, 2 дозы	0.0	0.0	0.0	0.0	31.3	6.7	80.7	
7. $NP+H_2SO_4$, 2 дозы	95.2	22.7	168.4	197.5	26.0	6.6	80.0	
8. $NP+NaHSO_4$, 1 доза	42.0	6.2	74.3	53.2	41.1	9.0	108.0	
9. $NP+H_2SO_4$, 1 доза	84.0	18.2	148.6	157.7	27.0	7.5	90.0	
10. NP	92	20.8	162.7	180.2	31.3	7.7	9.3	
11. P	70.4	14.0	124.5	121.4	25.4	7.3	89	
12. $P+H_2SO_4$, 2 дозы	62	13.4	109.6	116.2	31.3	8.8	106	
13. $P+NaHSO_4$, 2 дозы	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	4.2	50.6	
14. $N+NaHSO_4$, 2 дозы	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	3.2	39	
15. $N+H_2SO_4$, 2 дозы	92.2	22.0	164.8	191.6	31.8	6.4	78	
16. N	85.6	17.6	185.6	169.4	24.8	7.0	80.7	



Фиг. 3. Действие и последствие кислотности на урожай озимой пшеницы

в парной комбинации. Прочие культуры на первом участке, а равно и все культуры на участке В имели сокращенную схему.

Дозы внесения реактивов были следующими:

- а) суперфосфат 44.0 г на 1 м² из расчета 75 кг/га,
 б) селитра 33.4 » » » » 50 кг/га N
 в) бисульфат натрия:
 1 доза — 300 г на 1 м² из расчета 3 т на га
 2 » — 600 » » » » 6 » » »

Дозы селитры и суперфосфата взяты как общепринятые, что же касается установления дозировок бисульфата и серной кислоты, то здесь руководствовались следующим: на основании опытов 1930—1931 гг. на Каменной Степи установлено, что прибавки урожая от бисульфата становятся ощутимыми лишь при внесении его в таких крупных количествах, как 3 и 6 т на га. В соответствии с этим вносились и серная кислота, считая, что 2 литра нормальной серной кислоты эквивалентны 300 г бисульфата.

Из табл. 3 видно, что 1) одна доза серной кислоты не оказала действия и даже несколько снизила урожай яровой пшеницы, в то же время 2) двойная доза H_2SO_4 дала заметный прирост урожая, превышающий контроль на 25%, 3) бисульфат натрия вызвал полную гибель посева на всех делянках, за исключением одной, где он вносился совместно с NP, но и в данном случае урожай составляет лишь 50% контрольного, 4) суперфосфат дал такую же прибавку, как и двойная доза серной кислоты (24.5%), 5) селитра повысила урожай на 51%. Совместное внесение суперфосфата и селитры дает наиболее благоприятное сочетание, вызывая прибавку урожая в 80%, 6) комбинация удобрения с H_2SO_4 и $NaHSO_4$ приводит к следующим результатам. Суперфосфат + серная кислота (2 дозы) вызвали прибавку в 16%, т. е. меньшую, нежели внесение каждого реагента в отдельности. Сочетание селитры с серной кислотой дает иной эффект и эта комбинация превысила урожай на 96.6% по отношению к контролю и на 40% урожай делянки с одной селитрой. Напрашивается мысль, что в данном случае серная кислота увеличила количество доступной растению P_2O_5 в почве, заменив собой суперфосфат, в силу чего урожай данной

Таблица 4

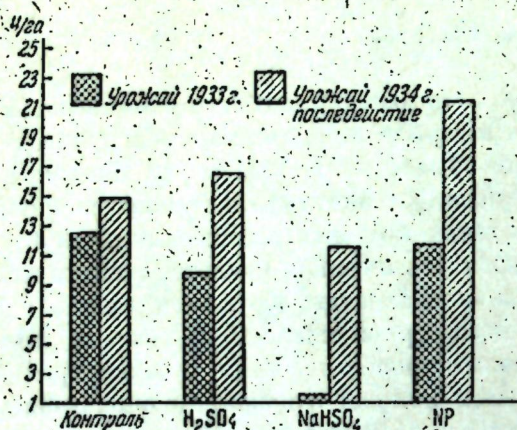
Истие и последствие кислотности на урожай пшеницы в ц/га 1933/1934 г.

Орловка. Участок В

Удобрения	1933 г. Яровая пшеница				1934 г. Последствие. Озимая пшеница			
	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно
Контроль	50.0	12.5	100	100	44.0	14.6	100	100
Серная кислота	43.2	9.5	80.6	76.7	48.7	16.6	110.7	114.5
Бисульфат	0.0	0.0	—	—	35.0	11.5	70.9	79.3
NP	92.8	20.3	185.6	169.4	52.8	17.6	120	121.3

делянки выравнился с делянкой, где внесено NP. Опыт с посевом яровой пшеницы на другом варианте чернозема (участок В) по сравнению с приведенными данными показывает резко выраженную разницу действия серной кислоты (табл. 4).

В то время как на первом участке серная кислота дала повышение урожая на 25%, та же доза ее на участке В вызвала понижение урожая в том же соотношении (23.7%).



Фиг. 4. Действие и последствие кислосования на урожай пшеницы. Участок В

серной кислоты и не наблюдается, все же нет и большего снижения по сравнению с контролем; на втором варианте чернозема урожай, так же как и в случае с яровой пшеницей, оказался пониженным на 25%.

Таблица 5

Урожай подсолнечника на мощном черноземе в 1933 г.

Орловка

Удобрения	Средн. из 3 повторностей в г с делянки		%	
	сырая масса	сухое зерно	сырая масса	сухое зерно
Участок А				
Контроль	3943	445.3	100	100
Серная кислота	3893	417.7	101	95.2
Бисульфат	3448	329.0	87.4	73.8
NP	3813	442.0	96.4	99.2
Участок В				
Контроль	4838	521	100	100
Серная кислота	3701	369	74.6	70.8
Бисульфат	3139	328	64.8	62.0
NP	4877	574	108.0	110.0

Наиболее интересным в этом опыте является действие бисульфата, оказавшееся иным по сравнению с действием его на яровую пшеницу.

Правда, бисульфат и здесь не дал прибавки урожая и даже снизил его, но полной гибели посева, как это наблюдалось с яровой пшеницей, не было. Селитра и суперфосфат также не оказали положительного действия, и урожай удобренных делянок мало отличается от контрольных.

2. Опыты второго года на обыкновенном черноземе. Как уже отмечалось, 1934 год отличался от предыдущего года сильной засухой начала вегетационного периода. В зоне обыкновенного чернозема, где влага является фактически решающей на величину урожая и эффективность удобрений, весенняя засуха оказала резкое влияние и на наши опыты.

В силу этого был прекращен опыт с яровой пшеницей и взамен его заложен с более поздней культурой — просом (фиг. 5). Так как опыт этот не входил в первоначальный план работы и не был обеспечен достаточными запасами реактивов, а сроки посева были жестко ограничены, мы вынуждены были несколько изменить схему опыта. Бисульфат был заменен соляной кислотой, а серная кислота вносилась в одинарной дозе за исключением одной делянки, где дозировка была двойной.

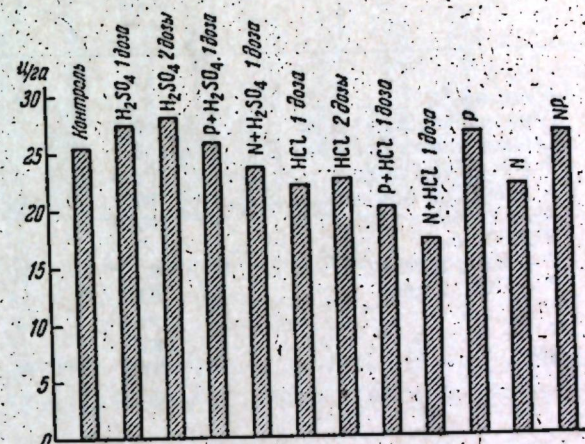
Как в опыте с просом, так и с овсом отмечается исключительно малая эффективность всех видов удобрений, что безусловно объясняется неблагоприятным распределением влаги за вегетационный период.

Прибавка урожая, полученная от удобрений в наших опытах, полностью согласуется и с данными опыта, заложенного опытным полем на больших делянках по соседству с нашим участком (табл. 2).

Сопоставление действия на урожай проса серной кислоты с другими видами удобрений говорит в пользу серной кислоты, дающей наибольшую прибавку, составляющую 9.5% по одинарной дозе и 11.1% — по двойной; в то же время суперфосфат и комбинация его с сернокислым аммонием дают меньшие прибавки (табл. 6).

Действие соляной кислоты явилось отрицательным во всех случаях, что подтвердило результаты опытов, произведенных А. Т. Кирсановым в 1931 г. (3), когда одинарная и полуторная дозы резко понизили урожай овса.

В опыте с овсом (табл. 7) серная кислота вызвала прибавку урожая на 15.6%, т. е. повысила его настолько, насколько в опыте по схеме



Фиг. 5. Действие кислосования на урожай проса. Обыкновенный чернозем 1934 г.

Ж.-Вилля (табл. 2) увеличился урожай от внесения 60 кг P_2O_5 суперфосфата.

Таблица 6

Действие кислования на урожай проса. Обыкновенный чернозем в 1934 г.

Удобрения	Урожай в ц/га		Урожай в % к контр.	
	общая масса	зерно	общая масса	зерно
Контроль	87.0	25.2	100	100
Серная кислота, 1 доза	97.7	27.6	112.3	109.5
Серная кислота, 2 дозы	105.7	28.0	121.4	111.1
$P + H_2SO_4$, 1 доза	93.0	26.0	106.8	103.5
$N + H_2SO_4$, 1 доза	96.7	24.4	111.1	96.8
HCl , 1 доза	100.0	22.3	114.9	88.4
HCl , 2 дозы	105.7	22.3	121.4	88.5
$P + HCl$, 1 доза	93.7	20.2	107.6	80.1
$P + HCl$, 2 дозы	85.3	18.3	97.8	73
P	90.8	26.3	104.3	104.3
N	84.3	23.5	96.8	93.2
NP	90.7	26.7	104.2	105.9

Особо следует отметить действие бисульфата натрия, который, в отличие от опытов прошлого года, не только не погубил урожая, но даже не снизил его по сравнению с контролем.

Таблица 7

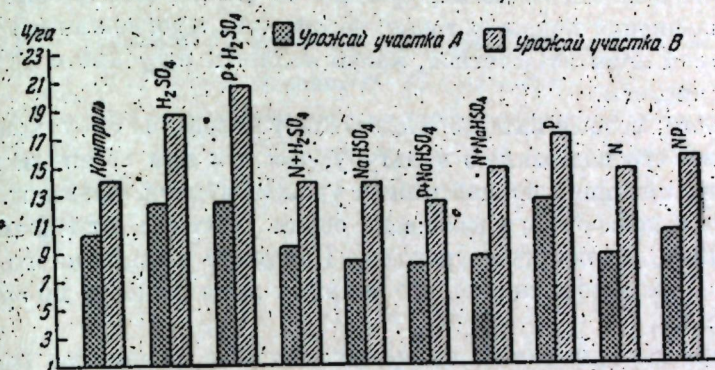
Урожай овса с делянки средний из 4 повторностей (в г)

Удобрения	Вес с делянки		% к контролю	
	общая масса	зерно	общая масса	зерно
Контроль	88.1	45.4	100	100
Серная кислота	102.3	52.5	116.1	115.6
Бисульфат	929	46.0	108.4	101.1
NP	110.8	57.5	127.7	126.6

3. Действие кислования на озимую пшеницу и последствие кислования. Опыт с действием кислования на озимую пшеницу был заложен осенью 1933 г. на тех же двух вариантах мощного чернозема, которые изучались и под яровыми культурами.

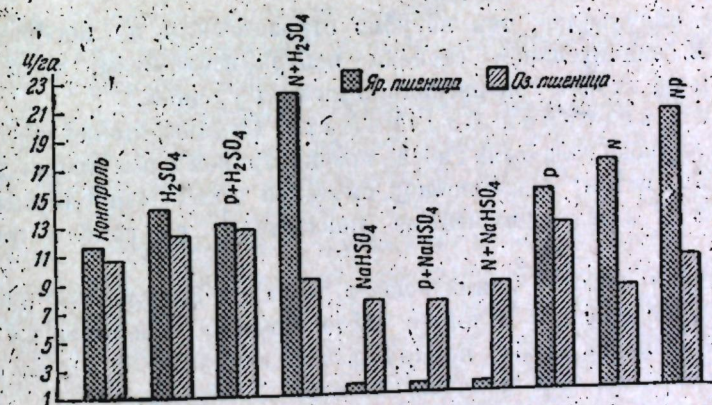
Из фиг. 6 видно, что несмотря на заметную разницу в абсолютных урожаях по участкам и на то, что урожай на участке В в 1.5 раза превышает урожай участка А, относительные цифры прибавок от воздействия внесенных реагентов весьма близки между собой.

Особенно ярко выразилось это в поведении серной кислоты; прибавки по ней дают почти одну и ту же цифру по отношению к контрольным делянкам обоих участков, равную 25% на первом и 27% на втором.



Фиг. 6. Сопоставление урожаев озимой пшеницы на участке А и участке В

Сопоставляя урожай озимой пшеницы с яровой (фиг. 7), замечаем резкую разницу в урожаях по делянкам с азотом и полным удобрением.



Фиг. 7. Сопоставление урожаев яровой и озимой пшеницы. Участок А

Если под яровой пшеницей эти удобрения дали максимальный эффект, отчетливо выделяясь среди других, то с озимым посевом они дали показатели, стоящие весьма близко к контролю.

Не меньший интерес представляют показания делянок с бисульфатом натрия. Влияние его на озимую культуру не оказалось таким губительным, и если ожидаемых прибавок от него и не получено, все же и гибели посева не было; урожай на участке В по бисульфату оказался равным контролю.

Для проверки этого предположения нами был заложен специальный опыт со сроками внесения бисульфата под посев озимой пшеницы. Бисульфат был внесен в 3 срока: первый — за месяц до посева (25/VI), второй — через 10 дней и третий — одновременно с посевом. Всходы озимого по данному опыту были нормальны и своевременны, но растения, посеянные на делянках с бисульфатом, внесенным в третий срок, сильно отстали в развитии и по оценке на 20/XI имели состояние ниже среднего.

В этом опыте одновременно мы проследили и действие двух дозировок серной кислоты, внесенной в почву также в 3 срока.

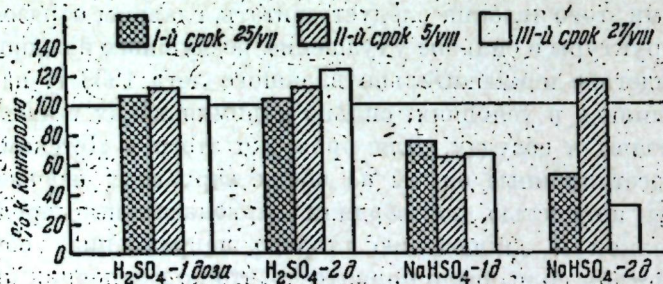
Результаты приведены в табл. 9 и на фиг. 8.

Таблица 9

Сроки внесения бисульфата под озимую пшеницу — среднее из 3 повторностей

Удобрения	1-й срок — 25/VI				2-й срок — 5/VII				3-й срок — 27/VII			
	общая масса		зерно		общая масса		зерно		общая масса		зерно	
	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно	общая масса	зерно
Контроль	482	148	100	100	465	136	100	100	369	109	100	100
Серная кислота, 1 доза	517	157	107	106	462	147	99	108	380	114	103	105
Бисульфат, 1 доза	274	113	89	76	401	88	86	64	250	71	68	65
Серная кислота, 2 дозы	483	152	100	103	493	151	106	111	425	132	115	121
Бисульфат, 2 дозы	259	79	56	53	395	132	85	98	128	32	35	29

Из этих данных видно, что серная кислота в обеих дозировках и по всем срокам дала повышение урожая. По одинарной дозе прибавки эти



Фиг. 8. Действие на урожай озимой пшеницы сроков внесения серной кислоты и бисульфата натра

постоянны, почти равны и менее 10% от контроля; двойная же доза серной кислоты дает прибавки, находящиеся в зависимости от срока внесения — чем ближе к посеву, тем прибавки выше, и в третьем сроке они

вызывают повышение урожая более чем на 20%, т. е. такое же, как и по другим опытам.

Бисульфат натра по одинарной дозе показывает обратную зависимость, понижая урожай по мере сокращения времени между его внесением в почву и посевом озимой пшеницы, хотя понижение это очень незначительно. Двойная доза еще ярче показывает ту же зависимость, за исключением второго срока, где урожай резко выделился и почти равен контролю, тогда как урожай по всем делянкам с бисульфатом оказался гораздо ниже контрольного.

Действие бисульфата многосторонне. С одной стороны, оно явно положительно отражается на мобилизации доступной P_2O_5 (см. сл. главу), с другой, — несомненно, отрицательно, вызывая неблагоприятные изменения микроструктуры, причем последние с течением времени возрастают.

Во втором сроке разрушение это, повидимому, не пошло так далеко, чтобы вызвать понижение урожая, как это наблюдается по третьему сроку, а предполагаемое отрицательное действие на проростки нейтрализовалось за время между первым и вторым сроками.

Химическое исследование почвы

В течение периода летней работы с делянок полевого опыта периодически брались почвенные пробы с пахотного (0—15 см) и подпахотного (15—30 см) горизонтов.

Взятые образцы после доведения их до воздушно-сухого состояния шли в анализ и в них определялись pH, P_2O_5 , NO_3 , Fe и сумма обменных оснований, а также и влажность почвы.

I проба взята тотчас же после разбивки участка на делянки, до внесения удобрений. Данные анализа этой пробы дают представление о пространственном распределении изучаемых элементов и реакции почвы на различных делянках в пределах участка и в то же время являются основой для наблюдения за их изменением в почве в естественных условиях и под влиянием воздействия на них внесенных реактивов.

Последующие выемки проб в первый год работ распределялись по времени следующим образом.

II проба взята на следующий день после посева и внесения удобрений — 12/V, т. е. на третий день после первой;

III проба — через 7 дней к моменту появления всходов пшеницы;

IV проба — 10/VI, в период между полными всходами и кущением;

V проба — в момент полного кущения;

VI проба — 3/VII, перед началом колошения и

VII проба — в период полной спелости.

С близкой последовательностью брались пробы и с опытов на обыкновенном черноземе.

А. Изменение pH

pH определялся в водной суспензии с хингидронным электродом (а в 1934 г. на образцах обыкновенного чернозема, за исключением прибора, колориметрически по Михаэлису). При наблюдениях за реакцией почвы ставилось целью проследить:

- пестроту показаний pH в различных точках участка под опытом,
- динамику pH во времени за вегетационный период,
- характер изменения реакции почвы под воздействием внесенных удобрений.

В таблицах для краткости мы приводим данные по сокращенной схеме, отмечая, что они полностью согласуются с массовыми определениями по всем схемам опытов.

Таблица 10

Изменения pH на контрольных и кислованных деланках за вегетационный период на мощном черноземе в 1933 г.

Орловка. Пшеница

Удобрения	8/V	12/V	19/V	10/VI	19/VI	3/VII	10/VIII
Участок А							
Контроль	6.67	6.85	6.51	6.25	6.63	6.49	7.30
Серная кислота, 2 дозы	6.40	4.60	4.90	4.95	6.32	5.94	7.08
Бисульфат	6.55	5.35	5.35	5.30	5.95	5.94	7.22
РН	6.45	6.85	6.35	6.30	6.42	6.67	7.32
Участок В							
Контроль	6.57	6.40	6.30	6.14	6.42	7.0	7.30
Серная кислота	6.60	4.50	5.0	4.75	5.79	6.86	6.81
Бисульфат	6.60	5.20	5.35	5.16	6.96	7.14	7.02
РН	6.65	5.80	6.10	5.76	6.21	7.45	7.33

Остановимся сначала на изучении динамики pH на мощном черноземе.

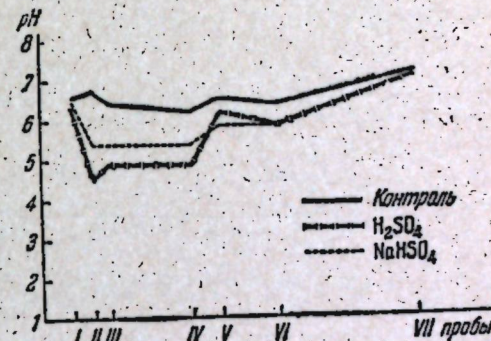
Изменения pH в определениях образцов первого срока до внесения удобрений весьма незначительны — минимальные и максимальные показатели колеблются от pH 6.4 до pH 6.6. Разница в 0.2 является в данном случае масштабом точности дальнейших наблюдений.

Показатели контрольных деланок определяют динамику концентрации водородных ионов в естественных условиях. Как видно из табл. 10 и фиг. 9, колебания pH во времени весьма незначительны по различным срокам; все же здесь можно заметить некоторое повышение кислотности на обеих почвенных разностях во второй половине мая и первой половине июня. В августе pH контрольной деланки достигает 7.3, т. е. максимального своего выражения за весь период наблюдения. Объяснение этому

следует искать в характере выпадения атмосферных осадков. Конец мая и июнь характеризуются почти ежедневными дождями, и влажность почвы в это время была наиболее высокой. Резкое снижение выпадающих осадков в июле и августе привело к такому же резкому скачку и в реакции верхнего горизонта почвы, и мы наблюдаем понижение концентрации водородных ионов почти на единицу pH. К моменту уборки урожая, в связи с уменьшением осадков, в почве получили преобладание восходящие токи с подачей Ca к пахотному горизонту, что и вызывает повышение pH.

В одной из последних работ К. Nehring (11), указывает на крайний случай сильных колебаний pH на лесных почвах от pH 4.9 зимой до pH 7.8 поздним летом. На пахотных почвах и лугах тем же автором установлены весьма незначительные колебания, не выходящие за пределы 0.5 и 0.3 в суспензии KCl. По его данным, почвы имеют наиболее кислую реакцию зимой и наиболее щелочную — поздней осенью.

Внесение в почву суперфосфата и селитры как отдельно, так и в парной комбинации не отразилось заметным образом на показаниях pH, что же касается действия серной кислоты и бисульфата, то оно резко меняет реакцию почвы и доводит pH до 5.2 при действии бисульфата и до 4.5 при внесении двойной дозы серной кислоты. Восстановление реакции до первоначальной величины идет постепенно, и на мощном черноземе в условиях дождливого лета 1933 г. pH восстанавливается полностью в 2-месячный период.



Фиг. 9. Изменения pH на мощном черноземе

Изменения pH за вегетационный период на обыкновенном черноземе

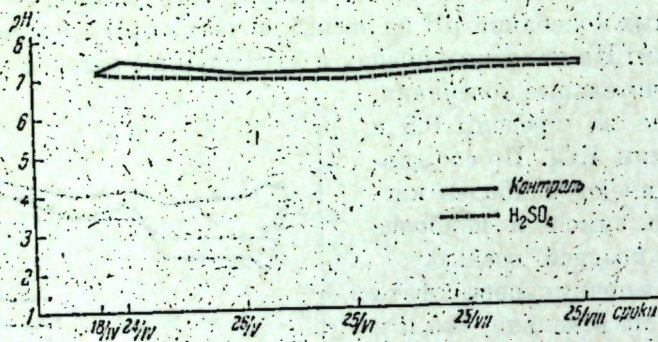
Митрофановка. Овес

Удобрения	Сроки					
	I 18/IV	II 24/IV	III 26/V	IV 25/VI	V 25/VII	VI 25/VIII
Контроль	7.1	7.4	7.0	7.0	7.1	7.1
Серная кислота	7.1	7.0	6.9	6.8	7.0	7.0
Бисульфат	7.1	7.0	6.8	7.0	6.9	6.8
РН	6.9	7.1	7.0	7.0	7.1	7.1

Обыкновенный чернозем Митрофановского опытного поля в полевых условиях показал сильно выраженную буферность, и динамика pH как в естественных условиях, так и под воздействием внесения реагентов совершенно не выражена.

Следует отметить, что лето 1934 г. отличалось от предыдущего большей засушливостью; за один и тот же период (январь—июль) наши опыты в 1933 г. получили 307.6 мм осадков, а в 1934 г. — только 96.6; естественно, что такая разница водного режима не могла не отразиться на динамике рН (фиг. 10).

Не лишено интереса сопоставление длительности существования повышенной концентрации водородных ионов, вызванной кислотанием, в полевых условиях и в вегетационных сосудах.



Фиг. 10. Изменения рН на обыкновенном черноземе 1934 г.

По данным П. П. Заева (2), реакция почвы за 2 года, после 3 урожаев, изменилась очень мало; по нашим же данным в полевых условиях изменения эти происходят в сравнительно короткий промежуток времени. В заключение приводим результаты определения буферности черноземов.

Таблица 12

Изменения рН при воздействии на почвы кислоты и щелочи

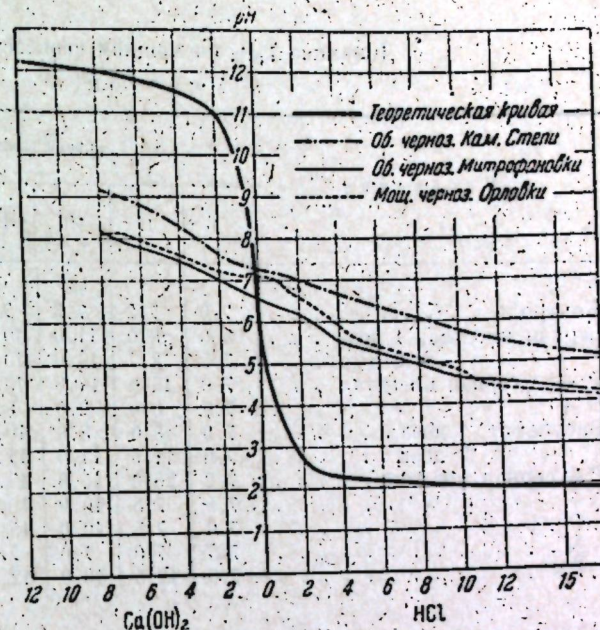
Пункты опытов	Почвы	Ca(OH) в см³				H₂O	HCl в см³					
		20	15	10	5		2	4	6	8	10	15
Митрофановка	обыкновенный чернозем	8.16	7.79	7.54	6.92	6.76	6.08	5.67	5.27	4.49	4.77	4.33
	обыкновенный кислованный	7.96	7.82	7.22	6.92	6.46	6.02	5.49	5.20	4.78	4.66	4.28
Орловка	мощный чернозем	8.06	7.81	7.61	7.05	7.09	6.48	5.82	5.39	5.18	4.77	4.28
	обыкновенный кислованный	7.90	7.68	7.40	6.85	6.54	6.02	5.53	5.17	4.94	4.66	4.16
Каменная Степь	обыкновенный чернозем	9.1	8.8	8.3	7.9	7.34	7.07	6.77	6.43	6.13	5.82	5.14

Исследование произведено в образцах, взятых с контрольных и кислованных делянок на мощном и обыкновенном черноземах осенью 1934 г.

При исследовании применялся следующий метод: навески почвы в 10 г каждая обрабатывались в колбочках; первая — 100 см³ дистиллированной воды, а последующие — таким же количеством воды с содержанием в ней 2, 4, 6, 8, 10 и 15 см³ 0.1n HCl и 5, 10, 15, 20 и 30 см³ 0.04n Ca(OH)₂. После часового взбалтывания и 3-суточного стояния определялся рН хингидронным методом.

Результаты приводятся в табл. 12 и на фиг. 11.

Для большей полноты сравнения изучаемых почв, в табл. 12 нами приведены и данные буферности обыкновенного чернозема Каменно-Степной опытной станции, определенные Н. И. Болотиной (6) в той же лаборатории и по одному, и тому же методу.



Фиг. 11. Кривые буферности чернозема

Б. Динамика фосфорной кислоты

Для определения P_2O_5 нами применялся метод А. Т. Кирсанова (4).

Нашими работами с черноземными почвами в 1932 г. установлено, что подвижная P_2O_5 , определяемая по этому методу, отчетливо характеризует обеспеченность почвы, усвояемой фосфорной кислотой и при сопоставлении ее содержания в почве с данными полевых опытов в различных точках ЦХО получилась вполне удовлетворительная согласованность (7).

При наших опытах подвижная P_2O_5 дает наиболее устойчивые показатели в природных условиях как в смысле ее пространственного распределения по территории участка, так и в части ее колебаний во времени.

В дополнение к табл. 1 приводим данные динамики P_2O_5 под опытом на мощном черноземе (табл. 13).

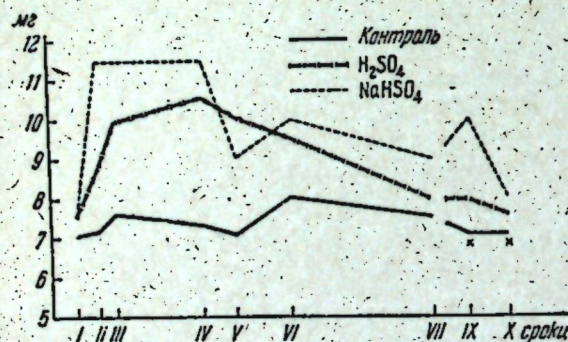
Среднеарифметическое из определений в образцах со всех делянок первого срока и контрольной делянки по различным срокам представлено одним числом — 7.3 мг на 100 г.

Таблица 13

Динамика P_2O_5 на мощном черноземе в 1933 г.
Участок А

Удобрения	Сроки выемки почвенных проб							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	Ср.
Контроль	7.0	7.2	7.5	7.3	7.0	8.0	7.5	7.3
Серная кислота, 1 доза	8.0	8.0	11.0	10.0	9.0	9.0	7.5	8.9
» » 2 дозы	7.5	8.7	10.0	10.5	10.0	9.5	8.0	9.5
P + серная кислота	7.0	15.0	14.0	13.5	10.0	11.0	8.0	11.3
N + »	7.0	8.0	9.0	8.0	10.0	9.5	7.0	8.4
Бисульфат, 1 доза	7.5	8.0	8.0	10.0	8.0	10.0	9.0	8.7
» » 2 дозы	7.0	11.5	11.5	11.5	9.0	10.0	9.0	9.4
P + серная кислота	7.2	20.0	15.0	15.0	15.0	22.5	15.0	15.7
N + »	7.5	7.5	10.0	10.1	12.5	10.0	8.0	9.4
P	7.0	7.5	10.0	15.0	14.0	10.0	7.5	10.1
N	7.5	7.0	7.0	7.0	7.5	8.0	7.5	7.4
PN	7.0	12.5	10.0	12.0	8.0	8.5	7.5	9.4

По индексам, установленным на основе полевых опытов (8), такое содержание указывает на острую нуждаемость почвы в фосфорнокислых удобрениях.



Фиг. 12. Динамика P_2O_5 на мощном черноземе 1933/34 г.
*) Пробы IX и X брались на следующий год на тех же деланках.

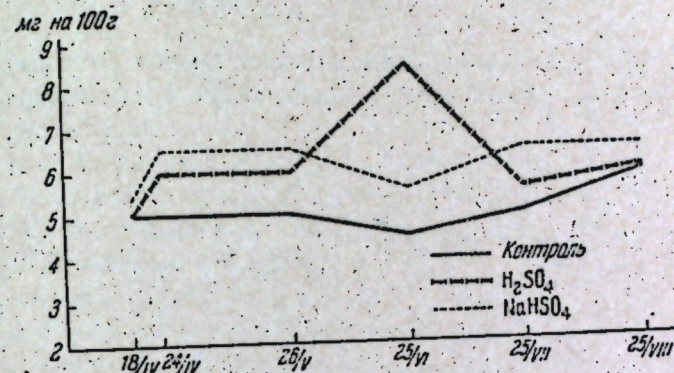
На фиг. 12 приведены и показатели анализа двух проб, взятых на следующий год на этих же деланках. Эти данные лишний раз подтверждают устойчивость показаний метода и подчеркивают выдержанность кривой.

Сравнивая показатель высшей точки кривой (проба IV), равной 10.5 мг, с содержанием P_2O_5 в контрольной деланке этой же пробы — 7.3 мг, мы получаем прибавку подвижной формы фосфорной кислоты в 3.2 мг на 100 г почвы. Принимая средний вес слоя почвы на га глубиной 15 см в 1.5 млн. кг, мы таким образом получаем дополнительно 48 кг P_2O_5 .

на га, т. е. количество, превышающее половину вносимой нами дозы суперфосфата (75 кг/га).

Бисульфат натрия еще более резко повышает содержание подвижной P_2O_5 в почве и в течение всего периода вегетации деланки с двойной дозой бисульфата дают повышенные показатели, и даже последний срок выемки проб показывает количество P_2O_5 выше первоначального.

При сопоставлении среднеарифметического показателя содержания P_2O_5 из проб всех сроков и сравнивая прибавки по отношению к контрольной деланке, наблюдаем следующую картину. Одинарная и двойная дозы серной кислоты вызвали повышение количества подвижной P_2O_5 в почве соответственно на 1.6 и 2.2 мг на 100 г. Двойная доза бисульфата вызвала



Фиг. 13. Динамика P_2O_5 на обыкновенном черноземе 1934 г.

такую же прибавку, как и серная кислота. Внесение суперфосфата увеличивает содержание P_2O_5 на 2.8 мг, суперфосфат совместно с серной кислотой — на 4 мг, а суперфосфат, внесенный совместно с бисульфатом, вызывает прибавку в 8.4 мг, т. е. дает увеличение более чем на 100%. Таким образом происходит накопление усвояемой фосфорной кислоты, лимитирующей урожай на черноземах.

Таблица 14

Динамика P_2O_5 в пахотном слое обыкновенного чернозема

Удобрения	Сроки выемки почвенных проб					
	I 18/IV	I 26/IV	III 26/V	IV 25/VI	V 25/VII	VI 25/VIII
Контроль	5.0	5.0	5.0	4.5	6.0	6.0
Серная кислота, 2 дозы	5.0	6.0	6.0	8.5	5.5	6.0
Бисульфат, 2 дозы	5.5	6.5	6.5	5.5	6.5	6.5
PN	6.0	11.5	6.0	7.5	6.5	5.5

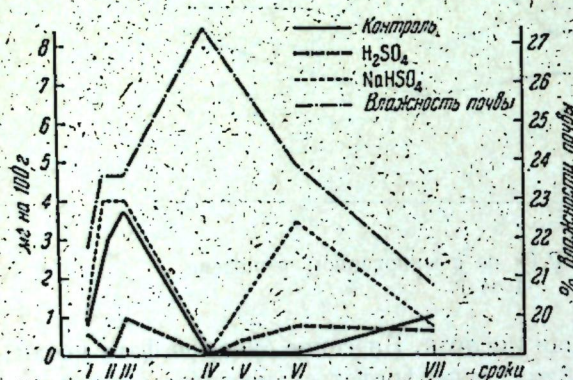
При опытах 1934 г. на обыкновенном черноземе, несмотря на исключительную бедность его подвижными формами P_2O_5 и весьма

неблагоприятное для эффективного действия удобрений засушливое лето, в динамике фосфорной кислоты мы наблюдаем аналогичную с данными предыдущего года картину.

На фиг. 13 кривая серной кислоты идет все время выше линии контрольной делянки и достигает своего максимума в конце июня, первого месяца с ощутимым количеством выпавших осадков (45.8 мм). По остальным пробам увеличение P_2O_5 от действия серной кислоты незначительно и не превышает 1 мг. на 100 г почвы, хотя следует отметить, что при среднем содержании P_2O_5 данного чернозема в 5 мг, эта прибавка в 1 мг составляет 20% общего содержания подвижной фосфорной кислоты.

В. Динамика нитратов

Нитраты определялись колориметрически по методу Рима в водной вытяжке раствором дифениламина в серной кислоте при отношении почвы к воде 1 : 10 (фиг. 14).



Фиг. 14. Динамика нитратов на мощном черноземе 1933 г.

Анализ I же пробы образцов мощного чернозема показывает сильную пестроту в распределении нитратов по участку. Показатели NO_3 колеблются от 0.5 до 3.0 мг (на 100 г почвы).

Такая широкая амплитуда колебания, наряду с неустойчивостью содержания нитратов во времени, как это видно из данных анализа образцов контрольной делянки по срокам (табл. 15), чрезвычайно затрудняет выявление

действия кислования на их динамику. Динамика нитратов в естественных условиях показывает заметный рост накопления нитратного азота в весенние месяцы (проба II и III) и резкое падение его в пробах IV и V. В августе количество нитратов соответствует первоначальному содержанию их в первой пробе.

Одна доза серной кислоты не оказывает влияния на динамику нитратов и содержание их по срокам вполне аналогично контрольной делянке. Двойная же доза серной кислоты действует заметно подавляющим образом на ход накопления нитратов, и данные анализа образцов этой делянки дают преуменьшенные показатели.

Что кислование ведет к уменьшению нитратов в почве, отмечалось также и в работах А. Т. Кирсанова и П. П. Заева, но, повидимому, такое уменьшение не отражается на урожае. Нельзя не сказать, что резкое снижение количества нитратов в VI-пробе совпадает с наибольшей влажностью почвы за вегетационный период, что, повидимому, обуславливает

вымывание нитратного азота в нижележащие горизонты, создавая в то же время неблагоприятные условия для жизнедеятельности нитрифицирующих организмов в пахотном слое.

Таблица 15

Изменения нитратов на мощном черноземе (в мг на 100 г почвы).
Участок А. Яровая пшеница

Глубина образа (в см)	Сроки выемки почвенных проб Внесенные удобрения	II	III	IV	V	VII	VIII
		8/V	12/V	19/V	10/VI	3/VII	10/VIII
0-15	Контроль-0	0.75	2.5	3.5	сл.	сл.	1.0
15-30	» -0			2.0	2.0	1.25	1.0
0-15	Серная кислота 1 доза	2.0	3.0	3.0	0.5	0.5	0.5
15-30	» » 1 »			2.0	0.5	0.5	0.0
0-15	» » 2 дозы	0.5	сл.	1.0	сл.	0.75	0.5
15-30	» » 2 »			1.5	4.5	сл.	сл.
0-15	P + серная кислота, 2 дозы	2.5	1.5	2.5	3.0	сл.	сл.
15-30	P + » » 2 »			1.75	сл.	сл.	сл.
0-15	N + » » 2 »	2.0	10.0	10.0	сл.	0.5	0.5
15-30	N + » » 2 »			10.0	10.0	1.0	1.0
0-15	Бисульфат, 1 доза	2.0	5.0	3.25	1.0	2.5	0
15-30	» 1 »			1.0	3.5	3.5	0.75
0-15	» 2 дозы	0.5	4.0	4.0	сл.	3.5	1.0
15-30	» 2 »			0.5	2.5	8.0	0
0-15	P + бисульфат, 2 дозы	2.0	10.0	10.0	4.0	10.0	сл.
15-30	P + » 2 »			10.0	5.0	2.0	0
0-15	N + » 2 »	1.75	10.0	10.0	10.0	10.0	сл.
15-30	N + » 2 »			10.0	0.5	сл.	1.5
0-15	P	1.5	6.0	3.5	2.0	1.5	0.5
15-30	»			2.0	1.5	2.5	0
0-15	N	1.0	10.0	10.0	2.5	сл.	1.5
15-30	»			10.0	10.0	1.75	1.5
0-15	NP	1.25	10.0	10.0	2.5	сл.	10
15-30	»			8.5	3.75	сл.	1.5

На обыкновенном черноземе в условиях 1934 г. мы наблюдаем следующее поведение нитратов на контрольной и кислованных делянках:

Таблица 16

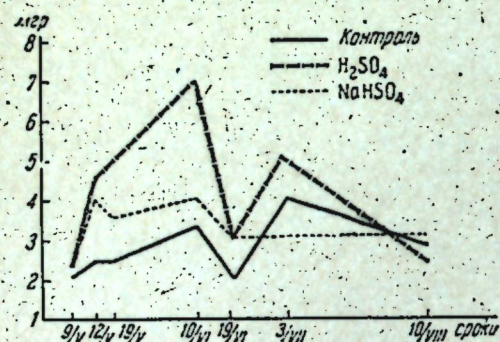
Изменения нитратов на обыкновенном черноземе

Удобрения	Сроки выемки почвенных проб				
	I	II	III	IV	V
Контроль	3.2	12.0	6.0	6.5	2.9
Серная кислота, 2 дозы	3.2	5.7	8.0	4.0	1.1
Бисульфат, 2 дозы	5.2	10.0	10.0	5.3	1.2
NP	5.0	15.0	10.0	7.1	1.0

Здесь заметно количественно большее содержание нитратов по всем срокам и понижение их намечается в V пробе, т. е. опять ко времени с заметным увеличением осадков, но с обратным результатом, нежели в 1933 г. на мощном черноземе. Серная кислота также имеет тенденцию к снижению количества нитратов, но действие ее выражено менее рельефно, чем при опыте на мощном горизонте в предыдущем году.

Г. Подвижность железа

Понятием подвижное железо А. Т. Кирсанов определяет то количество Fe, +++ которое переходит в раствор 0.2n солянокислой вытяжки при отношении почвы к растворителю 1 : 5. Роль подвижного железа в почве имеет



Фиг. 15. Динамика подвижного железа на мощном черноземе

важное значение в вопросах питания растений; кроме того, поведение его тесно связано с усвоением доступной растению фосфорной кислоты. Железо определялось нами в той же вытяжке, что и фосфорная кислота. Количество подвижного железа в почве находится в зависимости от реакции ее.

Черноземы в обычных условиях характеризуются весьма малым содержанием подвижного железа, и при нейтральной реакции оно часто равно нулю.

Изучаемый нами мощный чернозем показывает очень незначительное содержание подвижного железа, а также и его изменение по различным срокам. Из фиг. 15 видно, что на контрольной делянке кривая не поднимается выше 4 мг и не опускается ниже 2 мг на 100 г почвы. Воздействие на почву кислотами вызывает обеднение ее кальцием, и параллельно идет обогащение обменным водородом. В результате это приводит к увеличению подвижного железа, что отчетливо видно из фиг. 15.

Таблица 17

Зависимость содержания подвижных Fe и P_2O_5 от pH почвы

Химические показатели	Сроки	9/V	12/V	19/V	10/VI	19/VI	3/VII	10/VIII
pH		6.40	4.60	4.90	4.95	6.32	5.94	7.08
Подвижное Fe в мг на 100 г почвы		2.0	4.5	5.0	7.0	3.0	5.0	2.5
Доступной P_2O_5 в мг на 100 г почвы		7.5	8.75	10.0	10.5	10.0	9.5	8.0

В табл. 17 приведено сопоставление данных определения подвижного железа и pH по срокам на делянке, обработанной серной кислотой.

Даже в полевых условиях замечена хорошо выраженная зависимость между Fe и величиной pH. Эта зависимость согласуется с данными, полученными Britt (12), по которым соединения железа нерастворимы в интервале pH от 5.5 до 9.0, хотя А. Т. Кирсанов на основании своих работ приходит к выводу, что эта зависимость между pH и подвижным железом наблюдается далеко не во всех случаях.

В этой же таблице мы приводим и данные по фосфорной кислоте на той же кислованной делянке.

Цифры подтверждают предположение, что сдвиг нейтральной реакции черноземов в кислую сторону вызывает большую подвижность обоих соединений. Если отмеченное увеличение подвижной P_2O_5 можно считать явлением безусловно благоприятным, то по отношению подвижного железа этого сказать нельзя без специального изучения этого вопроса, но содержание железа в таких, сравнительно небольших, количествах можно считать только желательным.

Выводы из опытов и перспективы практического применения кислования

В табл. 18 приведены результаты вегетационных и полевых опытов с кислованием чернозема по литературным и нашим данным.

Испытание действия H_2SO_4 в полевых условиях производилось только при наших опытах, поэтому влияние на урожай серной кислоты возможно сопоставить только с данными вегетационных опытов других исследователей (табл. 18).

В вегетационных опытах во всех случаях наблюдается положительный эффект кислования. Прибавки урожая весьма значительны, особенно велики они при опытах И. П. Сомова на Безенчукской опытной станции, где урожай достигает колоссальной цифры в 513%. По данным А. Т. Кирсанова и П. П. Заева, прибавки менее велики, но все же по серной кислоте они представляют 50% и выше. Бисульфат натра во всех сосудах дает повышение урожая, но прибавки заметно ниже, чем по серной кислоте при том же опыте.

Результаты наших опытов подтверждают выводы, полученные в вегетационных сосудах, о положительном влиянии чистой серной кислоты на урожай. Правда, прибавки не достигают таких огромных цифр, как в вегетационном опыте, но все же и в поле они довольно устойчивы и дают 25% от контроля, что в абсолютных цифрах при урожае в 10—12 ц/га выражается в приросте зерна в 2.5—3 ц/га.

Действие бисульфата натра при наших опытах резко расходится с результатами как вегетационных, так и полевых опытов других исследователей.

Несмотря на то что предшествующие нашим опыты в сосудах и в поле неизменно показывали положительный эффект этой соли на урожай, показания наших 2-летних опытов с яровыми и озимыми культурами дали отрицательный результат, а в 1933 г. бисульфат послужил причиной

Сводная таблица результатов полевых и вегетационных опытов по кислотности чернозема за 1930—1934 гг. (в % от контроля)

Исследователь	Вегетационные опыты										Полевые опыты																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	Н. П. Соколов					Н. П. Заев					А. Г. Сенишов					Матрофановское опытное поле																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Базисная опытная станция					Каменная Столь					Воронежская опытная станция					Обыкновенный чернозем																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Почва	Обыкновенный чернозем					Обыкновенный чернозем					Обыкновенный чернозем					Обыкновенный чернозем																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Культура	Пшеница					Пшеница					Пшеница					Пшеница					Пшеница					Пшеница																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый	Одноклассовый																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Год опыта	1931—1932					1930					1931					1932					1933					1934					1934																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

A. SENJUSHOV

ACIDIFYING AS A FACTOR ACTIVATING CHERNOZEM FERTILITY

Summary

1. Acidifying of ordinary and thick chernozem increases the yielding capacity of the soil on condition of a perfect suitability of the acidifier.
2. Field experiments on soil treatment with pure sulphuric acid, showed that there is a noticeable shifting from a neutral to an acid reaction, as far as from pH 6 to pH 4.5.
3. The theoretic presumption about a possibility of the P_2O_5 mobilization by means of reaction shifting is fully confirmed, it is evident by the analyses data that the effect of H_2SO_4 may be identified with that of a superphosphate dose of 75 kg/ha.
4. Simultaneously, acidifying reduces the nitrate content of the soil and increases the mobility of Fe.
5. The effect of acidifying on the yielding capacity of the soil is less dependent upon the chernozem variety than upon the agricultural conditions and chiefly upon the meteorological conditions of the year.
6. The use of sodium bisulphate has not always a favourable effect on the yielding capacity of the soil, and the results of the first year's experiments showed that it actually brought about a complete ruin of the crop.
7. At present it is impossible to recommend acidifying as a mass method of soil treatment.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакушкин П. Г. Итоги работ Митрофановского опытного поля (рукопись, сдана в печать в 1935 г.).
2. Заев П. П. Влияние кислотности обыкновенного чернозема на урожай озимой ржи и пшеницы. Химизация соц. земл., № 5, 1933.
3. Кирсанов А. Т. Химизация чернозема. Воронеж 1933.
4. Кирсанов А. Т. Упрощение химического определения потребности почвы в фосфорнокислых удобрениях. Бюлл. Ленингр. отделения ВИУА, № 38, 1932.
5. Кирсанов А. Т. Значение для растений частичного замещения обменных оснований на Н с последующим введением и новый подход к известкованию. Тр. Почвенного инст. Академии Наук СССР, т. X, вып. 4, 1934.
6. Кирсанов А. Т. и Болотина Н. И. Материалы по агрохимической характеристике красноземов. Проблемы советского почвоведения, сб. 2, 1936.
7. Сеньюшов А. Г. Сопоставление показаний полевого опыта нуждаемости черноземных почв в удобрении с химическими методами. Тр. Почвенного инст. Академии Наук СССР, т. XII, 1935.
8. Сеньюшов А. Г. О химическом прогнозе действия минеральных удобрений на почвах ЦЧО. Соц. строит. ЦЧО, № 9—10, 1933.
9. Сомов И. П. Кислотность чернозема как фактор повышения урожая. Химизация соц. земл., № 3, 1933.
10. Черткова Н. Г. Отчет о полевых опытах по теме: «Продвижение пшеницы на север». Воронеж. с.-х. инст., 1933 (рукопись).
11. Nehring K. Z. für P. D. und B. Teil A., Bd XXXV, S. 257.
12. Russel E. Soil Conditions and Plant Growth, p. 242.

А. Т. КИРСАНОВ, А. О. САНИКИДЗЕ и Т. Г. БАКРАДЗЕ

ХЛОРОЗ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ

(Из работ Агрохимической лаборатории Закавказского научно-исследовательского института виноградарства)

Введение

Изучение хлороза виноградной лозы имеет довольно длинную историю. Впервые этим вопросом занялись французские исследователи в связи с массовой заболеваемостью виноградников на меловых почвах Коньяка и Шампани, во время (1870—1895 гг.) перевода корнесобственных виноградников на филлоксероустойчивые американские подвои. Эти подвои спасли лозу от филлоксеры, но усилили поражение ее хлорозом.

В виду большого вреда, причиненного хлорозом виноградникам Франции, изучению данной болезни уделялось большое внимание, и целый ряд ученых Франции (Виалла, Раваз и др.) занимался выяснением причин плохого приспособления привитых лоз к почвенно-климатическим условиям каждого виноградного района. Они пришли к выводу, что хлороз привитых лоз объясняется, с одной стороны, избыточным содержанием извести в почве и, с другой, — склонностью американских подвоев к поражению хлорозом и стали рекомендовать известково-устойчивые подвои гибридов сорта Берландиери. Ошибки восстановления зараженных филлоксерой виноградников на американских подвоях имели место кроме Франции, в ряде стран: Венгрия, Италия, Бессарабия, Западная Грузия.

Ареолы распространения хлороза могут служить все те виноградные районы, где почвы или подпочвы богаты углекислой известью. Хлороз может проявиться и тогда, когда сама почва не содержит или мало содержит извести, но залегают на материнской породе, богатой углекислой известью, которая подходит близко к дневной поверхности. Такими районами в Союзе, где распространен или может проявиться хлороз, являются: Каптановые черноземы на известковых породах на Украине (1), на Северном Кавказе (2) и в Закавказье, а также и перегнойно-карбонатные почвы в Восточной (Кахетия, Борчалло) (3) и в Западной Грузии (Верхняя Имеретия и Нагорная Мингрелия).

В настоящее время существует целый ряд теорий о причинах возникновения хлороза; остановимся кратко на важнейших из них.

Первые исследователи виноградного хлороза Виялла и Раваз (4) считают действительной причиной хлороза избыток карбоната кальция в почве. Этот взгляд является доминирующим и в настоящее время получил дальнейшее развитие в целом ряде работ. Так, Гудайль и Семпшон (5) установили проявление хлороза в зависимости от степени измельченности извести и скорости растворимости ее.

Фокс (6) причину хлороза виноградной лозы находит в нарушении развития корневой системы на известковых почвах; вследствие этого затрудняется поступление питательных веществ в растение и замедляется образование хлорофилла. Такого взгляда держится в своей работе и Ковалев (2).

Мольц (7) приходит к выводу, что избыток извести в почве создает щелочную реакцию, которая вызывает гибель тончайших корней лозы. При щелочной реакции и здоровые корни с большим трудом ассимилируют питательные вещества, но особенно затрудняется поступление калия.

По мнению Перольда (8), известковый хлороз проявляется благодаря недостатку железа в растворимом состоянии. Из-за большого количества карбоната кальция в соке листа создается нейтральная или щелочная среда, что способствует переводу легко растворимого бикарбоната железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ в нерастворимую форму FeCO_3 .

Наумов (9) также считает причиной хлороза углекислый кальций, который в виде бикарбоната в усиленных количествах поступает в растение и снижением кислотности сока листьев нарушает правильный обмен веществ в листе и затрудняет образование хлорофилла.

По методу Будапештского ампелогического института (Трейц, 10) хлороз может быть вызван углекислой известью, содержащейся в частичках почвы диаметром мельче 0.05 мм.

Арме (11) причиной хлороза лоз считает антагонизм между калием и известью.

В последних своих работах такого же взгляда держится и Раваз (12).

Эренберг (13) доказывает необходимость определенного соотношения между Са и К, так как в своих опытах он наблюдал угнетенное развитие растений при избытке Са и недостатке калия. Но этот взгляд нельзя считать общепринятым. Так, по анализам Жули (цитируем по Гуамару и по Ковалеву) хлоротичные листья обогащены азотом, фосфорной кислотой, кальцием, железом и особенно калием.

Американские исследователи, как например Бургарт (14), также считают основной причиной хлороза винограда избыток карбоната кальция в почве.

По исследованиям Бэрке (15), избыток извести затрудняет поступление железа в растение. По его мнению, в большинстве случаев улучшение больных хлорозом деревьев, посредством железных солей, указывает на недостаток усвояемого железа в почве. Опытами Бэрке установлено, что лечение плодовых деревьев (яблонь) железными солями посредством

введения их в растение дало положительные результаты, в то время как опрыскивание деревьев железным купоросом или внесение его в почву не дало улучшения.

Ванн (16) причиной хлороза растений также считает недостаточное количество железа, вследствие избыточного содержания извести в почве. Он предлагает два способа борьбы с хлорозом: 1) механическое внесение железа путем опрыскивания или введение его в ствол или ветви растения и 2) внесение в почву навоза, сернокислого аммония и серы.

Такого же взгляда держится и Бенетт (17).

Против хлороза и побурения листьев винограда Захаревич (18) рекомендует смазывание ран после подрезки смесью растворов железного купороса и азотнокислого калия.

Гуамар (19) выставляет новую гипотезу для объяснения хлороза в известковых почвах, считая причиной его излишнее накопление в соке растения углекислого газа, который образуется из двууглекислой извести под действием органических кислот растения.

Кроме вышеперечисленных взглядов на причину и способы лечения хлороза, в последнее время в литературе большое внимание уделено недостатку магния в почве.

Впервые на антагонизм кальция и магния обратил внимание Лев (20).

Джонс (21) на Массачусетской сельскохозяйственной опытной станции установил, что причиной хлороза кукурузы явился недостаток магнезии в почве и показал большее количество магния в нормально-зеленых растениях, чем в хлоротичных.

По Дюмону (22), внесением магнезии в почву можно с успехом бороться против хлоротического действия извести.

Арманияк (23) считает единственно верным и дешевым средством против хлороза виноградной лозы применение доломитизации.

По Вилену (24), почвы, богатые магнезией, наиболее противодействуют болезням вообще, в частности хлорозу виноградной лозы.

В новейшей литературе по хлорозу, особенно в американской, большое внимание уделяется при борьбе с хлорозом марганцу.

Так, трехлетними исследованиями Джильберта и Маклина (25) в Род-Айленде на уплотненных известковых почвах показано, что хлороз разнотравья на уплотненных известковых почвах устранялся внесением небольшого количества (8 ф. на акр) сернокислого марганца, смешиваемого с минеральным удобрением или путем опрыскивания им растущих растений.

Более поздняя работа Чапмана (26) опровергает выводы названных авторов. Чапман пришел к выводу, что «чрезмерное количество кальция вместе с марганцем очень часто является пагубным». Марганец мешает железу распространиться по листьям. Основной причиной хлороза он считает трудность поступления железа в растение из почвы. В сильно-щелочной среде коллоидальное железо слабо утилизируется растением и накапливается в стеблях (древесине). Поэтому, по его данным, хлоротичная древесина более богата железом, чем нормальная, а хлоротичные

листья содержат его меньше. В соке хлоротичных растений железо содержится в незначительном количестве.

В последнее время большое внимание уделено значению микроэлементов (цинк, медь, фтор, марганец, бор, иод и др.) в деле правильного питания растений вообще и устранения хлороза в частности (27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34).

После краткого обзора литературных данных переходим к изложению полученных нами экспериментальных данных. Сначала остановимся на химической характеристике почв и динамике питательных веществ, а затем перейдем к характеристике химического состава листьев лозы (больных и здоровых) и изменению их состава под влиянием внесенных удобрений.

Экспериментальная часть

В условиях Кахетии на сильноизвестковых перегнойно-карбонатных почвах весьма часто встречаются привитые виноградники, больные хлорозом в случае, если подвоями служат *Riparia* × *Rupestris* и *Rupestris* Du Zot. В первые годы на сильноизвестковых почвах лозы, привитые и на подвое *Riparia* × *Berlandieri*, обычно заболевают хлорозом, но с возрастом лозы болезнь проявляется все меньше и меньше и через 4—5 лет прививки на данном подвое перестают болеть хлорозом. Но надо отметить, что и на лозы, привитые на *Riparia* × *Berlandieri*, частичный хлороз накладывает свой отпечаток в виде замедления роста и запаздывания нормального плодоношения.

В виду довольно большой площади, занимаемой перегнойно-карбонатными почвами, мы и решили заняться их изучением с точки зрения борьбы с хлорозом. Эти почвы залегают на правобережье р. Алазани по нижним склонам Циви-Рамборского хребта на высоте 450—750 м над ур. м. Перегнойно-карбонатные почвы весьма ценны для виноградной культуры, так как на них получают высококачественные вина.

Для изучения были выделены два участка на винограднике экспериментальной базы института в сел. Уриатубани (б. Кахетинская опытная станция).

Первый участок, взятый под опыт, засажен сортом Ркацители на подвое *Aramon* × *Rupestris* Ganzin № 1 посадки 1929 г. Часть данного виноградника со второго же года его закладки ежегодно болеет хлорозом с конца весны до конца лета; в конце лета и осенью хлороз затухает.

Другая часть данного же виноградника с тем же сортом никогда не заболела хлорозом. Несмотря на то что почва всего выбранного для опыта участка представляет одну и ту же перегнойно-карбонатную разность, все же заболеваемость виноградника хлорозом на его площади проявляется различно, так как процентное содержание карбоната кальция и мощность почвы не одинаковы.

По содержанию CaCO_3 (в 10% соляной кислоте) части одного и того же виноградника характеризуются так (табл. на стр. 133).

Кроме различного содержания углекислой известки, эти два участка одного и того же виноградника различаются и по содержанию гумуса, азота и других питательных веществ.

Глубина залегания в см	Хлорозный виноградник % CaCO_3	Здоровый виноградник % CaCO_3
0—20	34.2	16.0
20—40	43.6	15.7
40—60	47.3	17.7
60—100	64.4	20.4

По механическому составу оба эти участка одинаковы и представляют среднескелетные суглинистые почвы. Скелетом служат окатанные камешки и камни разной величины. Скелетность их с глубиной возрастает, и материнская порода характеризуется сильной скелетностью: На более карбонатной части данного виноградника материнская порода представлена серовато-белым, сильно известковым легким суглинком, богатым валунино-галечным скелетом. Местами эти камни сцементированы известью.

Почва характеризуется мелко-комковато-зернистой структурой, что обуславливает ее хорошую водопроницаемость.

Состояние виноградных кустов на хлорозном участке по силе роста не отличается от кустов нехлорозного участка, но хлорозные кусты отстают от нормальных в плодоношении, так как хлороз вызывает усиленное осыпание цветов.

Второй участок, взятый для опыта, также представляет перегнойно-карбонатную сильно известковую почву. Количество карбонатов в ней по слоям распределяется так: 0—20 см — 26.6%, 20—40 см — 34.25%, 40—60 см — 47.0%, 60—100 см — 68.5%.

Приводим морфологическое описание почвы данного участка:

Мощн. гор. в см

- А 0—30 Темный, с каштаново-сероватым оттенком, зернисто-комковатой структуры, слабоскелетный, тяжело-суглинистый, вскипает.
- В 30—50 Красновато-бурый с сероватым оттенком, комковато-ореховатой структуры, плотный, пористый, много корней, ходы землероев, тяжело-суглинистый, слабоскелетный; CaCO_3 в виде плесни, вскипает сильно.
- С₁ 50—90 Белый, с сероватым оттенком, зернисто-пылеватой структуры, мелко-пористый, рыхловатый, ходы землероев, корневые ходы, тяжело-суглинистый; CaCO_3 в виде больших белоглазок, белоглазка в руке мажется, вскипает бурно.
- С 90—150 Беловато-серый, с желтоватым оттенком, бесструктурный, рыхловатый, мелко-редкопористый, редкие корешки растений; суглинистый; CaCO_3 в большом количестве в виде больших муцистых белоглазок, вскипает бурно.

Химический состав данной почвы (табл. 1) показывает достаточное содержание валовой P_2O_5 почти по всему профилю почвы и значительное

содержание валового азота в верхнем горизонте; с глубиной содержание его резко падает (3).

Таблица 1

Горизонты	A	B	C ₁	C ₂
Глубина в см	0-30	30-50	60-90	100-130
Гигроскопическая вода	5.10	3.97	1.74	1.07
Гумус	3.40	2.07	0.36	0.14
Азот	0.25	0.06	0.03	0.01
Потери от прокаливания	5.69	4.88	3.44	1.28
SiO ₂	54.40	37.44	37.96	17.62
CO ₂	3.50	15.62	18.62	32.06
SO ₃	1.80	0.45	0.51	0.22
P ₂ O ₅	0.19	0.13	0.08	0.07
Al ₂ O ₃	13.19	10.54	5.74	1.44
Fe ₂ O ₃	9.00	3.67	3.26	2.98
CaO	7.96	23.81	27.40	42.67
MgO	2.30	1.61	0.31	0.50
Mn ₂ O ₃	следы	—	0.14	0.32
K ₂ O+Na ₂ O	2.02	1.85	2.54	0.86
Сумма	100.04%	100.00%	100.00%	100.02%

Количество магния (MgO) по сравнению с известью небольшое и оно резко падает с глубиной.

Описанный участок засажен в 1930 г. сортом Саперави, привитом на *Riparia × Rupestris* № 101¹⁴, но с первых же лет посадки Саперави на этом подвое стал сильно болеть хлорозом, в то время как тот же сорт Саперави на подвое *Riparia × Berlandieri* № 420А слабо поддавался хлорозу. В последние годы посадки ни одна лоза не заболела даже частичным хлорозом и в настоящее время плодоносит нормально.

На подвое 101¹⁴ болезнь с каждым годом все усиливалась и перешла в стадию Cottis'a,¹ в результате чего виноградные кусты стали засыхать (фиг. 1).

Уцелевшие лозы характеризуются слабым ростом, короткими междоузлиями, мелкими беловато-желтыми листьями, которые на сильно больных кустах с краев засыхают.

Больные хлорозом кусты большей частью не плодоносят или плодоносят весьма слабо. Кисти плодоносящих, больных хлорозом лоз очень редкие, в виду осыпания цветов во время цветения. Фотоснимок № 1 показывает общий вид изучавшейся части виноградника.

¹ Наибольшее развитие хлороза.

На вышеописанных участках были выделены 3 площадки для изучения динамики изменения химизма почвы; две площадки были взяты на первом участке, одна свободная от хлороза, а другая на хлорозном винограднике; третья площадка была взята на втором участке с сильным хлорозом. На каждой площадке выделялись по 3 делянки и с каждой делянки для составления средней пробы в трех точках брались образцы почв. Пробы почв брались на глубине 0-20 см, 20-40 см, 40-60 см и 60-100 см. Взятые почвенные образцы приурочивались к различным стадиям развития хлороза; первые пробы были взяты весной (29/IV) до



Фиг. 1. Общий вид виноградника больного хлорозом, на котором был заложен опыт

начала хлороза, вторая проба — во время сильного развития хлороза (6/VI), третья проба — при затухании хлороза (18/VIII); последняя проба бралась в конце вегетации (14/X).

В водной вытяжке, при отношении почвы к воде 1 : 5, в этих образцах определялись нитраты, сухой остаток, прокаленный остаток, потеря от прокаливании, общая щелочность, щелочность от нормальных карбонатов и pH водной вытяжки хингидронным методом. Кроме того, в тех же образцах почв определялись:

а) гидролизующий азот в 1% растворе K₂SO₄ методом Кенига и Газенбеймера, б) подвижная известь в 25% растворе винной кислоты, в) доступная фосфорная кислота по Зигмонду в комбинации с методом Кирсанова: замена азотной кислоты соляной при конечной концентрации ее 0.2n.

Фосфорная кислота определялась также в вытяжке щавелево-кислого аммония по Таму; в этой же вытяжке определялись и Fe. На ряду с этим изучались количество CO₂ в почвенном воздухе и влажность почвы.

Кроме того, производились определения 1) pH сока листьев и побегов здоровых и больных лоз в момент сильного проявления хлороза и

2) химический анализ больных и здоровых листьев. В листьях устанавливалось общее количество золь, азота и минеральных элементов. Для более точной регистрации хода болезни производились фенологические наблюдения.

На хлорозном винограднике проявление хлороза началось с момента усиления дождей (май) и особенно сильно поражение им было в июне и июле; в августе хлороз постепенно стал уменьшаться. Приводим количество осадков по Уриатубанской метеорологической станции за 1934 г.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Осадки 1934 г. в мм	25.9	2.3	20.4	79.0	88.3	84.5	127	38.5	64.3	210	488	29
Осадки в среднем в мм за 10 лет	15	35	35	80	140	90	70	65	85	55	35	20

Увеличение осадков и повышение почвенной температуры неизбежно ведут к усилению биохимических процессов почвы, что ускоряет разложение органического вещества и повышает количество CO_2 , и вместе с этим подвижность CaCO_3 . В результате мы во время сильного проявления хлороза констатировали в почвенном воздухе хлорозного виноградника повышенное содержание CO_2 , по сравнению с воздухом здорового виноградника (табл. 2).

Таблица 2
Количество CO_2 в мг в 1 литре воздуха почвы

Глубина в см	Хлорозный виноградник		Здоровый виноградник		На поверхности почвы
	днем	ночью	днем	ночью	
0—35	2.7	2.3	0.4	0.3	0.1
35—60	1.7	1.5	0.2	0.2	

Как показывает табл. 2, в почве хлорозного виноградника в 7 раз больше CO_2 , чем в почве здорового виноградника. Высокая концентрация CO_2 почвы способствует усилению подвижности извести и вызывает усиленное поступление ее в растение.

Из обзора иностранной литературы вполне ясно, что интенсивность проявления хлороза зависит как от величины содержания извести, так и от степени ее подвижности. При одинаковом процентном содержании извести, но при различных физических свойствах ее, роль извести в развитии хлороза растений может проявляться то сильнее, то слабее. По Фоксеу (5), хлороз лоз вызывается известью сильнее в том случае, если

она представлена в почве в виде мучнистой пыли, которая с водой дает кашеобразную массу, чем тогда, когда известь содержится в более крупных агрегатах.

По Гудайль и Семишону (4), роль CaCO_3 в развитии хлороза хорошо характеризуется скоростью реакции действия кислоты на карбонаты исследуемой почвы. Этот принцип мы и положили в основу изучения почвы как фактора, влияющего на развитие хлороза.

Изучение подвижности извести почвы мы производили в аппарате Розе при обработке 0.5—1 г воздушно-сухой почвы 10—15 см³ 25% винной кислотой при отсчете выделяющейся CO_2 из почвы через каждые 15 секунд.

Способность почвы благоприятствовать хлорозу, или коэффициент ее хлорозности, мы выразили формулой: $X = \frac{a \cdot b}{n}$, где X — коэффициент хлорозности, a — количество CO_2 в см³, приведенное к нормальным условиям давления и температуры, b — процент содержания CaCO_3 в почве, n — время в секундах.

Учеты подвижности извести, как и других питательных веществ, приводились до проявления хлороза, при закладке опыта (29/IV), во время сильного проявления хлороза (6/VI) и при ослаблении или затухании его (18/VIII). В такие же сроки брались образцы почвы с здорового виноградника.

Из данных скорости разложения CaCO_3 в 25% растворе винной кислоты (табл. 3), видно, что оно в почве хлорозного виноградника идет быстрее, чем в почве здорового виноградника. Количество выделенной CO_2 в первые 15 секунд реакции доходит до одной трети всей выделившейся углекислоты. Вторые 15 секунд действия кислоты также сильно повышают количество углекислоты; в дальнейшем ее нарастание идет медленным темпом.

Изменения коэффициента хлорозности дают обратную картину по сравнению с ходом вытеснения CO_2 .

В связи с увеличивающимся количеством CaCO_3 в глубь по профилю почвы возрастает и коэффициент хлорозности; наименьшая его величина получается для слоя почвы 0—20 см, а наибольшая — для слоя 60—100 см.

Количество выделившейся углекислоты в почве хлорозного виноградника (табл. 3) в 4—9 раз превышает CO_2 почвы здорового виноградника, а коэффициент хлорозности почв — в 16—50 раз.

На фиг. 2 (стр. 140) мы даем кривые выделения CO_2 из почв здорового и пораженного хлорозой виноградников.

Диаграмма разложения CaCO_3 на почве хлорозного участка показывает, что количество выделившейся CO_2 к моменту наивысшего проявления хлороза (6/VI) увеличивается и до конца лета остается постоянным.

Наибольший коэффициент хлорозности получается для периода сильного проявления хлороза, а затем он падает. Примерно такую же картину дают CO_2 и коэффициент хлорозности и для почвы здорового виноградника.

Скорость разложения CaCO_3 в 25% растворе

Хлорозный виноградник

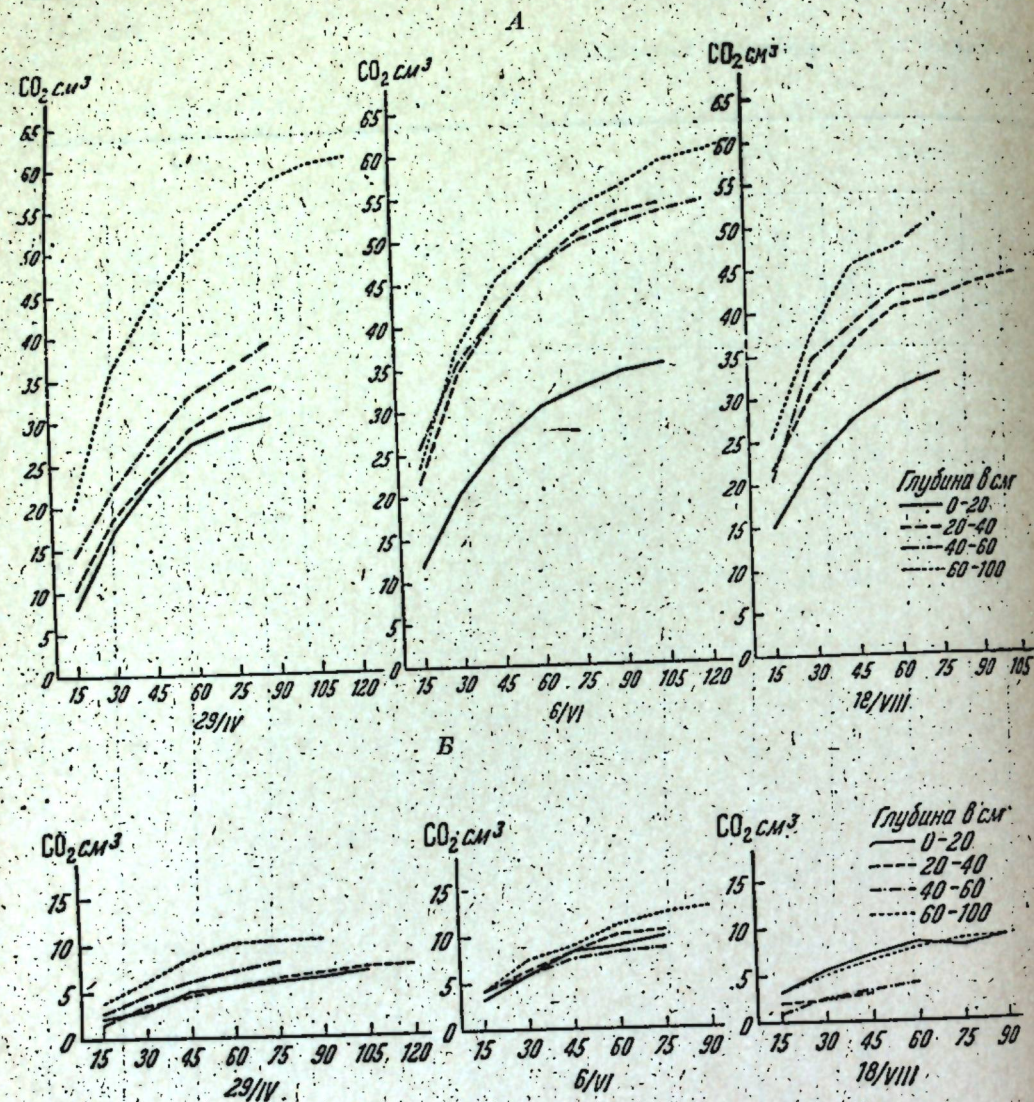
29/IV					6/VI					18/VIII				
глубина в см	секунды	CO_2 , см ³	коэффициент хлорозности	CaCO_3 , в %	глубина в см	секунды	CO_2 , см ³	коэффициент хлорозности	CaCO_3 , в %	глубина в см	секунды	CO_2 , см ³	коэффициент хлорозности	CaCO_3 , в %
0—20	15	8.0	16.7	—	0—20	15	12.0	29.7	—	0—20	15	15.0	31.6	—
	30	17.0	17.7	—		30	21.0	22.6	—		30	23.0	24.2	—
	45	23.0	16.0	—		45	27.0	22.3	—		45	28.0	19.6	—
	60	27.0	14.1	—		60	31.0	20.2	—		60	31.0	16.3	—
	75	29.0	12.1	—		75	33.0	17.2	—		75	33.0	14.0	—
	90	30.2	10.5	30.77		90	35.0	15.4	—		90	34.0	11.9	32.77
	—	—	—	—		105	36.0	12.7	36.55		—	—	—	—
20—40	15	10.0	23.4	—	20—40	15	22.0	81.7	—	20—40	15	22.0	46.3	—
	30	18.5	21.6	—		30	35.0	66.7	—		30	31.0	32.6	—
	45	24.0	18.7	—		45	42.0	51.9	—		45	37.0	26.0	—
	60	29.0	16.9	—		60	47.0	43.6	—		60	41.0	21.6	—
	75	32.0	14.9	—		75	51.0	34.9	—		75	42.0	17.7	—
	90	34.0	13.2	34.52		90	53.0	32.8	—		90	44.0	16.7	—
	—	—	—	—		105	54.0	28.6	54.82		105	44.5	13.4	42.89
	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—
40—60	15	14.0	37.5	—	40—60	15	26.0	96.5	—	40—60	15	21.0	57.2	—
	30	22.0	29.5	—		30	36.0	66.8	—		30	35.0	47.7	—
	45	28.0	25.0	—		45	42.0	51.8	—		45	39.0	35.3	—
	60	33.0	21.9	—		60	47.0	43.6	—		60	43.0	29.3	—
	75	36.0	19.3	—		75	50.0	37.1	—		75	44.0	24.0	42.40
	90	39.0	17.4	39.59		90	52.0	34.5	—		—	—	—	—
	—	—	—	—		105	53.0	28.9	54.82		—	—	—	—
	—	—	—	—		120	54.0	25.0	—		—	—	—	—
60—100	15	20.0	83.8	—	60—100	15	24.0	102.2	—	60—100	15	26.0	84.1	—
	30	36.0	72.5	—		30	38.0	80.9	—		30	38.0	61.9	—
	45	44.0	61.3	—		45	46.0	65.3	—		45	46.0	49.6	—
	60	50.0	52.4	—		60	50.0	53.3	—		60	48.0	38.8	—
	75	54.0	45.3	—		75	54.0	46.2	—		75	52.0	33.8	50.36
	90	58.0	40.5	—		90	56.0	39.8	—		—	—	—	—
	105	60.0	35.8	61.93		105	59.0	33.5	62.94		—	—	—	—
	120	61.0	32.0	—		120	60.0	32.0	—		—	—	—	—
	—	—	—	—		135	62.0	29.3	—		—	—	—	—

Таблица 3

Влияние кислоты и коэффициент хлорозности

Здоровый виноградник

29/IV					6/VI					18/VIII				
глубина в см	секунды	CO_2 , см ³	коэффициент хлорозности	CaCO_3 , в %	глубина в см	секунды	CO_2 , см ³	коэффициент хлорозности	CaCO_3 , в %	глубина в см	секунды	CO_2 , см ³	коэффициент хлорозности	CaCO_3 , в %
0—20	15	2.0	0.9	—	0—20	15	3.0	2.1	—	0—20	15	3.0	1.9	—
	30	3.0	0.7	—		30	6.0	2.1	—		30	5.4	1.7	—
	45	5.0	0.7	—		45	8.4	2.0	—		45	7.0	1.4	—
	60	5.5	0.6	—		60	9.0	1.6	—		60	8.4	1.3	—
	75	6.0	0.5	—		75	10.0	1.4	10.15		75	8.2	1.1	—
	90	6.5	0.5	—		—	—	—	—		90	9.0	0.9	9.14
	105	7.0	0.4	6.75		—	—	—	—		—	—	—	—
20—40	15	1.5	0.7	—	20—40	15	4.0	2.9	—	20—40	15	2.0	0.4	—
	30	3.5	0.8	—		30	6.4	2.1	—		30	2.4	0.3	—
	45	4.5	0.7	—		45	8.4	2.0	—		45	3.0	0.2	3.05
	60	5.5	0.6	—		60	10.0	1.8	—		—	—	—	—
	75	6.5	0.6	—		75	10.4	1.5	10.56		—	—	—	—
	90	6.9	0.7	—		—	—	—	—		—	—	—	—
	105	7.2	0.5	—		—	—	—	—		—	—	—	—
	120	7.5	0.4	7.23		—	—	—	—		—	—	—	—
40—60	15	2.5	1.2	—	40—60	15	4.0	2.5	—	40—60	15	1.0	0.3	—
	30	4.5	1.1	—		30	6.0	1.8	—		30	2.4	0.3	—
	45	6.0	1.0	—		45	7.8	1.6	—		45	3.2	0.4	—
	60	7.0	0.9	—		60	8.4	1.3	9.14		60	4.0	0.3	4.06
	75	8.0	0.8	7.71		75	9.0	0.9	—		—	—	—	—
	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—
	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—
60—100	15	4.0	2.7	—	60—100	15	4.0	3.6	—	60—100	15	3.0	1.8	—
	30	6.0	2.0	—		30	7.4	3.3	—		30	5.0	1.5	—
	45	8.4	2.0	—		45	9.0	2.7	—		45	6.4	1.7	—
	60	10.0	1.7	—		60	11.0	2.5	—		60	7.8	1.6	—
	75	10.2	1.3	—		75	12.4	2.0	13.20		75	8.6	1.4	—
	—	—	—	—		90	13.0	1.8	—		90	9.0	0.9	9.14
	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—
	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—

Фиг. 2. Скорость разложения CaCO_3 .

А — хлорозный виноградник; Б — здоровый виноградник

При помощи данного метода возможно предусмотреть для некоторых сортов опасность заболевания виноградной лозы хлорозом на той или иной почве. Зная общее количество CaCO_3 и быстроту разложения углекислой извести, по коэффициенту хлорозности можно установить градации почв по их опасности для хлороза лозы. Для почв исследуемой нами зоны (Кахетия) можно установить три таких градации: первая — когда коэффициент хлорозности не превышает 15; в этом случае нет опасности заболевания хлорозом; вторая — когда коэффициент хлорозности находится в пределах от 15 до 30, на таких почвах возможно проявление

временного (проходящего) хлороза. При третьей градации, когда коэффициент хлорозности выше 30, перед нами благоприятная обстановка для сильного развития хлороза. Чем выше этот показатель, тем сильнее проявление и продолжительность хлороза. Чтобы избавиться от хлороза на таких почвах, практика пользуется подвоями гибридов *Berlandieri*. Теперь перейдем к содержанию питательных веществ в почвах здоровых и хлорозных участков.

Сравнивая количество гидролизующего азота по весеннему сроку взятия образцов, видим (табл. 4), что почва здорового виноградника более обеспечена гидролизующим азотом, чем почвы хлорозных виноградников. Особенно мало количество гидролизующего азота в почвах хлорозных виноградников в слоях глубже 20 см.

Таблица 4

Количество гидролизующего азота в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы (29/IV)

Глубина в см	Хлорозный виноградник	Здоровый виноградник	Хлорозный виноградник с удобрениями (контрольная делянка)
0—20	5.50	5.83	3.36
20—40	2.89	4.66	2.24
40—60	2.48	3.50	2.24
60—100	2.48	3.13	1.68

Также в незначительных количествах имеется нитратный азот в изученных почвах всех трех виноградников (табл. 5). В продолжение вегетации изменение нитратного азота дает одинаковую картину для всех делянок.

Таблица 5

Содержание нитратного азота в мг на 1 кг абсолютно-сухой почвы

Глубина в см	Хлорозный виноградник			Здоровый виноградник			Хлорозный виноградник с удобрениями (контрольная делянка)		
	с р о к и			с р о к и			с р о к и		
	29/IV	3/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	18/VIII	14/X
0—20	0.97	0.85	2.32	1.06	1.11	1.54	1.21	1.50	1.9
20—40	1.05	1.64	1.83	0.95	1.05	1.67	1.00	1.11	2.0
40—60	1.3	1.69	следы	1.04	1.06	1.41	0.86	следы	следы
60—100	0.83	1.40	»	0.74	0.85	следы	0.58	»	»

В общем надо отметить, что количества удобоусвояемых форм азота на почвах как хлорозных, так и здоровых виноградников малы и не могут обеспечить нормальное питание виноградной лозы.

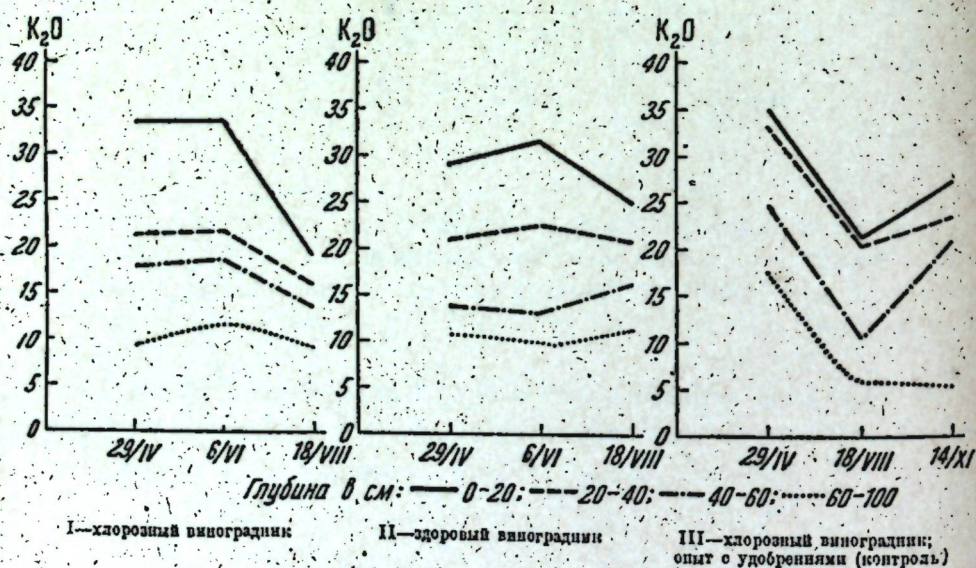
Количество доступного калия, по Кирсанову (табл. 6), на всех почвах в первый весенний срок (29/IV) почти одинаково и достаточно для обеспечения питания лозы.

Таблица 6

Количество доступного калия в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Глубина в см	Хлорозный виноградник			Здоровый виноградник			Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями (контрольная делянка)		
	с р о к и								
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	18/VIII	14/XI
0—20	30.8	30.8	20.5	29.0	30.3	25.0	35.0	21.5	26.80
20—40	21.5	21.8	18.5	21.0	22.1	21.5	32.5	20.5	23.15
40—60	17.2	18.2	12.3	14.0	13.2	17.2	25.5	11.0	20.95
60—100	9.8	11.6	8.8	11.0	10.5	12.0	15.5	6.5	5.10

Количество калия в последующие сроки меняется на хлорозных виноградниках, в то время как в почве здорового виноградника заметного



Фиг. 3. Динамика удобоусвояемого калия в мг на 100 г почвы

изменения его не наблюдается. На хлорозных виноградниках получается резкое падение калия по всему профилю почвы с весны к концу лета, осенью его количество опять увеличивается. Уменьшение доступного калия летом на почвах в разгар усиленного хлороза лоз должно быть обусловлено его энергичным поступлением в ткани (особенно в листья) виноградной лозы, на что указывает приводимое ниже увеличенное содержание его в хлоротичных листьях по сравнению с здоровыми листьями (фиг. 3).

Изменение фосфорной кислоты в растворе 0.2л HCl (по Зигмонду—Кирсанову) незначительно в продолжение вегетации на всех изучаемых участках в связи с большим содержанием извести в почве, которая переводит фосфорную кислоту в труднорастворимые соединения. Нельзя не отметить, что почва здорового виноградника на протяжении всей вегетации значительно богаче легкоподвижной P₂O₅, чем почвы больных виноградников.

Таблица 7

Содержание P₂O₅ в 0.2л HCl в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Глубина в см	Хлорозный виноградник			Здоровый виноградник			Хлорозный виноградник: опыт с удобрениями (контрольная делянка)		
	с р о к и								
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	18/VIII	14/X
0—20	20.0	20.0	23.0	29.0	28.0	32.0	20.0	26.0	20.0
20—40	19.7	20.0	20.0	28.3	29.3	28.0	20.0	22.0	18.4
40—60	19.7	20.0	10.0	22.0	25.0	20.0	10.0	10.0	17.6
60—100	10.0	13.3	следы	10.0	8.6	10.0	следы	следы	6.0

Более яркую картину динамики P₂O₅ за вегетацию дает вытяжка щавелевокислого аммония¹ (фиг. 4, стр. 144 и табл. 8).

Сравнение количеств P₂O₅ почв хлорозных виноградников и здоровых показывает (табл. 8), что подвижной фосфорной кислотой по всему метровому слою более богата почва здорового виноградника.

Таблица 8

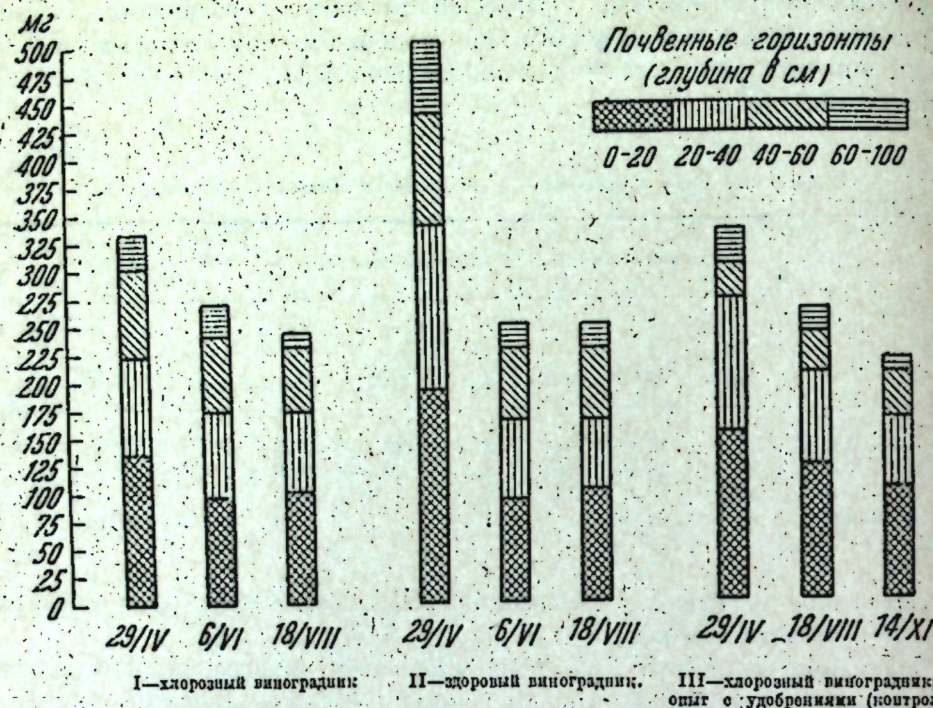
Динамика P₂O₅ растворимой в щавелевокислом аммонии, P₂O₅ в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Глубина в см	Хлорозный виноградник			Здоровый виноградник			Хлорозный виноградник; опыт с удобрением (контрольная делянка)		
	о р о к и								
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	18/VIII	14/XI
0—20	133.0	96.0	100.0	186.6	86.6	100.0	160.0	120.0	100.0
20—40	88.0	80.0	70.0	138.6	73.0	60.0	120.0	80.0	60.0
40—60	76.6	60.0	60.0	98.6	66.0	60.0	32.0	39.6	40.0
60—100	26.6	20.0	10.0	69.0	16.6	20.0	32.0	20.0	10.0

В более труднорастворимом состоянии на почвах больных участков находится железо. Так, в растворе 0.2л HCl нам не удалось обнаружить даже следов его. Но пользуясь анализами раствора в щавелевокислом

¹ Раствор щавелевокислого аммония содержит в 1 л воды 29.5 г щавелевокислого аммония и 4.7 г щавелевой кислоты.

аммония по методу Тама, мы можем сравнить содержание железа в почве хлорозных и здоровых виноградинок и установить его динамику во времени (табл. 9).



Фиг. 4. Динамика P_2O_5 в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г почвы

Из только что названной таблицы и графика 5 видно, что количество железа по всему профилю почвы и по всем срокам в почве

Количество Fe^{+++} в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Глубина в см	Хлорозный виноградник			Здоровый виноградник			Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями (контрольная делянка)		
	с р о к и								
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	18/VIII	14/XI
0—20	80.0	80.0	20.0	112.0	40.0	20.0	80.0	20.0	160.0
20—40	58.6	50.0	следы	95.0	26.0	20.0	80.0	20.0	160.0
40—60	53.3	40.0	»	86.0	40.0	20.0	следы	следы	80.0
60—100	40.0	28.0	»	60.0	6.6	10.0	»	»	40.0

здорового виноградика значительно больше, чем в почве хлорозного. В глубоких слоях почвы в связи со значительным увеличением извести количество железа сильно понижается и доходит до следов даже и при этой форме его извлечения. Динамика растворимости

железа во времени в почвах хлорозных и здоровых виноградинок даст одинаковую картину (фиг. 5, стр. 147), причем количество железа в почве с весны к лету сильно падает, а осенью сильно возрастает. Уменьшение количества железа совпадает с усилением хлороза. Особенно резкое уменьшение его (до следов) в нижних слоях (20—40 см и ниже) хлорозных виноградинок.

Таблица 10

Изменения сухого и прокаленного остатка и потери от прокалывания в %

Хлорозный виноградник

Глубина в см	Сухой остаток			Прокаленный			Потери от прокаливания		
	с р о к и								
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII
0—20	0.45	0.69	0.75	0.44	0.56	0.10	0.01	0.14	0.65
20—40	0.70	0.89	—	0.38	0.43	—	0.32	0.46	—
40—60	0.71	0.84	0.88	0.35	0.60	0.50	0.36	0.24	0.38
60—100	0.81	1.11	1.14	0.41	0.54	0.52	0.40	0.57	0.56

Здоровый виноградник

Глубина в см	Сухой остаток			Прокаленный остаток			Потери от прокалывания		
	с р о к и								
	29/IV	6/VI	1 VIII	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII
2— 20	0.56	0.82	0.43	0.32	0.50	0.09	0.24	0.31	0.34
20— 40	0.69	1.03	0.78	0.29	0.63	0.55	0.40	0.40	0.23
40— 60	0.71	1.16	0.71	0.53	0.57	0.51	0.25	0.59	0.20
60—100	0.65	1.27	0.62	0.35	0.80	0.52	0.30	0.47	0.10

Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями (контрольная делянка)

(контрольный деление)									
Глубина в см	Сухой остаток:			Прокаленный остаток:			Потери от прокалывания		
	с р о к и								
	29/IV	18/VIII	14/XI	29/IV	18/VIII	14/XI	29/IV	18/VIII	14/XI
0—20	0.50	0.85	0.76	0.14	0.45	0.40	0.36	0.40	0.35
20—40	0.47	0.65	0.88	0.23	0.53	0.48	0.24	0.12	0.40
40—60	0.43	0.54	0.84	0.13	0.48	0.44	0.30	0.06	0.40
60—100	0.36	0.93	1.19	0.07	0.58	0.69	0.29	0.35	0.50

Результаты анализов водной вытяжки показывают (табл. 10), что сухой остаток на хлорозных почвах с весны к осени возрастает, при этом количество прокаленного остатка больше в момент сильного проявления хлороза (6/VI). Данные сухого остатка хлорозного виноградника по сравнению с данными нормального виноградника слабо отличаются; разница получается лишь в увеличении количества водорастворимых органических веществ к осени в почвах хлорозных участков.

Динамика общей щелочности и pH
Хлорозный виногради́к

Глубина в см	Общая щелочность в ‰			pH		
	с р о к и					
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII
0—20	0.07	0.07	0.07	7.69	7.74	7.78
20—40	0.06	0.10	0.10	7.86	7.84	7.87
40—60	0.08	0.13	0.10	7.89	7.92	7.96
60—100	0.12	0.17	0.13	7.99	8.07	8.08

Здоровый виногради́к

Глубина в см	Общая щелочность ‰			pH		
	с р о к и					
	29/IV	6/VI	18/VIII	29/IV	6/VI	18/VIII
0—20	0.07	0.09	0.07	7.84	7.54	7.59
20—40	0.07	0.13	0.07	7.99	7.51	7.56
40—60	0.09	0.14	0.10	7.99	7.97	7.98
60—100	0.10	0.16	0.10	8.06	7.99	8.05

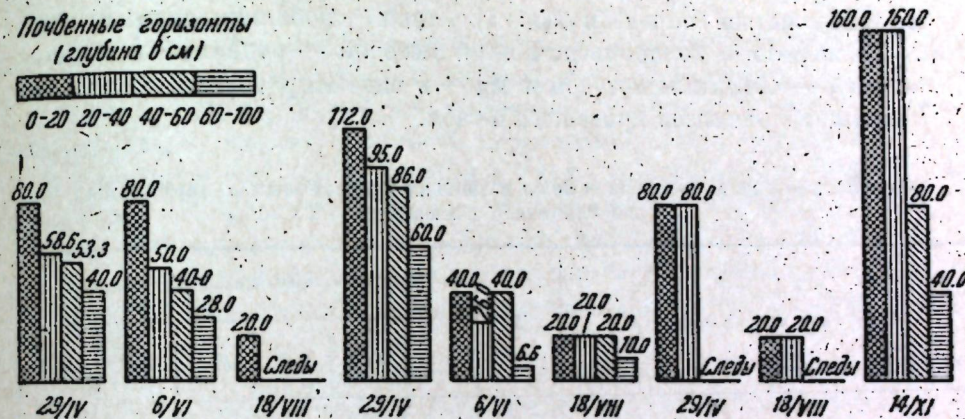
Хлорозный виногради́к; опыт с удобрениями
(контрольная делянка)

Глубина в см	Общая щелочность в ‰			pH		
	с р о к и					
	29/IV	18/VIII	14/XI	29/IV	18/VIII	14/XI
0— 20	0.07	0.07	0.10	7.58	7.66	7.80
20— 40	0.07	0.09	0.10	7.78	7.84	7.90
40— 60	0.10	0.11	0.10	7.95	7.97	7.98
60—100	0.10	0.14	0.10	7.90	8.05	8.06

Особой разницы в содержании общей щелочности почв не наблюдается. Общая щелочность возрастает по профилю параллельно с увеличением CaCO_3 (табл. 11). В продолжение вегетации общая щелочность с весны к лету возрастает и осенью понижается.

pH почвы здорового виноградника с весны к лету в двух верхних слоях понижается, а на почвах хлорозных участков повышается (табл. 11).

Почвенные горизонты
(глубина в см)



I—хлорозный виногради́к

II—здоровый виногради́к

III—хлорозный виногради́к;
опыт с удобрениями (контроль)

Фиг. 5. Динамика железа в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г почвы.

Так как в литературе есть указания (1), что недостаток влаги в почве может быть причиной хлороза, поэтому мы в те же сроки определяли влажность почвы.

Данные влажности почвы и гигроскопической воды, приведенные в табл. 12, ясно показывают, что во все сроки как хлорозные, так и здоровые участки имели достаточную для виногради́ка влажность почвы.

Таблица 12

Влажность почвы в % абсолютно-сухой почвы¹

Влажность почвы в %								
Глубина в см	Хлорозный виноградник			Гигро- скоп. влаж- ность	Здоровый виноградник			Гигро- скоп. влаж- ность
	с р о к и				с р о к и			
	29/IV	6/VI	18/VIII		29/IV	6/VI	18/VIII	
0—20	18.3	13.5	16.1	5.1	23.5	14.3	26.9	5.5
20—40	27.1	17.4	18.1	4.0	25.7	16.5	21.8	6.1
40—60	25.4	17.8	16.1	2.9	31.0	19.1	20.2	4.9
60—100	17.5	17.7	14.9	1.9	29.9	17.2	21.9	2.9

¹ Гигроскопическая влажность вычислялась по разности веса воздушно-сухой почвы и просушенной при 105°C до постоянного веса; ее правильное называть влажностью воздушно-сухой почвы.

Характеристика химического состава хлорозных растений

Для характеристики химического состава хлоротичных листьев виноградной лозы были взяты средние пробы листьев со всех ярусов (старые и молодые) в момент сильного проявления хлороза (6/VI) на двух производственных сортах — Ркацители и Саперави, привитых на подвое *Riparia* × *Rupestris* № 101¹⁴.

Азот определялся в измельченных листьях по Кьельдалю.

В золе листьев определялись: 1) калий — кобальтнитритным методом, 2) железо — колориметрическим методом — роданистым калием, 3) кальций — объемным методом и Mg — в виде $Mg_2P_2O_7$.

Результаты анализов приведены в табл. 13.

Таблица 13

Содержание азота, фосфора и зола в листьях хлоротичных и нормальных лоз Ркацители и Саперави

Наименование сортов	N	Процентное содержание элементов в золе					
		зол	Fe'''	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Ркацители хлоротичный	3.2	8.0	0.05	0.5	1.1	1.8	0.025
Ркацители—здоровые растения	2.1	6.2	0.05	0.2	0.8	1.7	0.025
Саперави хлоротичный	3.1	9.3	0.05	0.9	1.9	1.8	0.025
Саперави—здоровые растения	2.1	6.2	0.05	0.5	0.9	1.7	0.025

Хлоротичные листья обоих сортов содержат азота и минеральных веществ больше, чем здоровые. Содержание азота на 10% выше в хлоротичных листьях, чем в нормальных.

Процент зола хлоротичных листьев на 2.0—3% выше, чем в нормальных листьях.

Зола хлоротичных листьев по сравнению с нормальными содержит в 2 раза больше P_2O_5 и K_2O . Содержание железа и магния незначительно и одинаково в хлоротичных и нормальных листьях. Что же касается содержания кальция, то оно несколько больше в хлоротичных листьях.

Высокий процент зола в листьях хлоротичных лоз стоит в связи с большим содержанием калия, фосфорной кислоты и других зольных элементов. Это подтверждается и предшествовавшими исследованиями — Бэрки (15), Гуамар, Жули (19) и других.

Относительно различий содержания К, Fe и Са в здоровых и больных листьях в литературе нет единства. Так, по Мольду (7), хлоротичные листья содержат в 2 раза меньше калия. Он считает, что этот недостаток калия затрудняет ассимиляцию. Высокое содержание кальция в почве, по его мнению, ослабляет поступление питательных веществ в растение и особенно это сказывается на усвоении растением калия.

По исследованиям Жули и Чапмана (26) получается обратное положение: содержание калия значительно выше (почти в 2 раза) в хлоротичных листьях, чем в нормальных. Наши данные также показывают, что калия больше в золе хлоротичных листьев, чем в золе нормальных.

Как видно из табл. 6, поступление калия в растение не только затрудняется, а, наоборот, усиливается в моменты сильного проявления хлороза.

По данным Мольца (7), железо также накапливается в большом количестве в хлоротичных листьях винограда, чем в нормальных.

Чапман (26) установил, что количество железа в листьях хлоротичных растений немного меньше (в хлоротичных 0.38, в нормальных 0.40) или одно и то же, а в некоторых случаях даже несколько больше, но в стеблях хлоротичных растений железо накапливается всегда в значительно больших количествах, чем в стеблях здоровых растений.

В соке же древесины им было установлено, что нормальное растение (*Crataegus Oxyacanthoides*) содержало растворимого железа в 2 раза больше, чем хлоротичное.

По мнению Чапмана, большое значение имеет не только абсолютное количество железа в органах растения, но и растворимость его.

Такого взгляда держится Перольд (8), который считает, что причина известкового хлороза не общее количество Fe''' в листьях, а недостаток железа в растворенном состоянии. По мнению Перольда, избыток карбоната кальция в соке листа переводит растворимые соединения Fe''' в нерастворимую форму карбоната железа.

За последние годы много уделяется внимания роли коллоидального железа в питании растений, но этот вопрос еще слабо развит.

Чапман установил, что коллоидальное железо при щелочной среде не поступает в листья и накапливается в стеблях растений.

Марш и Шайв (36) показали, что в водных культурах при подщелачивании раствора у растений понижалась способность усваивать Fe.

Наши исследования показывают, что как здоровые, так и больные листья содержали одно и то же количество Fe. Отсюда следует, что общее содержание железа в листьях лозы не может служить надежным критерием для оценки роли железа в хлорозе и что ключ к пониманию этой роли находится, повидимому, в условиях подвижности Fe в листе, обусловливаемой прежде всего реакцией сока листа.

Содержание железа в хлоротичных листьях незначительно превышает количество его в нормальных листьях (табл. 13). Магний содержится в небольшом количестве и содержание его одинаково как в хлорозных, так и в здоровых листьях.

Избыток кальция в наших почвах при незначительном содержании Mg (табл. 1), повидимому, мешает поступлению в растение магния.

С целью выяснения реакции сока листьев и побегов в отжатом ручным прессом соке определялось pH.

Из приведенных данных видно, что у обоих сортов реакция сока здоровых листьев и побегов значительно кислее, чем у больных, и что кислотность сока листьев слабее, чем кислотность побегов. Может быть, такая

РН сока листьев и побегов

Наименование сорта	Здоровые листья	Больные листья	Здоровые молодые побеги	Больные молодые побеги
Ркацителли	4.05	6.4	3.65	4.5
Саперави	3.75	5.6	3.6	4.3

резкая разница рН-сока листьев и побегов здоровых и хлоротичных лоз и явилась причиной пониженной растворимости Fe в листьях хлоротичных лоз.

Действие удобрений на почву и растение

Для выяснения роли минеральных удобрений в борьбе с хлорозом и значения питательных веществ при поражении им лозы мы поставили опыты с удобрениями. В этих опытах испытывались:

- 1) MgO — из расчета 200 кг на 1 га (внесено в виде окиси магния),
- 2) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ из расчета 200 кг N на 1 га,
- 3) FeSO_4 из расчета 500 г на 1 куст,
- 4) K_2O в 40% кал. соли из расчета 200 кг K_2O на 1 га,
- 5) суперфосфат из расчета 200 кг P_2O_5 на 1 га,
- 6) навоз из расчета 6 кг на 1 куст, т. е. 40 т на 1 га,
- 7) навозная жижа — 1.5 ведра на 1 куст из расчета эквивалентного количества по азоту навоза,
- 8) H_2SO_4 уд. в. 1.84—150 см³ на 1 куст.

Выбор названных удобрений был сделан на основании имеющихся литературных данных относительно их действия при хлорозе растений. В новейшей литературе уделяется большое внимание Mg (21, 22, 23, 24) как средству борьбы с хлорозом. На благотворное влияние железа при этой болезни указывается в первую очередь и в старой и в новой литературе (4, 7, 8, 15, 16, 17).

Суперфосфат, калий и азот вносились для выяснения роли усиления питания больных лоз в борьбе с хлорозом.

Следует отметить, что относительно действия навоза при хлорозе в литературе нет единства мнений (32).

Серная кислота вносилась нами для изменения реакции почвы и чтобы этим способствовать переводу труднорастворимых соединений в удобоусвояемую для растений форму (35).

На делянке было 4 куста. Повторность в опыте — четырехкратная. Под опытом был сорт Саперави, привитой на подвое *Riparia* × *Rupprestris* 101¹⁴.

Возраст насаждений — 4 года.

Таблица 14

В виду глубоко залегающей корневой системы виноградной лозы удобрения вносились на глубину 30—35 см. Для этого предварительно выкапывались ямы вокруг виноградных кустов шириной в 120 см, стараясь не повреждать корневую систему, и удобрения распределялись на дне ямы, а потом ямы снова закрывались. Таким способом внесены были все удобрения, за исключением серной кислоты, которая была внесена с поверхности почвы.

Удобрения внесены были 29/IV 1934 г. Почва опытного виноградника в продолжение вегетации поддерживалась под черным паром.

В конце вегетации (14/XI) для учета влияния удобрений нами были произведены анализы почвы и листьев лозы, результаты которых приводятся ниже.

Нитратный азот (табл. 15) в большом количестве представлен, как следовало ожидать, на делянке, удобренной сульфатом аммония.

Таблица 15

Количество нитратного азота в мг на кг абсолютно-сухой почвы

Глубина в см	Наименование удобрений								
	MgO	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	FeSO_4	K_2O	супер-фосфат	навоз	навозная жижа	H_2SO_4	контроль
0—20	13.5	8.6	5.3	8.2	4.3	3.5	3.7	9.4	3.3
20—40	8.7	16.9	6.4	5.2	4.0	2.6	3.6	5.4	2.5
40—60	5.8	11.0	8.6	3.3	3.3	2.3	2.5	3.4	2.7
60—100	4.8	13.4	2.3	1.4	—	2.0	2.1	2.3	1.0

Кроме сульфата аммония, на накопление нитратного азота благотворно влияли магний, железо, серная кислота и калийное удобрение. Что же касается навоза, навозной жижи и суперфосфата, то их роль в накоплении нитратного азота оказалась или слабой, или нулевой.

Таблица 16

Количество гидролизующего азота в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Глубина в см	Наименование удобрений								
	MgO	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	FeSO_4	K_2O	супер-фосфат	навоз	навозная жижа	H_2SO_4	контроль
0—20	3.9	7.4	4.6	4.6	4.6	4.7	3.3	4.7	4.7
20—40	2.8	8.1	4.9	2.8	3.9	4.0	4.7	3.3	2.3
40—60	2.8	7.4	3.9	2.8	2.8	2.3	4.0	2.3	2.3
60—100	2.1	3.2	1.4	1.4	1.4	2.3	2.3	2.3	1.9

Внесение сульфата аммония также способствовало значительному увеличению гидролизующего азота по всему профилю почвы хлорозного виноградника (табл. 16).

Некоторое увеличение гидролизуемого азота наблюдается на делянках, удобренных железом и навозной жижей, а остальные удобрения по содержанию гидролизуемого азота не отличаются от удобренной делянки.

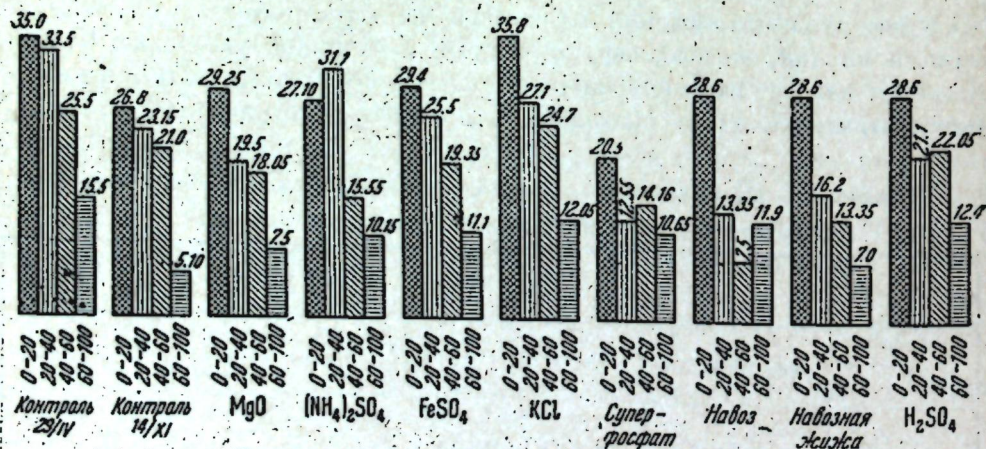
Количество доступного калия на делянке, удобренной 40% K_2O не превышает количества его на контрольной делянке при пробе почвы весеннего срока (29/IV, табл. 17), что объясняется, как выше отмечалось, частичным поступлением калия в растение, а главное, — поглощением его почвой (41).

Таблица 17

Количество доступного калия в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы
Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Глубина в см	Наименование удобрений									
	MgO	(NH ₄) ₂ SO ₄	FeSO ₄	K ₂ O	супер- фосфат	навоз	навоз- ная жидка	H ₂ SO ₄	контроль	
									20/IV	14/XI
1—20	29.3	27.1	29.4	35.8	20.3	28.6	28.6	28.6	35.0	26.8
20—40	19.5	31.7	27.5	27.1	12.6	13.4	16.2	21.1	33.5	23.2
40—60	18.1	15.6	19.4	24.7	14.6	7.5	13.4	22.1	25.5	21.0
60—100	7.5	10.2	11.1	12.1	10.6	11.9	7.0	12.4	15.5	5.1

Кроме удобренной калием делянки, повышенное содержание усвояемого калия наблюдается на делянках с H_2SO_4 , $FeSO_4$ и $(NH_4)_2SO_4$ (фиг. 6). Доступный калий определялся вытеснением ацетатом аммония.



Фиг. 6. Количество доступного калия в мг на 100 г почвы.

Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями.

Содержание подвижной фосфорной кислоты в 0.2л растворе соляной кислоты возросло по всему профилю почвы, удобренной суперфосфатом от 2.5 до 3.5 раз (табл. 18) по сравнению с удобренной делянкой. На

увеличение подвижности фосфорной кислоты в хлоротичной почве, кроме суперфосфата, подействовало в сильной степени внесение железа, серной кислоты и частично навоза и магния, что ясно видно на фиг. 7.

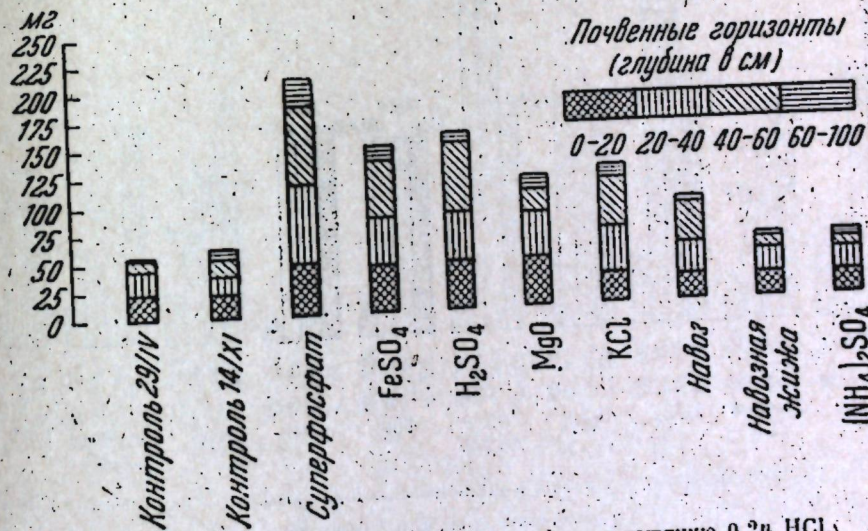
Таблица 18

Количество P_2O_5 в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы в вытяжке 0.2л HCl

Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Глубина в см.	Наименование удобрений									
	MgO	(NH ₄) ₂ SO ₄	FeSO ₄	K ₂ O	супер- фосфат	навоз	навоз- ная жидка	H ₂ SO ₄	контроль	
									14/XI	29/IV
0—20	40	20	40	24	48	20	20	45	20	20
20—40	40	20	40	40	70	30	20	44	18	20
40—60	20	10	50	48	70	36	10	60	18	10
60—100	8	6	10	10	20	6	6	8	6	следы

Подвижность P_2O_5 в растворе щавелевокислого аммония дает ту же самую картину (табл. 19, стр. 154), что в растворе 0.2л соляной

Фиг. 7. Количество P_2O_5 в мг на 100 г почвы в вытяжке 0.2л HCl.
Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

кислоты, но с той лишь разницей, что показания содержания P_2O_5 выше в растворе щавелевокислого аммония, в виду его более энергичного действия на почву как растворителя.

Кроме того, в растворе щавелевокислого аммония не видно влияния магния на мобилизацию P_2O_5 , как это имело место в растворе 0.2л соляной кислоты. Благоприятное действие железа, серной кислоты, калия и навоза на переход труднорастворимой формы фосфорной кислоты

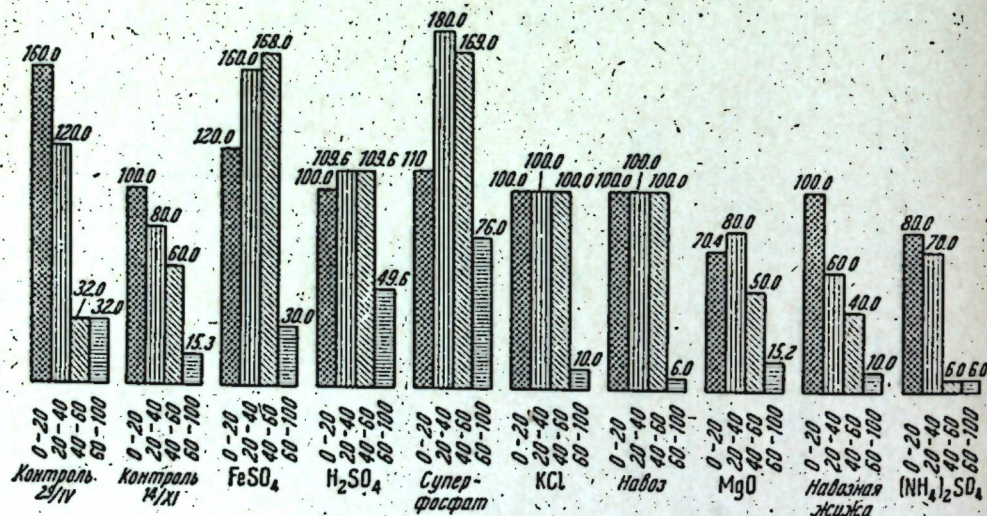
в подвижную также ясно видно в растворе щавелевокислого аммония (фиг. 8). Но среди всех удобрений после суперфосфата особенно сильно влияет

Таблица 19
Количество P_2O_5 в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Глубина в см	Наименование удобрений								
	контроль		$FeSO_4$	H_2SO_4	суперфосфат	MgO	K_2O	навоз	$(NH_4)_2SO_4$
	29/IV	14/XI							
0—20	160	100	120	100	160	70	100	100	80
20—40	120	80	160	110	180	80	100	100	70
40—60	32	60	163	110	169	50	100	100	6
60—100	32	15	30	56	76	15	10	6	10

на подвижность фосфорной кислоты в хлоротичной почве железный купорос, что, повидимому, находится в связи с кислотностью удобрения.



Фиг. 8. Количество P_2O_5 в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г почвы. Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Данные анализов содержания железа в почве хлорозных участков (табл. 20) показывают, что внесение железного купороса резко повысило его количество во всех горизонтах почвы.

На мобилизацию его в почве участков с хлорозом частично влияли также серная кислота (в верхних слоях почвы), сульфат аммония (особенно в слое 20—40 см) и суперфосфат (в слое в 40—60 см).

Действие этих удобрений на подвижность железа в почве, повидимому, находится в связи с подкислением почвы, вызываемом внесенными удобрениями. Это подтверждается тем, что увеличение количества железа

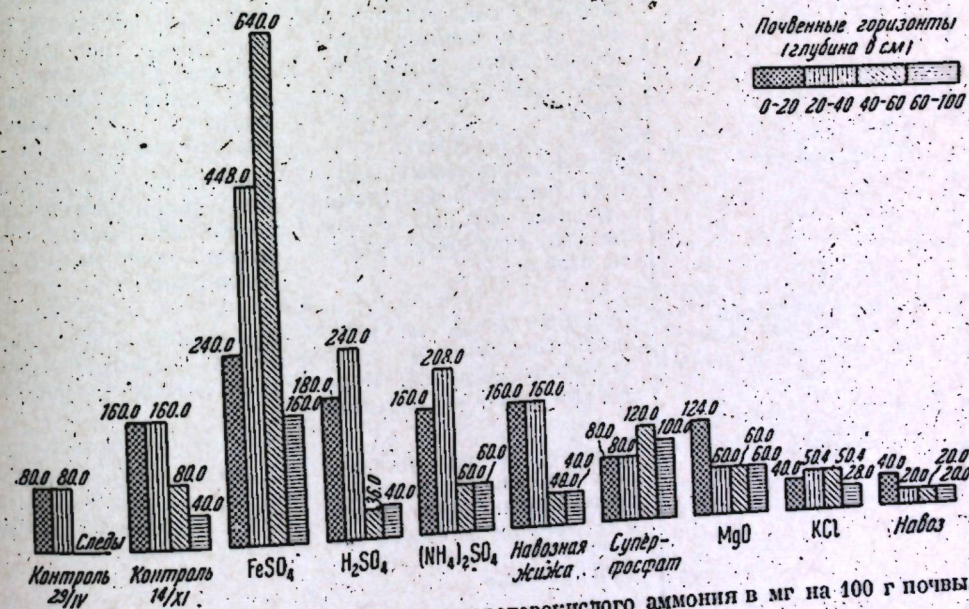
Таблица 20

Количество Fe^{+++} в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г абсолютно-сухой почвы

Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Г л у б и н а в см	Наименование удобрений									
	контроль		FeSO ₄	H ₂ SO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	навоз- ная жидка	MgO	супер- фосфат	K ₂ O	навоз
	29/IV	14/XI								
0—20	80	160	240	180	160	160	124	80	40	40
20—40	80	160	448	240	208	160	60	80	50	20
40—60	следы	80	640	36	60	40	60	120	50	20
60—100	следы	40	160	40	60	40	60	100	28	20

наблюдается только в тех слоях почвы, где были внесены и имели сопряженное с почвой удобрения. Что же касается других видов удобрений (магний, калий, навоз и навозная жижка), то они не только не повысили подвижности железа в почве, но даже способствовали закреплению железа почвой (фиг. 9).



Фиг. 9. Количество Fe^{+++} в растворе щавелевокислого аммония в мг на 100 г почвы. Хлорозный виноградник; опыт с удобрениями

Для учета влияния удобрений на хлоротичные лозы нами проводились фенологические наблюдения, результаты которых сведены в табл. 21. При рассмотрении этой таблицы видно, что только два удобрения — навозная жижка и железный купорос — повлияли положительно на больные лозы. Наиболее положительное действие оказала навозная жижка,

Фенологические

Удобрения	6/VI	29/VII
1. Контроль	Мелкие желтовато-беловатые с краев обожженные листья. Рост кустов слабый	Желтые с беловатыми полосами и пятнами, захудалые листья
2. MgO	Старые листья беловатые, частично обожженные. Молодые листья частично зеленые, частично обожженные. Рост побегов замедляется	Половина листьев пожелтевшие с белыми пятнами, а остальные 50% имеют зеленый, едва пожелтевший цвет
3. FeSO ₄	Половина листьев с вполне нормальным цветом, а остальные 50% имеют желтоватые листья. Рост побегов замедлен	70% листьев имеют нормальный цвет, а остальные 30% имеют слабо желтый цвет. Заметно развитие побегов и рост кустов
4. K ₂ O	Молодые листья мелкие и все имеют желтый цвет, старые листья недоразвитые, желтовато-белого цвета	Молодые листья желтоватого цвета, но рост их и побегов усиливается. Старые листья попрежнему остались желтоватыми и местами имеют ожоги
5. Суперфосфат	Листья очень слабые, мелкие, желтые с беловатым оттенком, частично обожженные. Рост побегов весьма слабый	Заметно некоторое улучшение окраски листьев. Старые листья желтоватые с беловатым оттенком. Рост побегов замедлен
6. Навозная жижа	Молодые листья на 85% позеленели. Листья нормально развиваются. Рост побегов довольно сильный	Молодые и старые листья на 85% зеленые. Хороший рост побегов и листьев
7. (NH ₄) ₂ SO ₄	Молодые листья мелкие, беловато-желтые, частично обожженные. Старые листья с беловатыми полосами зеленоватого цвета. Кусты слабо развиты	Хлороз почти такой же силы, как при наблюдении 6/VI. Развитие побегов слабо заметно
8. Навоз	Очень мелкие обожженные желтые листья. Кусты слабо развиты	Беловато-желтые обожженные и слабо развитые листья. Рост слабый
9. H ₂ SO ₄	Листья желтые с белыми пятнами, с обожженными краями	Сильный хлороз. Кусты слабо развиты

наблюдения

Таблица 21

18/VIII	Результаты
Обожженные с краев мелкие желтовато-белые листья. Рост побегов не замечается. Некоторые кусты засохли	Сильный хлороз. К осени 1934 г. и к весне 1935 г. много кустов засохло
Маленькие молодые листья на 60% обожженные, а остальные листья имеют зеленовато-желтый, с белыми пятнами цвет	Хлороз не прошел. Весной 1935 г. лозы сильно страдали от хлороза
На 85% листья обладают нормальным цветом, а остальные листья слабо желтоватые. Побеги значительно пошли в рост и кусты начинают принимать нормальный вид	Влияние железного купороса было ясно заметно в первом же году. Листья позеленели на 85% и кусты нормально стали развиваться. В 1935 г. также заметно улучшение кустов.
Сильно замедлен рост побегов, но листья попрежнему имеют желтый цвет	Внесение калия способствовало росту, но не изменило окраску листьев
Рост листьев и побегов ярко выражен. Цвет листьев на 50% зеленоватый, а остальные желтовато-белые с обожженными краями	Заметно было некоторое улучшение, но в основном лозы сильно страдали от хлороза. К весне 1935 г. несколько кустов засохло
Молодые листья на 95% зеленые, а старые листья частично желтоватые. Рост побегов нормальный. Лозы приобрели нормальный вид	В первом же году сильный эффект выразился в хорошем росте кустов и позеленении листьев на 95%. Весной 1935 г. кусты хорошо развились, но некоторая, весьма слабая хлоротичность наблюдалась
Некоторое улучшение заметно в росте побегов, но хлороз остался такой же силы	Хлороз не прошел, хотя некоторое улучшение замечалось. К весне 1935 г. засохли 2 куста
Сильный хлороз. Наблюдается угнетение некоторых кустов	Хлороз не прошел, а на некоторых кустах даже усилился. В 1935 г. весной выпало много кустов
Улучшений нет	Сильно хлоротичные обожженные листья. В 1935 г. кусты сильно поражены хлорозом и имеют чахлый вид

благодаря ей почти все желтовато-белые листья получили зеленый цвет, и кусты сильно пошли в рост. Второе место по исправлению больных хлорозом лоз занял железный купорос, хотя полного позеленения листьев при этом не наблюдалось, но рост лоз начал принимать нормальный вид.

Эффект действия навозной жижи и железного купороса на хлоротичные лозы ясно представлен на фиг. 10.

Что же касается других видов удобрений, то следует отметить, что некоторые из них, например калий, сульфат-аммоний и частично суперфосфат, несколько повлияли на развитие побегов, но не изменили окраски листьев.

Из минеральных удобрений на окраску и рост лоз более благоприятно повлиял аммоний.

Навоз оказал скорее отрицательное влияние: он ускорил гибель хлоротичных кустов. Отрицательное влияние навоза должно быть вызвано увеличением количества CO_2 в почве, которая и без того содержит большое количество ее.

Серная кислота и магний не оказали никакого эффекта на больные хлорозом лозы.

Несмотря на довольно большую дозу внесенного магния (200 кг на га) при нашем опыте он не дал того улучшающего действия, какое ему приписывают за последнее время многие исследователи (21, 22, 23).

Более сильное влияние оказали удобрения на химический состав хлоротичных лоз; данные этих анализов приведены в табл. 22.

Таблица 22

Химический состав листьев сорта Санерави хлорозного виноградики

Наименование удобрений	N	Процентное содержание отдельных элементов в золе					
		зола	Fe ^{III}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Контроль	1.2	12.6	0.025	0.61	0.95	1.78	0.26
FeSO ₄	0.5	14.5	0.030	0.35	0.12	2.52	0.40
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5	14.5	0.025	0.23	0.16	2.60	0.40
Навоз	0.5	15.9	0.025	0.20	0.12	2.50	0.40
Навозная жижа	0.4	9.3	0.032	0.17	0.11	2.25	0.30
K ₂ O (40% соль)	0.5	16.3	0.026	0.21	0.12	2.63	0.35
Суперфосфат	0.6	14.1	0.024	0.17	0.16	2.60	0.40

Из удобрненных делянок наименьшее количество азота и фосфора содержат листья делянки, удобрненной навозной жижей. Наименьший процент золы получился в листьях лоз с делянки, удобрненной навозной жижей, а наибольший — в листьях лоз, удобрненных калием.

Надо отметить, что процентное содержание золы в листьях лоз всех удобрненных делянок, за исключением делянки с навозной жижей, значительно больше, чем в листьях лоз контрольной делянки.



Фиг. 10.

а) Виноградная лоза, сильно пораженная хлорозом. б) Хлоритичная лоза, удобрненная FeSO₄. в) Хлоритичная лоза, удобрненная навозной жижей. г) Здоровая виноградная лоза (контроль)

Содержание калия в золе листьев лоз удобренных делянок по сравнению с контрольной делянкой также значительно понижено. Наименьшее количество калия получилось в листьях лоз на делянке с навозной жижей.

Процент железа в золе листьев лоз одинаков почти на всех удобренных делянках с контрольной делянкой; некоторое, хотя и незначительное, повышение железа имеют листья лоз на делянках, удобренных навозной жижей и железным купоросом. Повидимому, этому явлению частично и следует приписать улучшение цвета хлоротичных листьев и лучшее развитие лоз на этих делянках.

Количества Са и Mg резко увеличиваются на всех удобренных делянках. Опять-таки наименьшее содержание обоих элементов мы находим в листьях лоз с делянки, удобренной навозной жижей.

Сравнивая данные анализов листьев, взятых при сильном проявлении хлороза (6/VI, табл. 13), с данными анализов листьев, взятых осенью (14/XI, табл. 22), видно, что количество азота, фосфорной кислоты, калия и железа сильно уменьшилось в листьях хлоротичных лоз к осени, но процент золы и содержание в ней Са и особенно Mg в больных хлорозом листьях значительно повысились осенью.

В заключение надо отметить, что несмотря на положительный эффект навозной жижи и железного купороса, выделившихся среди других удобрений по исправлению сильно больных хлорозом лоз, их трудно применять широко в производственной практике; во-первых, из-за трудностей внесения их на глубину 30—35 см; кроме того, внесение жижи является громоздким мероприятием, так как она должна вноситься в большом количестве. Поверхностное же внесение навозной жижи, а особенно железного купороса, едва ли даст эффект из-за перевода легкорастворимых форм железа в трудно усвояемые для растений формы, под влиянием значительных количеств извести почв. Кроме того, чтобы окончательно исправить хлоротичные лозы на сильноизвестковых почвах, понадобятся частые внесения названных удобрений, и притом в больших количествах, что может оказаться во многих случаях не рентабельным для хозяйства. Во всяком случае, эти удобрения можно рекомендовать только после тщательного изучения их рентабельности применительно к каждому конкретному случаю. Более целесообразным для сильноизвестковых почв следует считать подбор таких подвоев, которые переносят большие количества извести в почве (гибриды Берландиери). В случае проявления частичного хлороза на лозах, привитых на подвое Берландиери, необходимо периодически применять навозную жижу и FeSO_4 , имея в виду, что они потребуются при указанных подвоях в значительно меньших количествах, чем тогда, когда эти удобрения берутся как единственное средство борьбы с хлорозом.

Особенно эффективными надо считать обмазывание ран после обрезки винограда раствором железного купороса.

Выводы

1. Усиленное проявление хлороза виноградной лозы наблюдается на хлорозных виноградниках перегнойно-карбонатных почв в месяцы с большим количеством атмосферных осадков (май, июнь и июль).

2. Хлороз виноградника находится в прямой зависимости от количества CaCO_3 в почве и от скорости его разложения. Отношение перегнойно-карбонатных почв к хлорозу виноградной лозы выражается коэффициентом подвижности извести, который определяется формулой:

$$x = \frac{a \cdot b}{n}; a — \text{см}^3 \text{CO}_2 \text{ при нормальных условиях температуры и давления,}$$

$b = \% \text{CaCO}_3$; n — число секунд действия 25% винной кислоты на 0.5—1 г почвы. При коэффициенте до 15 хлороза нет, а от 15 до 30 — он слаб, при 30 и выше — сильный хлороз.

3. Содержание CO_2 в почвенном воздухе хлорозного виноградника во много раз превышает количество CO_2 почв воздуха здорового виноградника.

4. При разложении CaCO_3 25% винной кислотой наивысший коэффициент хлорозности почвы хлорозного виноградника получается для первых 15 секунд, в дальнейшем он падает и в конце реакции разложения CaCO_3 равняется приблизительно одной трети первоначальной величины.

5. Почвы здоровых и больных виноградников имеют следующие отличия в их химизме:

а) в почве хлорозного виноградника содержание гидролизующего азота гораздо меньше, чем в почве здорового;

б) количество нитратного азота в почвах как хлорозных, так и нехлорозных виноградников в продолжение вегетации незначительно;

в) количество доступного калия на почвах пораженных хлорозом участков с весны к лету падает и осенью увеличивается; на здоровых участках таких колебаний нет;

г) динамика доступной P_2O_5 почвы как при хлорозе, так и без него выражается очень слабо. Доступной P_2O_5 больше в почве здорового виноградника, чем пораженного хлорозом. Изменения количества фосфорной кислоты за вегетацию ясно проявляется только в вытяжке щавелевокислого аммония. Содержание этой формы P_2O_5 уменьшается с весны к осени;

д) с усилением хлороза железо в почвенной вытяжке щавелевокислого аммония резко падает с весны к лету и осенью сильно возрастает.

е) данные водной вытяжки по сухому остатку общей щелочности и pH почв хлорозных и нехлорозных виноградников очень близки. Начиная с весны и до осени происходит увеличение сухого остатка. Осенью возрастает количество органических веществ;

ж) pH почвы здорового и больного виноградника за период вегетации изменяется крайне слабо;

6. Влажность почвы вполне достаточна как на здоровых, так и на больных виноградниках.

7. В листьях хлорозных лоз (Ркацители и Саперави) золы больше, чем в листьях здоровых лоз. Листья хлорозных лоз богаче азотом, фосфорной кислотой и калием. Общее содержание Fe^{+++} в листьях нельзя увязать с хлорозом; pH сока листьев и побегов больных хлорозом лоз значительно выше, чем здоровых.

8. Удобрения вызвали такие изменения в почве:

а) повышение гидролизуемого азота на делянках с $(NH_4)_2SO_4$, $FeSO_4$ и навозной жижей; нитратный азот увеличивается при всех удобрениях, но больше всего на делянках с $(NH_4)_2SO_4$, MgO , $FeSO_4$ и H_2SO_4 ;

б) увеличение количества P_2O_5 в почве больных участков наблюдалось не только на делянках с суперфосфатом, но и на делянках с $FeSO_4$, H_2SO_4 , K_2O и навозом;

в) доступный калий повышается на делянках с K_2O , H_2SO_4 , $FeSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$;

г) на мобилизацию подвижного железа по всему профилю почвы, кроме $FeSO_4$, влияют серная кислота, сернокислый аммоний и суперфосфат.

9. В листьях удобренных лоз, по сравнению с контрольными, количество азота, фосфорной кислоты и калия резко понизилось, а содержание извести и магния повысилось.

Наименьшее содержание N, P, K обнаружено в листьях лоз на делянке, удобренной навозной жижей.

Содержание золы в листьях — наименьшее у лоз делянки с навозной жижей; листья остальных удобренных делянок содержат золы больше, чем листья контрольной делянки.

10. На сильно пораженные хлорозом лозы из всех испытанных удобрений только навозная жижа и железный купорос оказали сильное благоприятное действие и на позеленение листьев, и на рост кустов лозы. При навозной жиже получилось 95% позеленения листьев, при $FeSO_4$ — 85%.

Внесение фосфорной кислоты, сернокислого аммония и калия способствовало лишь незначительному увеличению роста виноградных кустов; не изменяя при этом желтой окраски листьев.

11. Основной мерой борьбы с хлорозом следует считать подбор подвоев, переносящих большие количества извести почвы, как например гибриды Берландиери.

A. KIRSANOV, A. SANIKIDSE and T. BAKRADSE

THE INFLUENCE OF THE NATURE OF SOILS AND FERTILIZERS ON CHLOROSIS OF GRAPEVINE

Summary

1. An increase of vine-chlorosis is observed in chlorosous vineyards on humus-carcareous soils in may, june and july, i. e. just at the time of the highest atmospheric precipitation.

2. The vine-chlorosis directly depends upon the quantity of $CaCO_3$ in the soil and from its rate of desintegration. The relation of the calcareous

soils to the chlorosis of the vine is expressed by the lime mobility coefficient, defined by the following formula: $x = \frac{a \cdot b}{n}$; a — $cm^3 CO_2$ by normal temperature and pressure conditions; b — % $CaCO_3$; n — the number of seconds of 25% — tartaric acid effect on 0.5—1 gr of soil. At a coefficient as high as 15 there is none chlorosis, from 15 to 30 it is observed in a small degree, at 30 and higher — there is a strong increase of chlorosis.

3. The contents of CO_2 in the soil-air of a chlorosous vineyard is much higher than that of a sound vineyard soil-air.

4. In the course of desintegration of $CaCO_3$ by 25% — tartaric acid the highest chlorosis coefficient of a chlorosous vineyard soil is observed during the first 15 seconds, later on it subsides and at the end of the reaction with $CaCO_3$ it is approximately equal to one third of the initial quantity.

5. The difference of the chemical characteristics of sound and diseased vineyard soils is as follows:

a) The hydrolysed nitrogen contents of a chlorosous vineyard soil is much less than that of a sound soil.

b) The quantity of nitrate nitrogen in the soils of chlorosous as well as sound vineyards is insignificant throughout the process of vegetation.

c) The quantity of available potassium in chlorosous soils decreases from the spring to the summer and increases again in autumn; no such fluctuations are observed in sound soils.

d) The dynamics of the available P_2O_5 in the soil is equally and insignificant in the presence of chlorosis and without it. The quantity of available P_2O_5 in the soil of a sound vineyard is greater than in that of a chlorosous one.

Changes in the quantity of phosphoric acid in the course of vegetation are clearly noticeable only in the extract of ammonium oxalate. The contents of this form of P_2O_5 in the soil is decreasing from spring to autumn.

e) With the increase of chlorosis, the Fe-contents in the ammonium oxalate extract is diminished during the spring and summer time and increases again in autumn.

f) The water soil extract data for a dry residue, the total alkalinity and pH are almost identical for chlorosous and sound soils. From the spring and till autumn there is observed an increase of the dry residue. In autumn there is an increase of the organic substance.

g) The pH value of sound and chlorosous soils changes very little during the period of vegetation.

6. The quantity of moisture is quite sufficient in sound as well as in chlorosous vineyards.

7. The ash contents of the foliage of chlorosous vine-shoots (Rkatziteli and Saperavi) is greater than that of sound vine-shoots.

The foliage of chlorosous vine-shoots is richer in nitrogen, phosphoric acid and potassium.

The total Fe-contents of the foliage is not correlated with chlorosis.

The value of pH in the sap of the leaves and shoots of chlorosous vine is much greater than in sound vine.

8. Fertilization caused the following modifications of the soil:

a) An increase of the quantity hydrolysed nitrogen at the plots with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, FeSO_4 and liquid manure; the contents of nitrate nitrogen is increased by all kinds of fertilizers, most of all at plots with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, MgO , FeSO_4 and H_2SO_4 .

b) An increase of P_2O_5 contents in chlorosous soils was observed not only at plots with superphosphate but also at plots with FeSO_4 , H_2SO_4 , K_2O and manure.

c) The quantity of available potassium increases at plots with K_2O , H_2SO_4 , FeSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

d) Sulphuric acid, ammonium sulphate and superphosphate effect the mobilization of active Fe along the whole soil profile.

9. In the foliage of fertilized vine the quantity of nitrogen, phosphoric acid and potassium is strongly reduced and the lime and magnesium contents is increased as compared with the control-vine-shoots.

The least quantity of N, P, K is observed in the vine-leaves at the plot with liquid manure.

The least ash-contents in the vine-leaves was observed at the plot with dung-wash; the leaves of other manured plots contain more ash than the leaves of the control plot.

10. Of all the fertilizers used in our experiments only liquid manure and green vitriol showed a very favourable effect on the vine-shoots severely attacked by chlorosis, bringing forth an intense greening of the leaves and a noticeable growing of the vine-shoots. By using liquid manure the greening of leaves was brought to 95%, by using FeSO_4 — 85%.

The introduction of phosphoric acid, ammonium sulphate and potassium brought forth only a very insignificant growth of the vine without changing the yellow coloring of the leaves.

11. The selection of suitable wilding enduring to great quantities of lime, as for instance, Berlandieri's hybrids, must be regarded as the most essential measure to be taken against chlorosis.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельник С. А. Вестник виноградарства и виноделия, 1926.
2. Ковалев Н. Е. Труды Анапской оп. ст., в. 7, 1930.
3. Саникидзе А. О. Почвы виноградных районов Кахетии (рукопись 1934 г.).
4. Viala Pierre. Les Maladies de la Vigne, Paris, 1893.
5. Houdaille F. et Semichon L. Rev. de Vit., v. II, 1893.
6. Фокс Г. Полный курс виноградарства, 1904.
7. Molz E. Dr. Zentralblatt für Bakt., II Abt., B. XIX, 1907.
8. Perold A. I. A Treatise on Viticulture, London, 1927.
9. Наумов Н. А. Фитопатология, 1923.
10. Treiz. Wein und Rebe, 10 Jahrg., № 3, 1928, S. 139.
11. Armet H. Le Progrès Agr. et Vit., № 35, 1931.
12. Ravaz L. Le Progrès Agr. et Vit., № 35, 1931.

13. Ehrenberg. Landw. Jahrb., IX, 1919.
14. Bourcart. Contr. fr. Montana State College, Agr. Exp. St., Paper, № 14, Journ. Series, 1931.
15. Burke Edm. Plant Physiology, № 7, 1932.
16. Wann F. B. Chlorosis, Yellowing of Plants, Circ., 85, 1930.
17. Bennett J. P. Univ. of Calif. College of Agr., Agr. Exp. St. Berkeley, California, Circ., 321, 1931.
18. Zacharewicz Ed. Le Progrès Agr. et Vit., № 34, 1934.
19. Goimard A. Le Progrès Agr. et Vit., № 21, 23, 1934.
20. Loew. Flora, 92, 489, 1903.
21. Jones J. P. Journal of Agr. Research, v. XXXIX, № 11, 1929.
22. Dumont J. Les engrais magnesiens basiques, 1934.
23. Dr. Armagnac. Revue de Viticulture, № 2068, 2070, 1934.
24. Vilain A. et Ch. La crise économique mondiale, 1935.
25. Gilbert B. E. a. Mclean F. T. A Deficiency disease, 1928.
26. Chapman G. W. The New Phytologist, v. XXX, № 4, 1931.
27. Школьник М. Доклады Академии Наук СССР, т. I, № 3, 1934.
28. Шестаков А. Г. и Швыденков В. Г. Химизация соц. земл., № 6, 1934.
29. Mann. Soil Science, 1930.
30. Хализев А. А. и Ремезов Н. П. Хим. соц. земл., № 3, 1933.
31. Проф. Бобко и Белоусов. Хим. соц. земл., № 3, 1934.
32. Кедров-Зихман и Кедрова-Зихман. Хим. соц. земл., № 12, 1934.
33. Гамкрелидзе. Хим. соц. земл., № 10, 1934.
34. Катальмов М. В. Хим. соц. земл., № 2, 1935.
35. Заев П. П. Влияние кислотности, обыкновенного чернозема на урожай озимой ржи и пшеницы. Труды ЛОБИУАА, 1932.
36. Marsh a. Shaib. Botan. Gazette, ЛОБИУАА, № 79, 1925.
37. Демонтович М. К. Из результатов опытов и лабораторных работ, т. XII, 1920.
38. Севрюков А. А. Сборник, посвященный Тапрову, Одесса, 1925.
39. Schertz F. M. Plant Physiology, v. IV, № 2, 1929.
40. Рессель Э. Д. Почвенные условия и рост растений, 1931.
41. Dr. Jacob A. Journal für Landwirtschaft, H. 4, 1932.

М. М. КОНОНОВА

ВЛИЯНИЕ ОБМЕННЫХ ОСНОВАНИЙ НА ПРОЦЕССЫ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ¹

(Из работ Биохимической лаборатории Почвенного института Академии
Наук СССР)

В настоящее время всеми принято положение, что значительную роль в плодородии почв играет органическое вещество, и одним из средств повышения производительности почв являются правильный севооборот и органические удобрения. Отсюда понятен тот интерес, который в последние годы проявляется к изучению органического вещества самой почвы и тех изменений, которым оно подвергается в результате применяемых агромероприятий, как обработка, внесение удобрений, севооборот, мелиорация, орошение и т. д.

Однако, нужно сознаться, что в этой области еще много неясных сторон. В частности, в разделе работ по влиянию тех или иных факторов на процессы разложения органического вещества в почве наиболее выяснено влияние температуры, влажности, реакции среды, природы разлагающегося органического вещества [о влиянии на разложение органического вещества в целом — работы Wollny (3); Stoklasa (30); Russel a. Appleyard (29); van Suchtelen (40); Waksman (4)]. Однако, такой вопрос, как влияние минеральной части почвы на интенсивность и характер разложения органического вещества, представлен лишь несколькими работами и до сих пор остается мало разработанным. Между тем, он имеет исключительный интерес, ибо природа органического вещества и процессы превращений его в тех или иных почвенных типах, помимо чисто климатических факторов, в значительной мере определяются минеральным составом почв. Этот вопрос в настоящее время приобретает особое значение еще и потому, что ряд мероприятий, широко применяемых у нас в Союзе, как химическая мелиорация, минеральные удобрения, безусловно отражается на характере разложения органического вещества.

Исключительное внимание исследователей привлекал вопрос о влиянии извести CaCO_3 и CaO на интенсивность разложения органического

¹ В настоящем томе печатается первая часть работы: Действие обменных Н⁺

вещества и его природу; интерес этот вполне понятен, учитывая роль извести в вопросах генезиса почв и повышении плодородия кислых почв путем известкования.

Уже в результате первых работ по данному вопросу наметились резкие расхождения во взглядах. Было установлено накопление больших количеств органического вещества в почвах, образование которых происходило на материнских породах, богатых щелочно-земельными карбонатами, — чернозем, рендзины [Сибирцев (32); Коссович (10); Костычев (12); Hilgard (42) — в отношении гумидных почв]; это заставляло рассматривать известь как соединение, задерживающее разложение органических веществ.

Действительно, в ряде лабораторных экспериментов [Коссович и Третьяков (3); Костычев и Оприлов (12); Wolf (6); Nessler (20); Wollny (3)] по изучению процесса разложения органического вещества в присутствии извести обнаружен отрицательный ее эффект на энергию процесса.

Объяснение задерживающего разложение действия извести было развито Слезкиным (30), базировавшимся отчасти на работах Баракова (1) и Заломанова¹ и, главным образом, на своих собственных наблюдениях, что «продукты разложения растительных остатков, соединяясь с известью, теряют свой коллоидальный характер, темнеют и принимают более плотную консистенцию... органическое вещество, оседая на частицах углекислой извести, обертывает их своими слоями... в этом соединении органическое вещество и сохраняется в почве, не подвергаясь более быстрому разрушительному действию плесневых грибов».

Таким образом, объяснение, что в почвах, развитие которых происходит в присутствии извести, накопление органического вещества есть результат понижения биологической деятельности, вызываемого его переходом в трудно усвояемые микроорганизмами формы, как будто бы имело свои основания. Однако, при более углубленном рассмотрении эта теория имеет ряд слабых сторон.

В самом деле, отрицательное влияние извести было отмечено Слезкиным лишь для группы плесневых грибов; но нельзя забывать, что кроме этой группы в разложении органического вещества принимает самое деятельное участие еще ряд других групп микроорганизмов.

Далее, переход под влиянием извести органического вещества в трудно усвояемые формы был установлен Слезкиным для определенной части органического вещества — гуминовых кислот и уже в достаточной степени произвольно вывод был применен к разложению в присутствии извести свежего органического вещества. Отметим к тому же, что постановка самих опытов, на которых базировались выводы о задерживающем влиянии извести на энергию разложения органического вещества [Коссович и Третьяков (11); Костычев и Оприлов (12); Wolf (6); Nessler (20)], была

¹ Позднее в ряде работ С. П. Кравков также устанавливает коагулирующее действие извести на перегнойные вещества, получающиеся в результате разложения органических веществ (14, 15).

мало удачной, и результаты их едва ли можно было использовать для объяснения явлений, происходящих в природе.

В самом деле, в этих опытах свежее органическое вещество разлагалось вне почвы; в таких условиях, благодаря высокой щелочности, создаваемой при высоких дозах извести, а также благодаря накоплению большого количества продуктов неполного распада органического вещества, известь, понятно, задерживала развитие и деятельность микроорганизмов.

Взгляду на известь как на фактор, тормозящий интенсивность разложения органического вещества, противопоставлялся иной взгляд как на фактор, повышающий энергию этого процесса. Он базировался на наблюдениях над разложением органического вещества, протекающем весьма интенсивно при известковании кислых почв, и имел также ряд доказательств.

Так, в лабораторных опытах при внесении органического вещества в почву в присутствии извести, интенсивность разложения усиливалась [Petersen (22); Lemmerman (16); Lemmerman u. Frezenius (17); Neller (19)]. Затем в ряде работ по разложению органического вещества в почве в присутствии извести было отмечено большее количество подвижного органического вещества, представленного водорастворимой фракцией [З. Кашиин (13); В. Н. Заварицкий (9)], что, по мнению авторов, подтверждало вывод Леваковского (18) об увеличении подвижности органического вещества в присутствии извести и противоречило вышеприведенному выводу Слезкина.

Мы не будем останавливаться на содержании приведенных здесь работ, так как оно достаточно полно изложено в нескольких работах [А. Ф. Тюлин (37, 38); А. А. Роде (28); М. Г. Чижевский (39)]; отметим только, что условия постановки опытов у отдельных авторов сильно варьировали, и потому результаты в различных случаях получались далеко не аналогичные.

Так, мы уже отмечали, что в ряде работ [Wolf (6); Wollny (3); Nessler (20); Оприлов (12); Коссович и Третьяков (11); Заварицкий (9)] органическое вещество разлагалось вне почвы; в других [Lemmerman (16, 17); Petersen (22); Potter a. Snyder (23); Кашиин (13)] разложение его велось в почве.

Исследования в отдельных случаях производились с объектами, глубоко различными по своей химической природе (степное сено, дубовые листья, торф, навоз, ржаная солома, костяная мука) и, следовательно, разлагающимися с различной интенсивностью. Применяемые разными авторами различные дозировки извести безусловно создавали различную реакцию среды и, следовательно, различные условия для биологической деятельности.

Во всяком случае, ясно, что результаты этих работ едва ли могут служить экспериментальным обоснованием установленного в почвоведении взгляда на известь как фактор, способствующий накоплению гумуса в почвах, образовавшихся на материнских породах, богатых щелочно-

земельными карбонатами; они также не расшифровывают роли извести при известковании почв.

С развитием учения о поглощающем комплексе почв, о составе поглощенных оснований и их роли в физико-химических свойствах почвы, связанных с коллоидной ее частью, вопросы о влиянии извести на процессы разложения органического вещества в почве увязываются не только с микробиологическими процессами, но и с физико-химическим воздействием ее на почву — явлениями повышения дисперсности органического вещества под влиянием H , Na , K , Li и др. и коагулирования кальцием.

Мы остановимся на двух работах, выполненных в таком направлении, — А. Ф. Тюлина (38) и А. А. Роде (28).

А. Ф. Тюлин для своих опытов взял почву с Бутырского хутора (подзолистый средний суглинок, рН водной вытяжки 7.0), в нее вносился экстракт из лупина, представлявший собой, по выражению автора, «тонкодисперсный гумус»; в другой серии вместо экстракта лупина вносился тонко измельченный лупин. В третьей серии бралась почва с большой насыщенностью с лесной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии, в нее вносились торф и навоз. Известь вносилась в виде $CaCO_3$, в различных дозировках. Метод учета результатов по воднорастворимому гумусу и учету общего содержания углерода в начале и конце опытов.

В результате автор приходит к заключению, что известь повышала интенсивность разложения органического вещества, однако не во всех случаях. Отсутствие ясных выводов автор объясняет сложной ролью извести в почве, усугубляемой к тому же ограниченностью наших знаний в области химии гумуса почвы, ее микрофлоры и т. д.

А. А. Роде (28) для опытов взял торфянисто-подзолистую почву, с большой насыщенностью, богатую органическими веществами, и чернозем, искусственно лишенный оснований промыванием 0.05*n* HCl , с последующим отмыванием избытка HCl водой; в почвы вносился $CaCO_3$ из расчета на насыщенность их. Учет результатов производился по CO_2 , выделяющейся из органического вещества и воднорастворимому гумусу. Было установлено, что количество выделившейся CO_2 находится в прямой зависимости от количества внесенной извести. Наибольшее количество CO_2 выделяется при внесении в почву $CaCO_3$ в количестве, равном двойному против разлагаемого почвой, т. е. в условиях щелочной среды; при тройном против разлагаемого почвой количестве $CaCO_3$ интенсивность выделения CO_2 уменьшается. К сожалению, эти опыты, произведенные с большой тщательностью, не дают данных по реакции среды, поэтому трудно решить, при каких значениях рН положительное действие извести становится отрицательным.

Далее отмечено, что в длительных опытах ускоряющее действие $CaCO_3$ на процесс разложения в начальный период сменялось задерживающим в последующий!

Автором было отмечено также, что во всех опытах с интенсивным выделением CO_2 воднорастворимого органического вещества было больше.

В свете учения К. К. Гедройца (7) о повышении дисперсности органического вещества при наличии иона H в поглощающем комплексе и коалирующем действии Ca , по мнению А. А. Роде, можно было бы думать, что «чем сильнее органическое вещество распылено (при действии H -иона), тем легче оно должно подвергаться процессам разложения и, наоборот, внося в подзолистую почву известь, мы будем способствовать коагуляции почвенных органических коллоидов и тем самым делать их менее доступными процессам разложения, и что, следовательно, внесение $CaCO_3$ должно эти процессы замедлить».

Отмечая несогласованность с этими предпосылками результатов своих опытов в части повышения количества воднорастворимого органического вещества при наличии извести, А. А. Роде приходит к заключению, что действие извести на почву многообразно, и помимо коагуляций известь вызывает еще целый ряд явлений, как изменение состава микрофлоры, нарушение установившегося в почве химико-физиологического равновесия, вытекающее отсюда превращение устойчивых форм органических соединений в менее устойчивые, более легко разлагающиеся; наличием их в почве объясняется повышение интенсивности разложения, а использованием — наступающее замедление в выделении CO_2 .

Таким образом, в работах А. Ф. Тюлина и А. А. Роде вопрос о действии извести на процессы разложения органического вещества в почве ставится более широко, нежели прежде, затрагивая и физико-химическую сторону взаимодействия извести и органического вещества, но выводы их далеко не исчерпывают поставленных вопросов.

Мы остановимся еще на двух работах, появившихся в последние годы: М. Г. Чижевского (39) и К. Н. Кипзерской (40), выполненной в лаборатории ЛОБИУАА у проф. С. П. Кравкова. Первая работа наиболее близка нам по постановке опытов, и к ней мы перейдем позднее. Теперь же отметим, что в случае почвы, которая предварительно насыщалась H и затем H частично замещался Ca , отмечалась высокая энергия разложения органического вещества.

К. Н. Кипзерская, констатируя тормозящее действие Ca на разложение органического вещества, пользуется для объяснения этого явления уже приведенным выше положением о переводе под влиянием Ca органического вещества в трудно доступную для микроорганизмов форму.

Поставленные нами задачи исследования — изучение влияния обменных H и Ca на процессы разложения органического вещества в почве — самым тесным образом сопрягаются и с вопросами накопления органического вещества в черноземах и с вопросами известкования кислых почв.

Исходя из всей изложенной литературы по данным вопросам мы при постановке нашей работы имели в виду выяснение следующего:

1. Вызывает ли Ca депрессию в разложении органического вещества?
2. Характер тех превращений, которым подвергается органическое вещество в процессе разложения в присутствии Ca .

При постановке опытов мы старались избежать недостатков, имеющих место в процитированных нами работах, в отношении подготовки почв к опытам и методов учета результатов.

В частности, мы сочли необходимым ввести наблюдение над составом микрофлоры и интенсивностью ее развития, ибо во всех работах, приведенных нами, солидное место отводится влиянию извести на микробиологические процессы, делаются предположения о возможном изменении микробиологического населения, о перегруппировках в нем, невыгодно отражающихся на интенсивности разложения, — предположения и заключения, не подтвержденные ни одним микроскопическим наблюдением.

Переходим к изложению экспериментальной части.

1. Подготовка почв для постановки опытов

Для опытов с разложением органического вещества нами были взяты две почвы — обыкновенный тяжело-суглинистый чернозем с Каменно-Степного опытного поля (Воронежская обл.) и слабо подзолистая суглинистая почва с опытного поля Сельскохозяйственного института в Детском Селе, Ленинградской обл. Их характеристика такая (табл. 1):

Таблица 1

Содержание органического вещества и поглощенных оснований в почвах, взятых для опыта

Исследуемые почвы	% С	% N	% органического вещества (С × 1.72)	рН почвы	Поглощенные основания в м.экв. на 100 г почвы		
					Ca	Mg	сумма
Чернозем обыкновенный (Каменная Степь)	4.59	0.40	7.89	7.2	56.0	2.3	58.3
Слабо подзолистая почва (Детское Село)	2.907	0.26	5.00	6.9	18.8	2.7	21.5

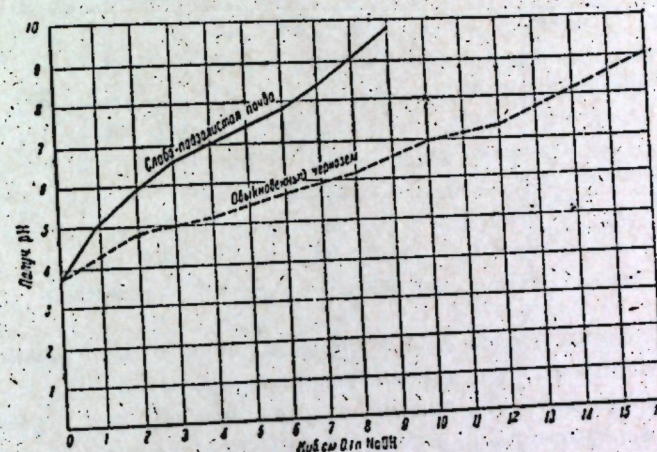
Из почвенных образцов, просеянных через 1-мм сито, отбиралась растительная масса, затем почва порциями в 300—400 г помещалась в воронки диаметром в 15 см с маленькими фильтрами из extra-hard. Таким образом, почва предохранялась от соприкосновения с большой поверхностью фильтровальной бумаги, неизбежно подвергающейся микробиологическому разрушению во время длительного периода вытеснения оснований из больших навесок почвы. Вытеснение Ca и Mg производилось 0.03 N HCl, после окончания которого почва переносилась в коллодийные мешочки и отмывалась от избытка кислоты диализом в проточной дистиллированной воде. Затем почва высушивалась, просеивалась через 1/2-мм сито, и большая часть ее поступала для насыщения кальцием.

Почва, лишенная оснований, отмтая от HCl, имела рН = 3.8. Чижевский (39) в своей работе приводит рН почвы, насыщенной Н = 5.64 и 5.69. Повидимому, в различии рН почв и кроется причина расхождения его вы-

водов как с данными А. А. Роде, так и с результатами наших опытов по действию Н на энергию разложения органического вещества.

Для замещения Н на Са мы готовили насыщенный водный раствор Са(ОН)₂ из СаО (Kahlbaum) и затем прибавляли этого раствора к почвенным образцам по расчету на создание в них определенных значений рН, установленных в предварительном опыте на навесках в 1 г для чернозема и в 2 г для подзола.

Результат этого опыта изображен в виде кривых на фиг. 1.¹



Фиг. 1. Кривые титрования почв 0.1 N NaOH (слабо подзолистая и обыкновенный чернозем)

Неудобство насыщения почв Са в виде Са(ОН)₂ заключалось в том, что для создания высоких рН приходилось прибавлять большие объемы жидкостей, ибо вследствие малой растворимости СаО в воде, концентрация Са в растворе была очень незначительна. В виду этого мы, прибавив к почвенной пробе несколько большие по расчету количества Са(ОН)₂ (примерно на 1/4 объема), тщательно размешивали его с почвой, давали затем хорошенько отстояться в течение 2—3 дней, после чего сливали отстоявшуюся жидкость через стеклянный сифон. Почвы высушивались на воздухе; высушивания даже на водяной бане мы избегали, чтобы не вызвать изменения в легкоподвижных формах органического вещества.

Таким образом был подготовлен ряд образцов для отдельных образцов, дающих уверенность к достаточной тщательности проведения всего процесса подготовки почв к опытам. Смещение рН в течение опыта было незначительным.

В процессе насыщения почв Са при высоких значениях рН могло произойти частичное образование СаСО₃; поэтому количества его учитывались нами в начале и конце опыта путем титрования раствора

¹ Установление градаций рН произведено в Физико-химическом секторе Почвенного института Академии Наук СССР.

NH_4Cl после вытеснения поглощенных оснований (Н. И. Соколов, ¹ И. В. Тюрин²), и соответствующие поправки вводились в результаты опыта.

Таблица 2

Исследуемые почвы	Первоначальное содержание поглощ. оснований Са и Mg в м.-экв. на 100 г почвы	Прибавлено Са в м.-экв. на 100 г почвы	Заданное pH	Полученное pH	pH после окончания опыта
Чернозем обыкновенный (Каменная Степь)	58.3	—	—	3.8	3.9
		26	6.0	5.8	5.6
		48	7.2	6.8	6.1
		60	8.4	8.4	7.8
Слабо подзолистая суглинистая почва (Детское Село) . . .	21.5	—	—	3.8	3.9
		10	6.0	5.2	5.4
		20	7.2	7.1	—
		28	8.4	8.4	8.0

Приготовленные таким путем образцы почв с Н, замещенным частично или полностью Са, с различными грациями pH, были использованы на постановку ряда опытов. В виду того что при первоначальной подготовке была тщательно отобрана растительная масса, мы перед постановкой опыта прибавили на каждую навеску почвы в 100 г по 0.75 г неразложившейся растительной массы в виде степного сена, измельченного и пропущенного через $\frac{1}{2}$ -мм сито; следовательно, наши почвы имели некоторый запас свежего органического вещества, состав которого был определен заранее.

Переходим теперь к опытам по разложению органического вещества.

2. Опыты по изучению влияния обменных Н и Са на энергию разложения органического вещества в почве

Почвенные образцы с различными грациями pH, весом по 100 г, с прибавленным свежим органическим веществом в виде степного сена, увлажнялись до 60% от полной влагоемкости и помещались в колбы Эрленмейера, емкостью в 1 л. В виду того что в процессе приготовления образцов состав микрофлоры должен был измениться, мы при закладке всех опытов на каждую навеску прибавляли по 1 г чернозема в первоначальном виде.

Колбы закрывались каучуковыми пробками с двумя стеклянными трубочками, изогнутыми под прямым углом, из которых одна заканчивалась несколько выше слоя почвы, другая была значительно короче. Система закрывалась резиновыми трубками с металлическими винтовыми

¹ К. К. Гедройц. Химический анализ почв, стр. 214, 1932.

² Там же, стр. 217.

зажимами. После закладки опытов колбы проверялись на герметичность и ставились в термостат при $t^\circ 25-28^\circ\text{C}$. Определение образующейся CO_2 производилось один раз в 5 дней. М. Brown (2) испытывал три метода определения выделяющейся CO_2 : метод непрерывного аэрирования [Waksman a. Starkey (4)], метод определения накопившейся CO_2 через длительные сроки — 6 дней (Smith a. Brown) и комбинированный метод — определение накопившейся CO_2 через каждые 24 часа. Оказалось, что два последние метода дают близкие показатели, причем количество выделяющейся CO_2 при применении этих двух методов больше, чем при непрерывном аэрировании; последнее автор ставит в связь с понижением влажности в опытных сосудах, аэрирующихся непрерывно.

Далее автор установил, что CO_2 не производит отрицательного эффекта на микробиологическое население, если концентрация CO_2 в воздухе опытного сосуда не превышает 12%. В наших опытах только при максимальных величинах CO_2 , образующихся в 5 дней (250 мг CO_2 на объем 1000 см³), мы близки к этому пределу; ¹ таким образом, можно считать с достаточной уверенностью, что условия опыта обеспечивали нормальную деятельность микроорганизмов, разлагающих органическое вещество.

Протягивание воздуха производилось при комнатной t° в цепи, в которой поступающий в колбу через короткое колено трубки воздух освобождался от CO_2 пропусканием через склянку Тищенко с 10% NaOH , от NH_3 — через склянку с 10% H_2SO_4 и затем насыщался водой, проходя через склянку с дистиллированной водой; благодаря этому влажность почвы не изменялась, что было констатировано при проверках. Протягивание воздуха в каждой серии производилось в течение 2 часов с такой скоростью, чтобы за это время через каждую колбу успело пройти 5 л воздуха.

Улавливание CO_2 производилось в двух соединенных последовательно склянках Дрекслера с 0.1л Ва $(\text{OH})_2$; после окончания протягивания колбы наглухо закрывались и ставились в термостат, а количество барита, оставшегося не связанным, оттитровывалось 0.1л HCl .

В табл. 3 мы приводим количество CO_2 , образующейся в течение опыта; на фиг. 2 эти же данные представлены графически.

Результаты этих опытов отчетливо свидетельствуют о прямой зависимости энергии разложения от реакции среды: чем выше значение pH, тем большее количество CO_2 выделяется за все время опыта.

В самом деле, если принять за 100 количество CO_2 , выделившейся за все время опыта из почвы, насыщенной Н, то при введении Са вместо Н получается следующая картина:

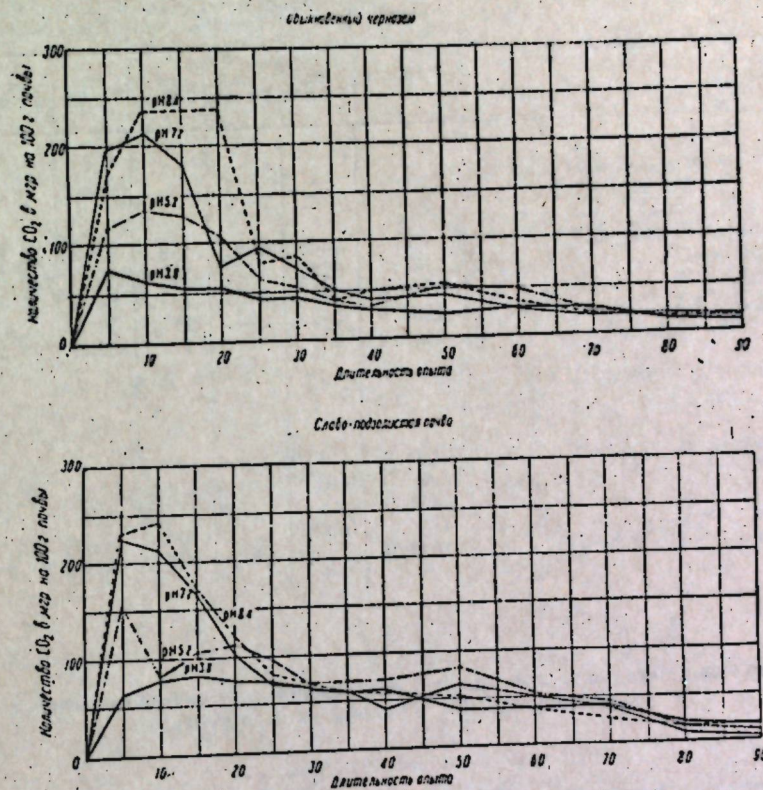
	Слабо подзолистая почва	Обыкновенный чернозем
Почва, насыщенная Н pH=3.8	100	100
Н+Са pH=5.2-5.8	144	163
Н+Са pH=7.1-6.8	156	194
Н+Са pH=8.4	161	232

$$\begin{aligned} & \text{1 Общий объем наших колб} = 1000 \text{ см}^3. \text{ Вес } \text{CO}_2, \text{ занимающей } 12\% \text{ объема} = \\ & = \frac{44 \cdot 120}{22.4 \cdot 1000} = 240 \text{ мг.} \end{aligned}$$

Энергия разложения органического вещества в опытах с обменными Н и Са
(в мг CO_2 на 100 г почвы)

Длительность опыта	Слабо подзолистая почва				Чернозем обыкновенный					
	насыщ. Н рН = 3.8	Н + Са			почва в первонач. виде, рН = 6.9	насыщ. Н рН = 3.8	Н + Са			почва в первонач. виде, рН = 7.2
		рН = 5.2	рН = 7.1	рН = 8.4			рН = 5.8	рН = 6.9	рН = 8.4	
0—5 суток	62.0	156.6	224.1	228.4	234.3	75.9	115.5	196.4	171.0	161.0
6—10 »	75.9	80.4	211.2	240.4	243.2	62.6	134.8	212.5	234.8	187.6
11—15 »	80.4	105.6	164.4	170.0	184.8	55.6	127.6	180.4	234.8	161.6
16—20 »	74.6	112.0	100.8	121.6	168.8	55.6	105.3	77.9	234.9	99.6
21—25 »	79.3	96.4	70.8	80.3	83.6	44.0	64.4	95.7	80.3	66.0
26—30 »	64.4	71.0	63.6	68.6	54.6	45.3	54.6	75.2	87.1	50.2
31—35 »	60.0	72.0	59.2	60.0	62.0	33.8	40.0	50.2	40.0	40.0
26—40 »	40.8	72.6	60.5	58.4	66.4	30.0	34.8	40.7	48.0	33.0
41—50 »	73.6	164.9	126.2	104.6	73.6	47.2	106.6	89.5	108.3	70.4
51—60 »	78.6	108.1	100.8	76.6	110.0	58.4	98.2	57.2	71.3	58.4
61—70 »	73.6	91.8	77.0	52.4	84.4	55.4	48.8	37.2	41.2	64.2
71—80 »	37.0	30.1	20.0	32.6	61.6	25.0	31.2	37.2	31.2	25.0
81—90 »	30.0	22.7	10.0	32.6	32.0	20.0	31.2	31.8	31.2	20.0

В табл. 4 данные представлены в виде количества CO_2 , выделившегося отдельно за каждый месяц, и выражены в процентах от общего количества.



Фиг. 2. Энергия разложения органического вещества в опытах с обменным Н и Са в мг CO_2 на 100 г почвы

Далее мы должны отметить, что при замещении Н на Са наиболее энергичное выделение CO_2 и наиболее резкое различие при различных значениях рН наблюдается в 1-й месяц; во 2-й месяц эти различия значительно сглаживаются, но все же при общем понижении CO_2 в случае почв с Са выделяется большее количество CO_2 , нежели в случае почв, насыщенных Н. Наконец, в 3-й месяц при продолжающемся общем понижении в выделяющейся CO_2 различия между отдельными пробами почти сглаживаются.

Произведенные нами микробиологические исследования, которые приводятся ниже, дают расшифровку изложенным здесь результатам по энергии разложения органического вещества.

Нам хочется еще отметить, что обыкновенный чернозем, лишенный оснований предварительным промыванием HCl и затем доведенный замещением Н на Са до реакции, близкой к первоначальной, дает даже большее количество CO_2 , нежели взятая в неизменном виде почва; это также

Таблица 4

Энергия разложения органического вещества по отдельным периодам опыта

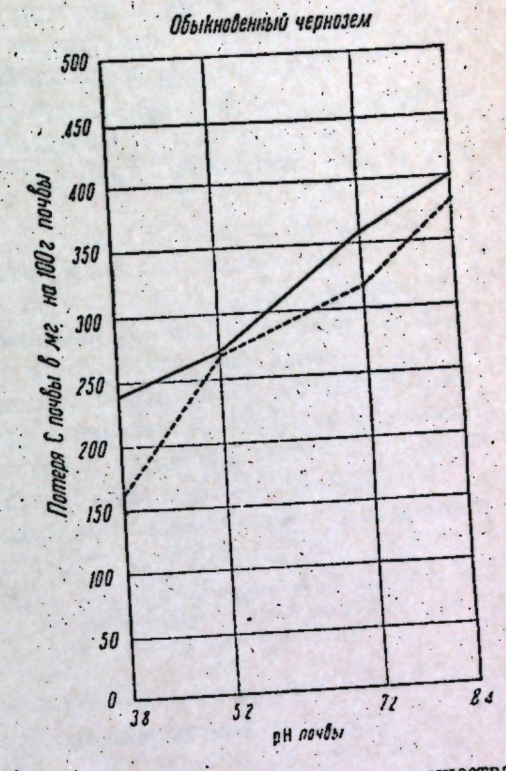
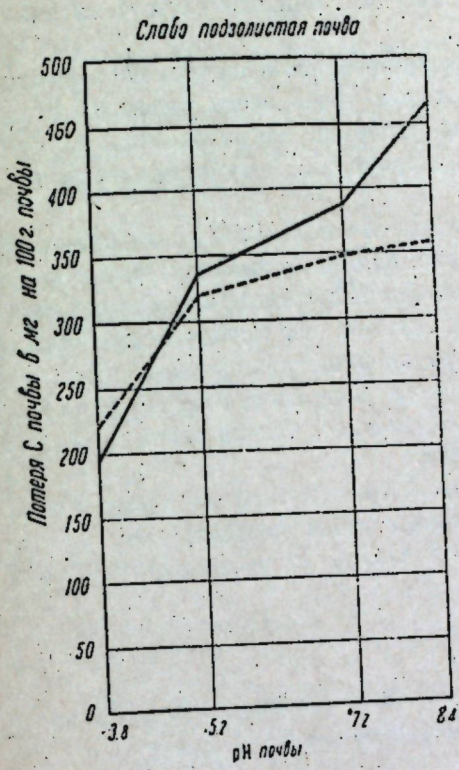
Исследуемые почвы	Всего за 3 месяца	Количество выделив- шейся CO ₂			В % от общего количества		
		за 1-й мес.	за 2-й мес.	за 3-й мес.	за 1-й мес.	за 2-й мес.	за 3-й мес.
Слабо подзолистая почва							
Насыщенная Н рН=3.8	824	430.6	252.8	140.6	52.9	29.8	17.2
Н+Са рН=5.2	1184.2	622.0	417.6	144.6	53.0	35.0	12.0
Н+Са рН=7.1	1288.6	834.9	346.7	107.0	64.4	26.9	8.7
Н+Са рН=8.4	1326.5	909.3	299.6	117.0	68.6	22.6	9.0
В первонач. виде рН=6.9	1459.3	969.3	312.0	178.0	65.0	22.0	13.0
Обыкновенный чернозем							
Насыщенный Н рН=3.8	608.8	339.0	169.4	100.4	55.3	27.9	16.0
Н+Са рН=5.8	993.0	602.2	279.6	111.2	60.6	28.1	11.3
Н+Са рН=6.8	1181.9	838.1	237.6	106.2	71.3	19.6	9.0
Н+Са рН=5.4	1414.1	1042.9	267.6	103.6	73.7	18.9	7.4
В первонач. виде рН=7.1	1037.0	726.0	201.8	109.2	66.8	21.0	12.0

Таблица 5

Сопоставление методов учета энергии разложения органического вещества по выделяющейся CO₂ и потере общего углерода

(в мг С на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	Углерод		Сумма	Содержание С после опыта	Потери С		Разница в методах
	первонач. содерж. в почве	прибавл. в виде раст. мас.			по общ. С	по CO ₂	
Слабо подзоли- стая почва							
Насыщенная Н рН=3.8	2907	270	3177	2980	197	222	— 25
Н+Са рН=5.2 . .	2907	270	3177	2840	337	320	+ 17
Н+Са рН=7.2 . .	2907	270	3177	2790	387	348	+ 39
Н+Са рН=8.4 . .	2907	270	3177	2710	467	358	+109
Обыкновенный чернозем							
Насыщенный Н рН=3.8	4590	270	4860	4620	240	164	+ 76
Н+Са рН=5.8 . .	4590	270	4860	4590	270	268	+ 2
Н+Са рН=6.8 . .	4590	270	4860	4500	360	317	+ 43
Н+Са рН=8.4 . .	4590	270	4860	4410	450	382	+ 68



Фиг. 3. Сопоставление методов учета энергии разложения органического вещества по выделяющейся CO₂ и потере общего С

Таблица 6

Количество образовавшегося CaCO₃ в опытах с разложением органического вещества (в мг на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	До опыта			По окончании опыта		
	CaCO ₃	CO ₂ /CaCO ₃	C/CO ₂	CaCO ₃	CO ₂ /CaCO ₃	C/CO ₂
Слабо подзолистая почва						
Н+Са рН=5.2	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Н+Са рН=7.2	350	156	42	575	252	69
Н+Са рН=8.4						
Обыкновенный чернозем						
Н+Са рН=5.8	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Н+Са рН=6.8	500	220	60	70	30.8	8.4
Н+Са рН=8.4				590	260	70.8

имеет свои объяснения, изложенные ниже (см. влияние Са и Н на разложение органического вещества, п. 5).

Метод учета энергии разложения органического вещества по выделяющейся CO_2 нами был сопоставлен с методом учета всего углерода почвы в начале и конце опыта. Определение углерода производилось методом Густавсона сжиганием в трубчатых электропечах. Результаты приведены в табл. 5 и на фиг. 3.

Как видно из табл. 5 и фиг. 3, данные по количеству выделившейся CO_2 и потере общего углерода довольно близки, учитывая, что определение потери С по CO_2 сделаны на основании суммы 18 отдельных определений выделяющейся CO_2 . Следовательно, оба эти метода могут применяться с одинаковым успехом для учета энергии разложения органического вещества. Наибольшие расхождения получаются при $\text{pH} = 8.4$, где потеря углерода, вычисленная по CO_2 меньше, чем по разнице общего содержания его в начале и в конце опыта.

Повидимому, это явление объясняется образованием во время опыта карбонатов, как это видно из приводимых нами данных, хотя нужно отметить, что углерод образовавшегося CaCO_3 не компенсирует этих расхождений нацело (табл. 6).

3. Состав микрофлоры в опытах по влиянию обменных Н и Са на процессы разложения органического вещества в почве

Для установления того влияния, которое оказывают Н и Са на состав микрофлоры, мы произвели ряд наблюдений по методу Холодного (27), Rossi (25), в вариации Conn (26).

Навески почвы в 100 г с дополнительно внесенным, как и в предыдущих опытах, свежим органическим веществом в виде степного сена доводились до оптимальной влажности и помещались в стаканчики емкостью в 200 г, куда затем вертикально вставлялись по два предметных стекла, тщательно промытые хромовой смесью, отмытые от кислоты дистиллированной водой, высушенные и простерилизованные сухим жаром. Через каждые 5 дней стекла вынимались из стаканчиков и заменялись новой парой; при этом добавлялась по весу вода для поддержания почвы во влажном состоянии. Вынутые стекла высушивались на воздухе, фиксировались, окрашивались эритрозинном и просматривались под микроскопом.

Этот метод, даже без дополнительного проращивания культур, нам был ценен потому, что, применяя его, мы смогли наблюдать изменения группового состава микрофлоры и интенсивность развития последней.

Уже с первых дней опыта при различных значениях pH имеет развитие определенный состав микрофлоры: при кислых значениях pH преимущественное развитие имеют плесневые грибы и дрожжи; при подщелачивании эти группы начинают уступать место бактериальной флоре, плесневые же грибы развиваются лишь в непосредственной близости

Таблица 7

Развитие микрофлоры и ее групповой состав в опытах по влиянию обменных Н и Са на разложение органического вещества

Исследуемые почвы	1-я партия стекол через 5 дней после начала опыта
Слабо подзолистая почва	Преимущественное развитие плесневых грибов. Клетки дрожжей. Бактериальных клеток мало. Масса плесневых грибов. Есть дрожжевые клетки. Колонии крупной бактерии. Преимущественное развитие имеет бактериальная флора. Развитие плесневых грибов локализуется возле органических остатков. Колонии типа <i>Actinomyces</i>. Богатая бактериальная флора; масса мелких палочек, кокки. Хорошее развитие колоний типа <i>Actinomyces</i>. Плесневых грибов мало, их рост локализуется возле органических остатков. Богатая бактериальная флора — бактерии, кокки. Колонии типа <i>Actinomyces</i>.
Насыщенная Н $\text{pH}=3.8$	
Н+Са $\text{pH}=5.2$	
Н+Са $\text{pH}=7.1$	
Н+Са $\text{pH}=8.4$	Преимущественное развитие плесневых грибов. Клетки дрожжей. Масса мелких бактериальных клеток в колониях. Дрожжевые клетки. Хорошее развитие плесневых грибов. Плесневые грибы локализируются возле органических остатков. Преимущественное развитие бактериальной флоры, особенно богатое развитие кокков. Хорошее развитие колоний <i>Actinomyces</i>. Исключительное развитие колоний типа <i>Actinomyces</i>, препарат покрыт ими. Хорошее развитие бактерий, особенно мелкой палочки и кокков. Преимущественное развитие бактериальной флоры. Плесневые грибы возле органических остатков. Много колоний типа <i>Actinomyces</i>.
Почва в первоначальном виде $\text{pH}=6.9$	
Обыкновенный чернозем	
Насыщенный Н $\text{pH}=3.8$	
Н+Са $\text{pH}=5.8$	Плесневые грибы локализируются возле органических остатков. Преимущественное развитие бактериальной флоры, особенно богатое развитие кокков. Хорошее развитие колоний <i>Actinomyces</i>. Исключительное развитие колоний типа <i>Actinomyces</i>, препарат покрыт ими. Хорошее развитие бактерий, особенно мелкой палочки и кокков. Преимущественное развитие бактериальной флоры. Плесневые грибы возле органических остатков. Много колоний типа <i>Actinomyces</i>.
Н+Са $\text{pH}=6.8$	
Н+Са $\text{pH}=8.4$	
Почва в первоначальном виде $\text{pH}=7.1$	

от органических остатков. При щелочной реакции $\text{pH} = 8.4$ наблюдается пышное развитие колоний типа *Actinomyces* и не менее пышный рост бактериальной формы. Интересно отметить, что состав микрофлоры в опытах с подзолом мало отличается от такового при опытах с черноземом; повидимому, одинаковый источник заражения почв (чернозем в неизменном состоянии) и одинаковый источник свежего органического вещества (степное сено) являются причиной этого.

Изменения в составе микрофлоры вполне объясняются тем, что при наличии органического вещества в кислой среде преимущественное развитие имеют плесневые грибы, а при более щелочных значениях —

Actinomyces, имеющие оптимум развития при pH = 7.0—8.5. *Actinomyces* являются весьма энергичными разрушителями даже устойчивых форм органического вещества [Waksman (4)].

Таким образом, при замещении Н на Са, действительно, происходит угнетение развития плесневых грибов, но место их занимают *Actinomyces*, не менее энергично разлагающие органическое вещество.

Наши последующие наблюдения над микробиологической жизнью показали, что в течение 1-го месяца состав микрофлоры меняется очень мало; однако, уже во 2-м месяце наблюдается определенно более слабое развитие микрофлоры во всех случаях как с Са, так и без Са; слабое же развитие отмечено в препаратах за 3-й месяц. Повидимому, условия длительного лабораторного опыта далеко не оптимальны для биологической деятельности по ряду причин: использование легко доступного материала, накопление продуктов жизнедеятельности, отрицательно влияющих на развитие и активность микрофлоры, и пр.

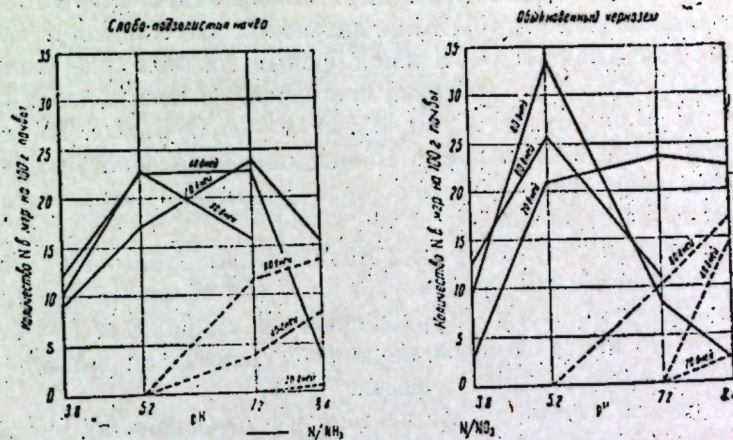
Таким образом, мы видим, что между составом микрофлоры, интенсивностью ее развития и энергией разложения органического вещества существует прямая связь; при замещении Н на Са, действительно, происходит депрессия в развитии плесневых грибов, но в результате перегруппировок в биологическом населении интенсивно развиваются такие группы микроорганизмов, которые являются весьма активными разрушителями органического вещества. Данные по количеству выделяющейся CO₂ и по потере в результате опыта общего углерода подтверждают это положение.

4. Накопление минеральных форм азота в опытах по влиянию обменных Н и Са на процессы разложения органического вещества в почве

Для исследования данного вопроса мы воспользовались теми опытами, в которых изучалось изменение состава микрофлоры (см. предыдущую главу). Периодически в почвенных пробах, взятых из стаканов, определялись: N/NO₃ в водной вытяжке методом Грандвали — Ляжу при пятикратном отношении воды к почве и N/NH₃ в вытяжке 1% KCl реактивом Несслера при 10-кратном отношении KCl к почве. Результаты представлены в табл. 8 и на фиг. 4.

В наших опытах, результаты которых приведены в табл. 8, реакция среды является решающим фактором в накоплении тех или иных форм минерального азота, а именно: при кислых значениях pH в почве накапливаются значительные количества NH₃, в случае нейтральных и щелочных — NO₃. Наибольшее количество NH₃ отмечено при pH, близком 5.0; эта реакция, очевидно, благоприятна для жизнедеятельности аммонификаторов, но в то же время она слишком кисла для процесса нитрификации. Процесс окисления начинается при более нейтральной реакции, достигая максимума при pH = 8.4. Необходимо отметить, что суммы N/NH₃ и N/NO₃ в пределах pH = 5.7 очень близки, изменяются только

соотношения этих форм, в то время как при pH = 8.4 они уменьшаются; повидимому, здесь имеет место процесс денитрификации и поглощение минерального азота микрораселением.



Фиг. 4. Минеральные формы азота в опытах по влиянию обменных Н и Са на процессы разложения органического вещества в мг N/NO₃ и N/NH₃ на 100 г почвы

Таблица 8

Минеральный азот в опытах по влиянию обменных Н и Са на процессы разложения органического вещества (в мг N/NO₃ и N/NH₃ на 100 г почвы)

Исследуемая почва	Первонач. содержание		Через 20 дней опыта		Через 40 дней опыта		Через 60 дней опыта	
	N/NH ₃	N/NO ₃	N/NH ₃	N/NO ₃	N/NH ₃	N/NO ₃	N/NH ₃	N/NO ₃
Слабо подзолистая почва								
Насыщенная Н pH=3.8	4.2	нет	8.9	нет	12.1	следы	10.4	нет
Н+Са pH=5.2	3.9	»	17.1	»	22.7	нет	23.8	следы
Н+Са pH=7.1	3.8	»	23.8	»	22.8	4.2	15.6	11.5
Н+Са pH=8.4	4.0	»	15.5	0.8	3.5	8.4	нет	13.2
Почва в первоначальном виде pH=6.9	0.6	»	4.8	5.0	4.9	8.1	3.3	5.2
Обыкновенный чернозем								
Насыщенный Н pH=3.8	8.4	»	3.3	нет	9.5	нет	12.3	нет
Н+Са pH=5.8	9.0	»	20.9	»	33.7	»	25.7	следы
Н+Са pH=6.8	9.5	»	23.6	»	8.3	следы	11.3	10.4
Н+Са pH=8.4	8.9	»	22.6	2.7	2.6	14.4	нет	17.1
Почва в первоначальном виде pH=7.1	1.2	»	5.5	11.5	2.7	4.5	следы	6.3

Отметим еще любопытный факт, что в наших опытах, где подготовка почв заключалась в вытеснении поглощенных оснований $0.03n$ HCl и диализе водой для удаления избытка HCl , процесс накопления минеральных форм азота протекал интенсивнее, чем в почвах, взятых для опыта в первоначальном виде (при близких значениях pH , конечно). Так, слабо подзолистая почва при $pH = 7.1$ к концу опыта на 100 г содержала N/NH_3 15.6 мг, N/NO_3 11.5 мг, в то время как почва, взятая в неизменном состоянии при $pH = 6.9$, имела N/NH_3 3.3 мг и N/NO_3 5.2 мг. То же наблюдается и при опыте с черноземом. Повидимому, предварительное декальцинирование (кислование) наших почв увеличило количество легко мобилизуемого азота почвы.

В самом деле, в результате подготовки почвы произошло увеличение N/NH_3 ; в дальнейшем мы увидим, что при этой операции сильно увеличивается количество азота, переходящего в гидролизат $0.5n$ H_2SO_4 , представляющего наиболее подвижную форму азота (см. влияние H и Ca на разложение органического вещества, п. 5).

Подводя итоги первой части настоящего исследования по вопросу, вызывает ли Ca задержку в разложении органического вещества почвы, мы приходим к следующим выводам:

а) при замене обменного H на Ca энергия разложения органического вещества повышается, находясь в прямой зависимости от количества введенного Ca и, следовательно, от создаваемой при этом реакции среды. В наших опытах наиболее энергично процесс разложения протекал при $pH = 8.4$;

б) при длительных опытах происходит снижение энергии разложения, учитываемой по выделяющейся CO_2 , но это явление не вызывается специфическим действием Ca , так как оно наблюдается и в случае почв, насыщенных H ; понижение энергии процесса объясняется ослаблением микробиологической жизни, как показывают микробиологические анализы, и является результатом отрицательного влияния длительности лабораторных опытов;

в) замещение обменного H на Ca оказывает исключительное влияние на состав микрофлоры; при кислой реакции преимущественное развитие имеют плесневые грибы, далее при нейтральной они заменяются бактериальной флорой и *Actinomyces* и при щелочном pH имеет место интенсивное развитие группы *Actinomyces*. Следовательно, в результате этих сдвигов в биологических группах мы при высоких количествах обменного Ca наблюдаем присутствие весьма энергичных разрушителей органического вещества;

г) режим минеральных форм азота находится также в зависимости от pH среды, устанавливаемого количеством обменного Ca ; при кислых значениях pH преобладает N/NH_3 , при нейтральных и щелочных — N/NO_3 . И в данном случае мы имеем биологические показатели большей окислительной способности почв при высоком содержании обменного Ca .

Во второй части настоящего сообщения мы приводим материал по влиянию обменных Ca и H на разложение отдельных групп органического вещества.

5. Влияние обменных H и Ca на разложение отдельных групп органического вещества в почве

При постановке данных исследований стал вопрос о методе изучения органического вещества почвы. К сожалению, мы до сих пор не располагаем достаточно удовлетворительными методами по качественной и количественной характеристике группового состава органического вещества почвы.

В самом деле, наиболее распространенный в последнее время метод Waksman дает только приближенную характеристику некоторых групп его (гемицеллюлозы, клетчатка, протеины, группа веществ, извлекаемых спирто-эфирной смесью), не дифференцируя таких существенных групп, как гуминовые вещества, лигнин. Springer (33) предлагает метод для изучения органического вещества почвы, в котором центр внимания переносится на изучение гумифицированной части, характеризуя ее рядом показателей — степень разложения, число гумификации, число окраски и т. д., являющихся в известном смысле условными, благодаря условным методам, служащим для их определения.

В своих исследованиях мы применили метод, принятый в нашей лаборатории (34), с теми существенными дополнениями по определению гуминовой кислоты, которые предложены в последнее время заведующим лабораторией проф. И. В. Тюриным.

Метод изучения группового состава органического вещества в целом сводился к следующему:

1. Прежде всего навеска почвы в 30 г подвергалась обработке спирто-бензольной смесью ($1:1$) в аппарате Сокслета; извлеченные битуминозные вещества поступали во взвешенные приемники. Экстрагирование продолжалось 12 часов, после чего почва вынималась из патронта и высушивалась на воздухе, а спирто-бензол из приемников отгонялся на водяной бане; экстрактивные вещества высушивались в термостате при $60^\circ C$ до постоянного веса.

2. После экстрагирования спирто-бензолом почва помещалась в стаканы, смешивалась с 5 -кратным объемом $1n$ H_2SO_4 и подвергалась гидролизу в аппарате Коха в течение 4 часов. Затем по охлаждении производилось фильтрование в бунзеновские колбы через стеклянные фильтры Нуча № 2, с применением небольшого разрежения; почва отмывалась от кислоты декантацией до нейтральной реакции (проба на метил-оранж). Первые порции промывных вод — примерно 100 см³ — присоединялись к фильтрату, остальные — бесцветные — не анализировались. В фильтрате, доведенном до 250 см³, производились определения окисляемости по методу Тюрина (34) и сахаров, восстанавливающих фелингову жидкость; количество гемицеллюлоз рассчитывалось по количеству глюкозы умножением на коэффициент 0.9 .

Почва, отмываемая от H_2SO_4 , доводилась до воздушно-сухого состояния выпариванием на водяной бане, взвешивалась, и хорошо перемешанный

остаток затем делился на две части: $\frac{1}{3}$ всего остатка шла на определение гуминовой кислоты, а $\frac{2}{3}$ — на определение целлюлозы.

3. Определение гуминовой кислоты производилось извлечением 0.1л NaOH. Навеска почвы, равная 10 г первоначальной, взбалтывалась с 50-кратным объемом 0.1л NaOH в течение 2 часов, после чего переносилась вместе с жидкостью в стакан, куда затем добавлялся измельченный Na_2SO_4 из расчета $\frac{1}{15}$ объема (в случае объема 500 см³ навеска равнялась 34 г) для осаждения взвешенных минеральных частиц. Через сутки, когда грубо-дисперсные минеральные частицы хорошо оседали, производилось фильтрование жидкостей через тигли Нуча № 4, и после проверки на полную прозрачность раствора приступали к осаждению гуминовой кислоты. Для этого из отфильтрованного раствора бралось в стакан по 100 см³ и прибавлялось 20 см³ 1л H_2SO_4 ; для лучшей коагуляции выпавшей гуминовой кислоты стаканы несколько минут нагревались на эбритовой плитке. После охлаждения жидкостей и осаждения гуминовой кислоты последняя отфильтровывалась через тигли Нуча, осадок промывался водой, подкисленной несколькими каплями HCl и затем высушивался до постоянного веса в сушильном шкафу при t° около 80° C. Чистый вес гуминовой кислоты получался путем вычитания из веса остатка золы гуминовой кислоты, определяемой потерей от прокалывания сжиганием в муфеле.

4. Определение целлюлозы производилось в другой части остатка почвы после выделения гемицеллюлоз, путем гидролиза 80% H_2SO_4 в течение 2.5 часов при отношении кислоты к почве, как 1 : 1. Затем смесь разбавлялась 15-кратным объемом воды и ставилась в аппарат Коха на 4 ч. Последующее фильтрование и отмывание производилось так же, как и при определении гемицеллюлоз. В фильтрате определялись углерод по Тюрину и сахара, восстанавливающие фелингову жидкость; целлюлоза рассчитывалась по количеству глюкозы умножением на коэффициент 0.9.

5. В остатке после выделения клетчатки определялся общий углерод. Нас прежде всего заинтересовал вопрос, как насыщение Н и Са сказывается на легко подвижной части органического вещества, наиболее быстро мобилизуемой микроорганизмами. Мы применили метод гидролиза 0.5л H_2SO_4 на холоду при 10-кратном соотношении кислоты к почве, при длительности гидролиза в 18 часов. В фильтрате определялись общий С и N методом Тюрина.

При подобном гидролизе в раствор, очевидно, переходят растворимые углеводы, минеральные формы азота и свободные аминокислоты, т. е. вещества, подвергающиеся энергичному воздействию со стороны микроорганизмов. Поэтому мы и считаем эту фракцию наиболее легко мобилизуемой биологическим населением.

В качестве доказательства можно отметить, что в случае перехода в такие гидролизаты значительного количества органического вещества, в них очень быстро отмечается интенсивное развитие микроорганизмов.

В табл. 9 приведены результаты по содержанию подвижных форм С и N в исследуемых почвах.

Таблица 9

Влияние предварительной подготовки к опытам (насыщение Н и замещение Н на Са) на легкоподвижные формы С и N

(в мг С и N на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	С	N	В % от содержания в первоначальной почве	
			С	N
Слабо подзолистая почва				
Насыщенная Н pH=3.8	138	14.6	135	187
Н+Са pH=5.2	144	15.7	141	200
Н+Са pH=7.1	138	15.7	135	200
Н+Са pH=8.4	140	15.2	137	195
Почва в первоначальном виде pH=6.9	102	7.8	100	100
Обыкновенный чернозем				
Насыщенный Н pH=3.8	342	36.9	294	369
Н+Са pH=5.2	325	31.4	279	314
Н+Са pH=6.9	335	30.6	289	316
Н+Са pH=8.4	328	32.8	283	328
Почва в первоначальном виде pH=8.4	116	16.0	100	100

Из полученных данных мы видим, что в процессе насыщения почв Н и последующего диализа сильно увеличивается количество подвижного углерода и азота. Этот эффект сильнее выражен в черноземе, нежели в подзоле, что вполне понятно, так как органическое вещество подзола в естественном состоянии уже находится под действием Н, входящего в поглощающий комплекс подзолистой почвы.

Далее отмечаем, что замещение Н на Са не вызывает обратного эффекта, т. е. уменьшения этой легко подвижной части органического вещества. В нашем понимании насыщение почвы Н, повышая дисперсность органического вещества, тем самым способствует увеличению подвижной, легко мобилизуемой микроорганизмами части его; эта часть по своей природе является молекулярно-растворимой, и последующее замещение Н на Са не вызывает ее коагуляции. Одновременно создание нейтральной или щелочной реакции среды при введении Са вместо Н способствует повышению энергии микробиологического процесса.

В самом деле, в опытах с учетом выделяющейся CO_2 мы отметили для чернозема более энергичное образование CO_2 в образце, подвергнутому предварительной обработке 0.03л HCl и затем насыщенном Са по сравнению с почвой, взятой в первоначальном виде (конечно, при близких значениях рН).

То же было нами отмечено в опытах с накоплением минеральных форм азота как с обыкновенным черноземом, так и с слабо подзолистой почвой.

Таким образом, объяснение, что извесь вызывает задержку процессов разложения органического вещества вследствие образования форм не доступных биологическому населению, едва ли может быть применимо к этой части органического вещества, являющейся наиболее легко мобилизуемой.

Переходим теперь к результатам по влиянию обменных Н и Са на групповой состав органического вещества. Учитывая то, что предварительные операции, произведенные с почвенными образцами при их подготовке к опытам — насыщение Н, замещение Н на Са, как и в случае легко подвижной части, могли отразиться на свойствах некоторых групп органического вещества, мы в серии опытов с обыкновенным черноземом проанализировали почвы как подготовленные к опытам, так и проведенные через опыт.

Таблица 10

Групповой состав органического вещества в почвах, подготовленных для опыта
(в г на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	Орг. вещество % Сх1,72	Бенз.-алкогольн. вытлка		Гемипеллю- лозы		Целлюлоза		Гуминовая кислота	
		коли- чество	% от орг. вещ.	коли- чество	% от орг. вещ.	коли- чество	% от орг. вещ.	коли- чество	% от орг. вещ.
Обыкновенный чернозем									
В первоначальном виде рН=7.1 . . .	7.89	0.24	3.04	0.49	6.2	0.31	3.9	1.91	24.2
Насыщ. Н рН=3.8 .	7.89	0.32	4.05	0.50	6.3	0.28	3.6	3.08	39.0
Н+Са рН=5.8 .	7.89	0.30	3.80	0.52	6.6	0.31	3.9	2.86	36.2
Н+Са рН=6.8 .	7.89	0.28	3.55	0.49	6.2	0.29	3.9	2.53	32.1
Н+Са рН=8.4 .	7.89	0.21	2.70	0.49	6.2	0.28	3.9	2.06	26.1

Примечание: Анализ производился над почвами перед постановкой опытов, до внесения дополнительного органического вещества (степное сено, см. Постановка опытов)

Насыщение почвы Н не сказывается на количествах гемипеллюлоз и целлюлозы, — обработка 0.03л НСl на холоду и последующий анализ является для них незначительным воздействием; обратное замещение Н на Са также не вызывает никаких изменений в этих группах.

Несколько увеличивается в результате декальцинирования первоначальной почвы количество битуминозных веществ; обратно, при замещении Н на Са, очевидно, вследствие неполного растворения Са-солей смоляных кислот в бензольно-спиртовой смеси, мы обнаруживаем уменьшение этой группы.

Что же касается гуминовой кислоты, то для нее получены следующие результаты: при насыщении почвы Н количество гуминовой кислоты по сравнению с первоначальной почвой увеличивается с 1.91 до 3.08 г на 100 г почвы; обратное замещение Н на Са понижает количество гуминовой кислоты тем больше, чем больше введено Са.

Объяснить это явление уменьшением растворимости в NaOH гуминовой кислоты вследствие образования Са-гумата как будто трудно, так как определение ее производилось в остатках после выделения гемипеллюлоз, т. е. после обработки 1л Н₂SO₄, при которой весь Са был извлечен из почв. Для подтверждения полученных данных мы проделали определение гуминовой кислоты в остатках после гидролиза 80% Н₂SO₄ (т.е. после выделения целлюлозы); полученные цифры несколько выше, нежели в остатке после выделения гемипеллюлоз, но зависимость количества получаемой гуминовой кислоты от количества введенного Са остается прежней.

Таблица 11

Количество гуминовой кислоты в исследуемых почвах, определяемой в остатках после гидролиза 1л Н₂SO₄ и 80% Н₂SO₄
(в г на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	Количество гуминовой кислоты в остатках после гидролиза	
	1л Н ₂ SO ₄	80% Н ₂ SO ₄
Обыкновенный чернозем		
Насыщенный Н рН=3.8 . . .	3.08	3.14
Н+Са рН=5.8	2.86	2.93
Н+Са рН=6.8	2.53	2.57

Далее мы попробовали рассчитать количество углерода в гуминовой кислоте, принимая его содержание в кислоте равным 58% (наши определения С в растворе гуминовой кислоты методом Тюрина дали несколько меньшую цифру — 56—57%).

Полученное количество С вычиталось из общего количества С остатка после выделения гемипеллюлоз и целлюлозы, и разность была отнесена условно на счет группы «гумина — лигнина». Результаты приведены в табл. 12.

Как видим из этих данных, содержание углерода в остатке после выделения гемипеллюлоз и целлюлозы одинаково во всех случаях; следовательно, если бы мы попробовали рассчитать по Ваксману лигнино-гумусовый комплекс, то получили бы одинаковую величину для всех почв. Между тем, природа этой группы веществ, повидимому, не одинакова; в самом деле, соотношение между гуминовой кислотой и группой гумина —

лигнина отчетливо меняется. При насыщении почвы Н резко увеличивается количество гуминовой кислоты и уменьшается количество гумина—

Таблица 12

Содержание группы гуминовой кислоты и гумина—лигнина в почвах, подготовленных для опыта

(в мг на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	Всего С. в первонач. почве	С остатка после выделения гемицеллюлоз. и целлюлоз.	В том числе углерода		% от первоначального содержания С в почве		
			гумин. кислоты	гумина—лигнина	С остатка	С—гумин. кислоты	С—гумина—лигнина
Обыкновенный чернозем							
Первоначальная почва рН=7.1 . . .	4590	2929	1108	1821	63.8	24.1	39.7
Насыщ. Н рН=3.8 . . .	4590	2840	1786	1054	61.9	38.9	23.0
Н+Са рН=5.8 . . .	4590	2929	1659	1270	63.8	36.1	27.7
Н+Са рН=6.8 . . .	4590	2987	1467	1520	65.0	31.9	33.1
Н+Са рН=8.4 . . .	4590	2957	1195	1762	64.4	26.1	38.8

лигнина; при замещении Н на Са количество гуминовой кислоты уменьшается, а гумина—лигнина увеличивается тем больше, чем больше в почву вводится Са. Для выяснения, в какой степени полученные результаты могут зависеть от способа выделения гуминовой кислоты, мы часть наших

Количество гуминовой кислоты в исследуемых почвах при различных способах ее выделения

(в г на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	Количество гуминовой кислоты в остатках после выделения гемицеллюлоз	
	без предварительного декальцинирования	с предварительным декальцинированием
Обыкновенный чернозем		
Н+Са рН=5.8 . . .	2.86	2.78
Н+Са рН=6.8 . . .	2.53	2.63
Н+Са рН=8.4 . . .	2.06	2.63

исходных приготовленных для работы образцов подвергли декальцинированию 0.03*n* HCl с последующим отмытием избытка кислоты, а затем, после высушивания, экстрагирования бензольно-алкогольной смесью

и выделения гемицеллюлоз в остатках произвели определение гуминовой кислоты; при таком способе выделения для отдельных образцов получились близкие количества гуминовой кислоты. Совершенно такие же результаты по количеству гуминовой кислоты в остатках после выделения гемицеллюлоз с предварительным декальцинированием почв и без него, а также в остатках после выделения гемицеллюлоз и целлюлозы получены Тюриным и Пономаревой для чернозема, солонца и бурозема.¹

Таблица 14

Изменения в составе органического вещества в опыте с обыкновенным черноземом по окончании опыта

(в г на 100 г почвы)

Исследуемые почвы	Орг. вещ. (С×1.72)		Бенз.-алк. вытяжка		Гемицеллюлозы		Целлюлоза		Гуминов. кислота		Гумин—лигнин	
	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта
Обыкновенный чернозем												
Насыщ. Н рН=3.8 . . .	8.36	7.95	0.34	0.28	0.65	0.64	0.46	0.34	3.08	3.32	—	—
% от орг. вещ.	—	—	4.07	3.5	7.80	8.00	5.5	4.2	39.0	41.8	23.0	17.9
Н+Са рН=5.8	8.36	7.89	0.32	0.24	0.67	0.50	0.49	0.31	2.86	2.80	—	—
% от орг. вещ.	—	—	3.8	3.03	8.0	5.5	5.8	3.9	34.2	35.5	27.7	27.1
Н+Са рН=6.8	8.36	7.74	0.30	0.24	0.64	0.37	0.49	0.29	2.53	2.54	—	—
% от орг. вещ.	—	—	3.6	3.10	7.7	4.8	5.6	3.7	30.25	32.8	33.1	27.2
Н+Са рН=8.4	8.36	7.59	0.23	0.23	0.64	0.37	0.46	0.28	2.06	2.08	—	—
% от орг. вещ.	—	—	2.80	3.0	7.7	4.8	5.6	3.7	24.8	27.4	38.9	32.9

Примечание. По сравнению с данными, приведенными в табл. 9, в связи с внесением степного сена (см. Постановка опытов) увеличены следующие группы:

- 1) органическое вещество на 0.47 %;
- 2) гемицеллюлозы на 0.15%;
- 3) целлюлоза на 0.18%;
- 4) бензольно-алкогольная вытяжка на 0.02%.

Мы не располагаем данными для суждения о характере превращений, которым подвергается гуминовая кислота в процессе подготовки почв при замещении Н на Са. В настоящий момент трудно сказать, имеем ли мы в этом процессе превращение части гуминовой кислоты в форму, не растворимую в щелочи [Fuchs (43)], или превращение в гумин, связанное с потерей карбоксильных групп [Fuchs (44)]; не исключена возможность, что различие в выходах гуминовой кислоты при разных количествах Са является результатом предварительной обработки, заключающейся в гидролизе 1*n* H₂SO₄ при нагревании (выделение гемицеллюлоз), вызывающей при наличии Са одновременно с декальцинированием

¹ Работа Тюрина и Пономаревой готовится к печати. [

гуматов конденсацию гуминовой кислоты и понижение ее растворимости в щелочи. Мы полагаем, однако, что один из путей закрепления органического вещества в почве в присутствии Са это не только образование Са-солей гуминовой кислоты, но и превращение ее в форму, менее растворимую в щелочи, и, следовательно, в более устойчивую.

Термин «гумин — лигнин» оставлен нами в дальнейшем изложении условно для группы органических веществ, не переходящих в раствор при обработке щелочью.

Посмотрим теперь, как изменился групповой состав органического вещества в результате разложения (табл. 14, стр. 191).

Сравнивая конечные количества гемицеллюлоз и клетчатки с первоначальным содержанием их в почве, мы видим, что в результате разложения количество их значительно снижается. При этом разложение клетчатки начинается при более кислом значении pH (3.8), нежели гемицеллюлоз (pH = 5.8). Максимальная энергия разложения этих групп наблюдается при pH, близком 7.0, дальнейшее повышение реакции почти не отражается на интенсивности процесса.

Количество веществ, извлекаемых бензольно-алкогольной смесью, несколько понижается в процессе разложения, причем интенсивность этого процесса больше при кислых значениях pH. Подобный же вывод имеется в работах Немес (21).

Что же касается гуминовой кислоты, то ее количества по абсолютному содержанию весьма близки к тем, которые получены до опыта. Однако, процентное содержание ее в органическом веществе увеличивается, хотя

Таблица 15

Групповой состав органического вещества в опытах с слабо подзолистой почвой
(в % от органического вещества)

Исследуемые почвы	Бенз.-алк. вытяжка	Гемицеллю- лозы	Целлюлоза	Гуминовая кислота	Гумин— лигнин
Перед опытом					
Первоначальная почва	5.6	15.6	7.6	19.6	23.3
Насыщенная Н почва pH=3.8	5.6	16.0	7.6	20.1	20.9
По окончании опыта					
Насыщенная Н pH=3.8	4.5	15.2	7.0	20.1	22.8
Н+Са pH=5.2	3.7	11.5	4.9	15.5	27.8
Н+Са pH=7.1	3.9	11.0	4.8	14.8	28.4
Н+Са pH=8.4	4.3	9.4	4.7	13.4	29.8

и очень слабо. Причиной незначительного изменения в содержании гуминовой кислоты являются, повидимому, сравнительно небольшая длительность опыта, малое количество свежего органического вещества (степное сено) и, возможно, природа последнего.

Далее отмечаем, что характер соотношения между гуминовой кислотой и нерастворимым в щелочи остатком (гумин—лигнин) в результате опыта не изменяется.

В аналогичных опытах с слабо подзолистой почвой проанализированы первоначальная почва и насыщенная Н почва перед опытом и весь ряд почв по окончании опыта. Ход разложения отдельных групп органического вещества и характер изменения соотношения между группами гуминовой кислоты и гумина — лигнина получились такие же, как и при опытах с обыкновенным черноземом (табл. 15, стр. 192).

Выводы

Резюмируем кратко выводы, полученные нами в результате опытов.

1. При изучении энергии разложения органического вещества учетом выделяющейся CO_2 и определением общего углерода в начале и конце опыта мы приходим к выводу, что интенсивность разложения находится в прямой зависимости от реакции среды, в данном случае создаваемой различными количествами вводимого Са. Подобный же вывод относительно прямой зависимости энергии разложения органического вещества, учитываемой по выделяющейся CO_2 , от реакции среды в случае внесения в почву $\text{Ca}(\text{OH})_2$, имеется в работе White J., Holben E. a. Jeffries C. (45); в пределах изученной нами шкалы pH от 3.8 до 8.4 наиболее интенсивное разложение наблюдается при pH 8.4.

2. Изучение состава микрофлоры указывает на значительные сдвиги в групповом ее составе при различных значениях pH: при кислых значениях pH мы наблюдаем интенсивное развитие плесневых грибов, выше — плесневые грибы заменяются бактериальной флорой и, наконец, при щелочном pH исключительно большое развитие имеют *Actinomyces*. Таким образом, Са, действительно, вызывает угнетение развития плесневых грибов (Слезкин), но зато вместо этой группы появляются *Actinomyces*, весьма энергичные разрушители органического вещества.

В данный момент мы не можем делать выводов о специфическом действии Са как такового на микрофлору почвы и ее деятельность, ибо различная интенсивность процессов и различие в составе микрофлоры могут быть вызваны реакцией почвы, устанавливаемой различными соотношениями Са : Н. Однако, имеющиеся у нас материалы по действию На дают возможность предполагать, что природа поглощенного основания также играет значительную роль в составе микрофлоры и характере превращения органического вещества.

3. В процессе опыта наблюдается депрессия в развитии микрофлоры, сопровождающаяся понижением энергии разложения органического вещества; однако, это явление наблюдается при всех опытах как с Са, так и без Са, и представляет собой следствие отрицательного действия лабораторных условий.

4. Режим минеральных форм азота устанавливается также в зависимости от реакции среды; при кислых значениях pH (3.8 и 5.8) происходит

накопление аммиачного азота, в то время как нитратный азот отсутствует, ибо эта реакция среды, повидимому, еще слишком кисла для нитрифицирующих бактерий. При $pH = 7.0$ и особенно при $pH = 8.4$ идет накопление нитратного азота, сопровождаемое уменьшением аммиачного азота. Следовательно, окислительная способность почв в отношении превращения минеральных форм азота при больших количествах обменного Са выражена резче, чем при более низких.

5. Предварительная подготовка почв к опытам, состоявшая в гидролизе почв на холоду слабой минеральной кислотой для удаления поглощенных оснований и в последующем анализе, увеличивает подвижную часть органического вещества, легко гидролизуемый азот и углерод. Обратное замещение Н на Са не вызывает коагуляции этой группы веществ, так как они являются молекулярно-растворимыми. В процессе подготовки почв группы гемицеллюлоз и целлюлозы количественно не изменяются.

Таким образом, замещение Н на Са не вызывает уменьшения наиболее подвижной, легко мобилизуемой микроорганизмами части органического вещества.

6. В условиях нашего опыта наиболее легко разлагающимися являются группы гемицеллюлоз и клетчатки; разложение клетчатки начинается при более кислых значениях pH , нежели гемицеллюлоз. Энергичным разложением этих групп при нейтральной и щелочной реакции объясняется малое содержание их в черноземах и более высокое в подзолистых почвах.

Отмечается также значительное разложение фракций, извлекаемых бензольно-алкогольной смесью при кислых значениях pH .

7. При замене Н на Са происходит уменьшение количества гуминовой кислоты, растворимой в щелочи, и соответствующее увеличение группы веществ, не растворимых в щелочи (обозначаемой нами условно как группа гумина—лигнина). Происходит ли при этом уменьшение растворимости в щелочи гуминовой кислоты или превращение в гумин, или же полученное различие в выходах гуминовой кислоты является следствием приема выделения ее без предварительного декальцинирования слабой кислотой, пока для нас неясно. Но весьма возможно, что в присутствии Са гумифицированная часть органического вещества (гуминовая кислота) может аккумулироваться в почве и сохраняться в ней не только путем образования гуматов кальция, но и путем превращения гуминовой кислоты в более устойчивые формы, обладающие меньшей растворимостью в щелочах.

На основании полученных результатов попробуем осветить те задачи, которые мы поставили перед собой при изучении действия обменных Н и Са на энергию разложения органического вещества.

Каким путем происходит накопление органического вещества в черноземе и перегнойно-карбонатных почвах? Наши исследования установили, что в этих почвах должен происходить энергичный распад свежей органической массы (конечно, при благоприятных условиях влажности, аэрации, t°).

Действительно, изучение группового состава органического вещества черноземов приводит к тем же выводам. Так, по материалам нашей лаборатории (34, 35), по работам Waksman (5), Ремезова (24), группы гемицеллюлоз, целлюлозы и протенинов, представляющие энергетический материал для биологической деятельности, в черноземах составляют незначительный % от всего содержания органического вещества. Если же принять точку зрения Костычева, Коссовича и др., объясняющих накопление органического вещества в почве черноземного типа задержкой разложения его в присутствии извести, то безусловно надо было бы ожидать накопления именно этих групп.

Далее, высокое содержание в органическом веществе черноземов гумифицированной части (лигнинно-гумусовый комплекс, по Waksman, составляет, примерно, 50% всего органического вещества) является следствием аккумуляции ее в присутствии Са.

Эта аккумуляция в черноземе может происходить не только путем образования Са-солей гуминовых кислот, но и путем превращения последних в присутствии Са в более устойчивые, нерастворимые в щелочах формы.

В связи с коагулирующим действием Са нам бы хотелось остановиться на разъяснении того противоречия, о котором упоминается в ряде работ. А. А. Роде считает, что наличие большого количества водорастворимого органического вещества в его опытах противоречит выводам К. К. Гедройца о коагулирующем действии Са; подобное же несоответствие отмечает и А. Ф. Тюлин, а также в свое время отмечали З. Кашин, Заварицкий, сопоставляя свои данные с положением Слезкина. Необходимо отметить, что коагулирующее действие Са К. К. Гедройц установил на определенных фракциях органического вещества — водных вытяжках из почв, насыщенных Na, Mg, K, Li, т. е. он имел в растворе значительное количество гуминовых кислот. Что же касается водных вытяжек из почв, содержащих известь (опыты А. А. Роде, З. Кашина, А. Ф. Тюлина), то в них, главным образом, переходят молекулярно-растворимые органические вещества, на которых коагулирующее действие Са не сказывается, как и в случае с кислотными гидролизатами.

С точки зрения полученных нами результатов становится понятным действие кислования черноземов на их органическое вещество: частичным замещением Са на Н мы увеличиваем легко подвижную часть органического вещества и в процессе дальнейшей мобилизации микроорганизмами улучшаем питательный режим почв (в частности азотный режим почв).

Далее, известкование кислых почв безусловно имеет следствием повышение энергии разложения органического вещества: при наличии больших запасов легко мобилизуемого органического вещества в кислых почвах, объясняемого воздействием Н-иона на органическое вещество почвы, при повышении реакции среды известкованием будет иметь место значительное повышение энергии процесса; при этом частичное замещение Н на Са должно сопровождаться и накоплением гумифицированной

части, количественный эффект которого будет зависеть от количества обменного Ca.

В свете высказанных положений противоречия во взглядах на известность как на фактор, стимулирующий разложение органического вещества и задерживающий этот процесс, являются кажущимися; эти взгляды нельзя противопоставлять друг другу, ибо действие известки безусловно объединяет и первое и второе положения.

М. КОНОНОВА

INFLUENCE OF EXCHANGEABLE BASES UPON THE PROCESSES OF DECOMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN SOILS

Summary

The subject of the present paper is the problem of influence of exchangeable H and Ca upon the processes of decomposition of organic substance in soils.

Experiments were carried out with common chernozem from Kammennaja Steppe and with slightly podzolised soils from the experimental field of the Detsko-Selsky Agricultural Institute (Leningrad Region).

The bases were removed from large weights of soil — approximately 500 gr — by means of 0.03N HCl; next the excessive acid was washed off, and the soil was dried, divided into several portions and saturated with Ca in the form of Ca(OH)₂ up to different gradations of pH (within the range from pH = 3.8 to 8.4).

After this treatment, a new organic substance (steppe hay) — 0.75 gr. for 100 gr. of soil — was introduced into the samples; the soils were moistened to optimum moisture and placed into a thermostat at 28° C for a long period approximately for three months. The investigations of the decomposition process intensity, the microflora composition and the organic substance group composition, result in the following conclusions:

1. In consequence of the investigations of the organic substance decomposition energy by CO₂-evolution and by determining the total carbon at the beginning and the end of the experiment, it was found that the intensity of the process is directly effected by reactions of the medium formed by different quantities of the introduced Ca. Within the range of pH from 3.8 to 8.4 the most intensive rate of decomposition was observed at pH = 8.4.

2. Experimental investigations of the microflora composition showed noticeable changes of the group composition at different values of pH: at acid pH values we observe an intensive growth of fungi; at higher values they are replaced by bacterial flora; at alkaline pH there takes place an exceptionally intensive growth of *Actinomyces*, which is a vigorous destroyer even of stabile groups of organic substance.

3. The behavior of nitrogen mineral forms is also determined by medium reactions effect; at acid values of pH (3.8 and 5.8) there was observed ammonium formation, by pH = 7.0 and 8.4 — nitrate formation.

All of these data show a high rate of organic substance decomposition, and also the oxidizing nature of the biological processes at high values of pH, as a result of introduction of Ca.

A method of studying the organic substance group composition in given soils, adopted by the Biochemical Laboratory of the Soil Institute, with essential additions concerning the educing of humic acid groups suggested recently by Prof. I. V. Tjurin, brought us to the following conclusions.

4. In the course of our experiments we observed that the decomposition of hemicellulose and cellulose groups came about at the easiest rate; the decomposition of cellulose began at higher acid pH values than that of hemicellulose. The low content of these groups in chernozem and their higher content in podzolised soils can be readily explained by the high decomposition rate of these groups in consequence of neutral and alkaline reactions. A considerable decomposition of fractions, extractable by a benzol and alcohol at acid pH values is also noticeable.

5. In the course of saturating the soils with hydrogen ions and subsequent washing off of excessive acid, there was observed a considerable increase of the active part of organic substance, removable from the soil by hydrolysis 0.5N H₂SO₄ by common temperature. Apparently, a similar process takes place by acidifying of the chernozem.

6. By replacing Ca by H in case of common chernozem, the quantity of humic acid is increased at the cost of the group «humic-lignin». In case of a reverse replacement of H by Ca in chernozem and podzol there is a reduction of humic acid and a corresponding increase of the «humic-lignin» group. Apparently the same phenomenon takes place also in nature, i. e. in the presence of Ca the humified part of organic substance (humic acids) can be accumulated and preserved not only by means of calcium humates formation, but also by passing of humic acid into a more stabile form, not so readily soluble in the presence of alkalines.

In consequence of these investigations the author comes to the conclusions that in spite of the opinion of some investigators (Kostichev, Kosovitch, Slioskin, Sibirtzev) the accumulation of organic substance in soils, the formation of which comes about in the presence of Ca (chernozem, rendzins) occurs not as a result of retarded decomposition processes, but in consequence of a simultaneous, vigorous decomposition of a fresh organic substance and of accumulation of its humified part in the presence of Ca.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов П. Опыты над просачиванием перегноя через искусственные смеси различного минерального состава. Материалы по изучению русских почв, в. 2, 1886.
2. Brown M. The determination of carbon dioxide evolution in soil Journal of Amer. Soc. of Agr., v. XXVI, № 6, p. 481, 1934;
3. Wollny E. Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Landwirtschaft. Versuchsstationen, v. XXV, p. 373, 1880.
4. Waksman S. Principles of soil Microbiology Sec., Edit. 1931.

5. Waksman S. Soil Science, v. XL, № 5, 1935.
6. Wolf. Цитир. по Слезкину Ю. (см. № 30).
7. Гедройц К. К. Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в поглощенном состоянии, ЖОА, т. XXII, 1921—1923.
8. Гедройц К. К. Поглощенный аммоний как источник азота для растений и действие его на почву. Почвенный поглощающий комплекс, растение, и удобрение, 1935.
9. Заварицкий В. Н. О влиянии углекислого кальция на процессы отщепления водно-растворимых продуктов из разлагающихся растительных остатков. Материалы по изучению русских почв, в. 23, 1913.
10. Коссович П. С. К вопросу о генезисе почв и об основах для генетической почвенной классификации, ЖОА, т. VII, стр. 478, 1906.
11. Коссович П. С. и Третьяков Н. К вопросу о влиянии углекислого кальция на быстроту разложения органических веществ, ЖОА, т. III, стр. 450, 1902.
12. Костычев П. Почвы черноземной области России, ч. 1. Образование чернозема, 1886.
13. Кашин З. К вопросу об известковании кислых почв. Материалы по изучению русских почв, в. 23, 1913.
14. Кравков С. П. О процессах отщепления растворимых мертвых продуктов из разлагающихся растительных остатков, ЖОА, т. IX, стр. 569, 1908.
15. Кравков С. П. Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании. Материалы по изучению русских почв, в. 21, 1912.
16. Lemmermann O. Untersuchungen über die Zersetzung der Kohlenstoffverbindungen verschiedener organischen Substanzen im Boden, Landw. Jahrb. B. XLI, S. 216, 1911.
17. Lemmermann O. W. Frezenius. Untersuchungen über Verhalten vom Kalk im Boden. Zeitschr. f. Pflanz. u. Düngung, T. A, 3 Jahrg., H. 1.
18. Леваковский И. Труды Общ. исп. при Харьковском ун-те, т. XXII, 1888, цитир. по Кравкову С. П. (14—15).
19. Neller. The oxidizing power of soil from limed and inlimed plots and its relation to the other factors, Soil Science, v. X, № 1, 1920.
20. Nessler. Цитир. по Слезкину Ю. (см. № 30).
21. Nemes. Zeitschrift f. Pflanz. u. Düngung, B. XXII, H. 5/6, 1931.
22. Petersen. Ueber den Einfluss des Mergels auf die Bildung von Kohlensäure und Salpetersäure. Landw. Versuchsstat. B. XIII, S. 155, 1871.
23. Pottér a. Snyder. Carbon and nitrogen changes in the soil variously treated with lime, ammonium sulphate and sodium nitrate, Soil. Science, v. I, № 1, 1916.
24. Ремезов Н. П. О количественном составе органического вещества почв СССР. Почвоведение, № 5, 1933.
25. Rossi P. Polemische Bemerkungen zur-Arbeit H. Conn. «The Cholodny Technic for the microscopic study of the soil microflora» Centrbl. f. Bakt., 2 Abt., B. LVIII, № 23724, 1933.
26. Conn H. The Cholodny Technic in the microscopic study of the soil microflora. Centrbl. f. Bakt., 2, Abt., № 9/12, 873, 1932.
27. Cholodny N. Ueber eine neue Methode zur Untersuchung der Bodenmicroflora. Arch. f. Microbiologie, H. 4, 1930.
28. Родэ А. А. Действие углекислого кальция на почву, Труды Лесотехнической академии, т. XXXIV, 1927.

29. Russel J. a. Appleyard. The influence of soil conditions on the decomposition of organic matter in the soil, J. of Agric. Sci., v. VIII, p. 385, 1917.
30. Слезкин Ю. Этюды о гумусе, 1900.
31. Stoklasa J. Handbuch der physikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens, 1926.
32. Сибирцев Н. М. О почвах Привислинского края, Труды И.В.Э.О., № 1, 1896.
33. Springer U. Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen, Zeitschr. f. Pflanz. u. Düngung, B. XXII, H. 3/4, 1931; B. XXIII, H. 1/2, 1931.
34. Тюрин И. В. и Кононова М. М. Материалы по изучению органического вещества почвы, Химизация соц. земл., № 8 и 11, 1934.
35. Кононова М. М. К методике изучения органического вещества почв по методу Ваксмана, Труды Почв. института, т. X, в. 4.
36. Тюрин И. В. Новое видоизменение объемного метода определения гумус хромовой кислоты, Почвоведение, № 5—6, стр. 36, 1931.
37. Тюлин А. Ф. Влияние известки на разложение органического вещества в почве. Труды НИУ, в. 14, 1923.
38. Тюлин А. Ф. Разложение органического вещества и изменения в нитрификации и емкости поглощения в подзолистых почвах, Труды НИУ, в. 33, 1926.
39. Чижевский М. Г. Интенсивность разложения органического вещества почвы в зависимости от рода поглощенного катиона, Химиз. соц. земл., № 7 и 8, 1932, № 2, 1933.
40. Кинаерская К. И. К вопросу о процессах закрепления продуктов разложения органических веществ в почве. Издание ЛОБИУАА, 1935. Материалы по изучению продуктов разложения органических веществ и процессов закрепления их в почвах. Под редакцией проф. С. П. Кравкова.
41. Van Suchtelen. Centrbl. f. Bakt., 2 Abt., B. XXVIII, S. 45—89, 1910.
42. Hilgard E. W. Soils, 1906.
43. Fuchs W. Huminsäuren Kolloidzeitschrift, B. LII, H. 1, S. 248 и 350, 1930.
44. Fuchs W. Die Chemie der Kohle, Berlin, 1931.
45. White J., Holben E. J. a. Jeffris C. D., Influence of soil acidity upon the decomposition of organic matter in soils, Soil Science, v. XXXVII, N 1, pp. 1—15 1934.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
От редактора	3
А. Т. Кирсанов. Агрохимические особенности пахотного слоя и подстилающих его горизонтов подзолистых почв	5
А. Т. Кирсанов. Усвоение P_2O_5 растениями на различных горизонтах обыкновенного чернозема	31
Б. А. Ганжа. Профильное изучение плодородия обыкновенного чернозема и подзолов	47
А. Г. Сенюшов. Кислование как фактор активирования плодородия чернозема	99
А. Т. Кирсанов, А. О. Саникидзе, Т. Г. Бакрадзе. Хлороз виноградной лозы в зависимости от свойств почвы и удобрений	129
М. М. Кононова. Влияние обменных оснований на процессы разложения органического вещества в почве	167

CONTENTS

A. Kirsanov. Agrochemical peculiarities of the arable layer and the podzolised horizons	45
A. Kirsanov. Assimilation of P_2O_5 by plants in different horizons of common chernozem	95
B. Ganja. The fertility of different horizons of chernozem and podzol soils	
A. Senjushov. Acidifying as a factor activating chernozem fertility	128
A. Kirsanov, A. Sanikidse, T. Bakradse. The Influence of the nature of soils and fertilizers on the Chlorosis of grapevine	162
M. Kononova. Influence of Exchangeable Bases upon the Processes of Decomposition of Organic in Soils	196