

АКАД. В. Б. ГЕДРОЙЦ

ПОЧВЕННЫЙ  
ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС  
РАСТЕНИЙ  
И УДОБРЕНИЕ



СЕЛЬХОЗГИЗ

1955

НАУЧНЫЙ ИНСТИТУТ ПО УДОБРЕНИЯМ (НИУ) НКТП

631.4  
Г-28

Акад. К. К. ГЕДРОЙЦ

# ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС РАСТЕНИЕ и УДОБРЕНИЕ

СТАТЬИ И МАТЕРИАЛЫ ПО ОПЫТАМ  
НА ДОЛГОПРУДНОМ ОПЫТНОМ ПОЛЕ  
НИУ за 1930 — 1933 гг.

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ  
Ф. Н. ГЕРМАНОВА

19363

Гидрохим



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СОВХОЗНОЙ И КОЛХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ — «СЕЛЬХОЗГИЗ»

МОСКВА

1935

ЛЕНИНГРАД

Книга состоит из двух частей. Первая часть — посмертные труды акад. К. К. Гедройца в области почвенного поглощающего комплекса. Вторая часть — продолжение начатых К. К. Гедройцем работ в этой же области. Приведенные во второй части материалы публикуются впервые. Книга рассчитана на квалифицированные кадры работников в области агрохимии и почвоведения.

О всех замечаниях читателей по этой книге сообщайте по адресу: Москва, Никольская 10, Сельхозгиз.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Преждевременная смерть академика Константина Казтановича Гедройца прервала его исследования по изучению почвенного поглощающего комплекса и явлений, связанных с ним, на наиболее интересном теоретически и важном практически этапе развития.

После того как у Константина Казтановича оформилось учение о почвенном поглощающем комплексе, им же был поставлен вопрос о применении этого учения к запросам земледелия. Эта стадия работ акад. К. К. Гедройца, названная им самим «агрономизацией почвенного поглощающего комплекса», является логическим развитием его учения о почвенном поглощающем комплексе и направлена на изучение взаимодействия между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением. Уже первые исследования в этом направлении показали все громадное теоретическое и практическое значение этих работ в химизации земледелия и коренного улучшения производительности почв. Они открыли новые возможности повышения урожайности полей нашего Союза и поставили новые исследовательские проблемы, разрешение которых должно будет еще более углубить наши знания в области агрономии и нашу практику в борьбе за урожай.

Научный институт по удобрениям НКТП, стремясь к тому, чтобы исследования акад. К. К. Гедройца были опубликованы и могли получить дальнейшее развитие, прежде всего приступил к приведению в порядок и ясность всего материала, оставшегося после смерти акад. К. К. Гедройца по его работе в НИУ.

При составлении данного сборника редакция руководствовалась следующими соображениями. С одной стороны, необходимо было собрать и издать все статьи акад. К. К. Гедройца, как опубликованные им ранее в различных журналах, а потому трудно доступные для широкого круга читателей, так и оставшиеся неизданными и хранящиеся до настоящего времени в рукописях. С другой стороны, представляли огромный интерес и научное значение издать материалы по вегетативным опытам и лабораторным исследованиям,

заложенным акад. К. К. Гедройцем и проведенным или лично им или его учениками при его непосредственном участии в 1930—1932 гг., по законченным и систематизированным уже после смерти Константина Казановича. И наконец представлял не меньший интерес опубликовать результаты последствий в 1933 г. опытов предыдущего года.

Все эти труды и материалы, объединяемые темой «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение», и составили выпускаемый сборник, который тем самым является завершением работ акад. К. К. Гедройца, опубликованных им еще при его жизни.

Редакция

## КРАТКАЯ БИОГРАФИЯ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА

Константин Каэтанович Гедройц родился 25 марта 1872 г. в Бендерах, Бессарабской губернии.

Отец его, военный врач, намеревался дать ему военное образование. Поэтому первые годы обучения Константина Каэтановича прошли в Киевском кадетском корпусе. По окончании последнего он поступил в Артиллерийское военное училище. Однако по состоянию своего здоровья (тогда уже был обнаружен у него порок сердца) Константин Каэтанович оставляет со второго года военное училище и поступает в 1891 г. в С.-Петербургский лесной институт.

По окончании в 1897 г. Лесного института он сперва работает в Статбюро Министерства земледелия, а затем в 1899 г. — в С.-х. химической лаборатории, руководимой в то время П. С. Коссовичем. Одновременно с работой в этой лаборатории он проходит курс университета и в 1903 г. экстерном сдает государственный экзамен при С.-Петербургском университете. Его первая дипломная работа «Электрический метод Whintney и Meap для определения солонцеватости почв» напечатана в «Журнале опытной агрономии» в 1900 г.

П. С. Коссович сразу же оценил научно-исследовательские дарования Константина Каэтановича и, не загружая его излишние административно-хозяйственными обязанностями, предоставил ему возможность более полно использовать свое время для научно-исследовательских работ. Первые его работы касались главным образом вопросов плодородия почв и действия удобрений. Некоторые вопросы, которые интересовали К. К. Гедройца в то время, как например вопрос вредного действия избыточных доз извести на некоторых кислых почвах, окончательное разрешение получили в последние годы его жизни. Довольно много внимания в этот период своей работы Константин Каэтанович уделял вопросам методики химических исследований и вегетационного опыта. Впоследствии эти его работы вылились в его «Химический анализ почв», началом которого надо считать его работу «Методы химического анализа почв, принятые в С.-х. химической лаборатории», Труды С.-х. химической лаборатории Министерства земледелия, 1909 г., вып. VII.

В 1908 г. Константин Каэтанович публикует свою работу «Коллоидная химия и почвоведение», которая послужила началом ряда его талантливых исследований, оформившихся впоследствии в получившем мировую известность «Учении о поглотительной способности почв». Непосредственно с этими работами связаны его мно-

гочисленные и глубокие исследования солончаков и солонцов, установившие сущность солонцеватого типа почвообразования и давшие правильные пути мелиорации этих почв (1912 г.). Дальнейшее развитие эти работы получили на Носовской с.-х. опытной станции, где Константину Казановичу пришлось иметь дело с изучением осоложденных почв и солодей (1922 г.).

Обосновав своими работами глубокое понимание процессов почвообразования и процессов, совершающихся в уже оформившихся почвах, Константин Казанович в последний период своей научной деятельности ставит вопросы агрономизации почвенного поглощающего комплекса и в этом направлении развивает свои дальнейшие исследования. Но к сожалению преждевременная смерть Константина Казановича прерывает его блестящие исследования на наиболее существенной для социалистического сельского хозяйства стадии его работ.

Громадные заслуги научных работ Константина Казановича перед социалистическим земледелием и мировой наукой сделали его имя известным далеко за пределами нашего Союза.

Уже в 1927 г. он избирается сначала корреспондентом, а затем в 1929 г. действительным членом Академии наук СССР; в 1930 г. он — действительный член Всеукраинской академии наук. Международное общество почвоведов избирает его своим президентом. В 1927 г. Константин Казанович за свои работы награждается премией имени Ленина.

Проводя углубленные исследования в лаборатории Лесного института, Константин Казанович в то же время принимает ближайшее участие в работах других научно-исследовательских учреждений. Так с 1908 по 1930 г. он работает в отделе почвоведения ГИОА; с 1918 по 1930 г. — в Почвенном институте Академии наук, сначала научным сотрудником, а затем директором этого института. С 1914 г. он принимает участие в организации Носовской с.-х. опытной станции, где по его указаниям и планам строятся химическая лаборатория и вегетационный домик. С 1923 г. он принимает непосредственное участие в работах этой станции в качестве заведующего агрохимическим отделом. В 1926 г. он руководит почвенной экспедицией этой станции сперва по обследованию солонцов и осоложденных почв, а затем и всего почвенного покрова приднепровской низины.

В 1930 г. Константин Казанович переносит свою работу в Москву на Долгопрудное опытное поле Научного института по удобрениям НКТП, где ему создаются благоприятные условия для его работ по агрономизации почвенного поглощающего комплекса.

Константин Казанович принимает также ближайшее участие в «Журнале опытной агрономии» сперва как сотрудник, а затем, с 1915 по 1931 г.; как редактор этого журнала. В Москве с самого начала издания журнала «Химизация социалистического земледелия» он становится председателем редакционной коллегии этого журнала.

Одновременно со своими научно-исследовательскими работами Константин Казанович занимается и преподавательской деятельностью. Он читает лекции по почвоведению в Ленинградском агрономическом институте, а с 1919 г. назначается профессором кафедры почвоведения Ленинградского лесного института.

Константин Казанович относится к тому типу передовых научных работников, который сразу и без колебаний принял Октябрьскую революцию и активно содействовал ей. Он состоял членом ВАРНИТСО и за несколько дней до своей смерти подал заявление о принятии его в ряды партии ВКП(б).

Высокие качества акад. Г е д р о й ц а как человека, громадная осведомленность его во всех областях человеческого знания, умение понимать людей, особенно молодых, начинающих научных работников, делают личность Константина Казановича незабвенной; тем тяжелее была утрата его для тех, кто имел с ним хотя бы кратковременное общение.

Умер К. К. Г е д р о й ц 5 октября 1932 г. внезапно от разрыва сердца, полный энергии и сил для предстоящей творческой работы.

**Ф. Н. Гермапов**

## РАБОТЫ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА НА ДОЛГОПРУДНОМ ОПЫТНОМ ПОЛЕ НАУЧНОГО ИНСТИТУТА ПО УДОБРЕНИЯМ НКТП (НИУ)

Академик Константин Казанович Гедройц, перенося свою работу в Москву на Долгопрудное опытное поле Научного института по удобрениям НКТП, намечал широко развернуть исследования по вопросу агрономизации почвенного поглощающего комплекса, т. е. в направлении изучения взаимоотношения между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением.

Это направление его работ тесно связано со всеми предыдущими его работами, проводимыми им в Ленинграде и на Носовской с.-х. опытной станции, и является логическим развитием его учения о почвенном поглощающем комплексе. Путь от практических вопросов земледелия к глубокому теоретическому обоснованию их — путь научного творчества акад. К. К. Гедройца. Само учение о поглотительной способности почв возникло у него «из стремления подойти к выяснению двух чисто практических вопросов, а именно: способов мелиорации щелочных (солонцов) и кислых (оподзоленных) почв».

В одной из своих последних работ акад. К. К. Гедройц еще определеннее формулирует свое направление в изучении почвенного поглощающего комплекса. Он пишет: «Основной задачей, поставленной на разработку руководимой мною группы НИУ, было агрохимическое изучение почвенного поглощающего комплекса (точно сказать — агрономическое, так как сюда входит и агрофизическое изучение). Такого рода изучение начато мною давно, собственно говоря, оно шло параллельно с моим изучением явлений поглощения и почвенного поглощающего комплекса, но достаточно широко оно могло развернуться лишь после того, как я оформил учение о почвенном поглощающем комплексе (1923/24 г.)»<sup>1</sup>. Таким образом основные работы акад. К. К. Гедройца на Долгопрудном опытном поле по изучению почвенного поглощающего комплекса были направлены к познанию свойств почвы как среды для с.-х. растений, обуславливаемых наличием в ней коллоидальной фракции — этой высокодисперсной, с большой удельной поверхностью и с сильно выраженной реакционной способностью части почвы.

<sup>1</sup> Отчет агрохимического отдела НИУ о взаимоотношении между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением.

Проведению работ по изучению почвенного поглощающего комплекса в указанном направлении наиболее благоприятствовала тесная увязка их с работами Научного института по удобрениям, единственного в то время научно-исследовательского института, в центре работ которого стояли вопросы удобрений и применения их в земледелии. Вопросы удобрений и химизации земледелия вообще требуют углубленных знаний о почвенном поглощающем комплексе, и такие мероприятия, как известкование, гипсование, фосфоритование почв и др., которые являлись основными вопросами работ НИУ, по существу теснейшим образом были связаны с вопросами почвенного поглощающего комплекса. Кроме того возможность использования полевого участка Долгопрудного опытного поля для проведения исследований в естественных условиях почвы являлась одним из положительных моментов в переходе акад. К. К. Гедройца в Научный институт удобрений.

Учитывая все громадное значение своих работ для практики социалистического с.-х. производства, конечной целью которого является повышение урожайности полей и создание устойчивых урожаев, акад. К. К. Гедройц предполагал в дальнейшем привлечь ряд специалистов для всестороннего изучения почвенного поглощающего комплекса. Научный институт по удобрениям для осуществления этих планов приступил еще в 1930 г. к постройке лаборатории для работ акад. К. К. Гедройца, которая однако была закончена уже после его смерти, в ноябре 1933 г. В 1931 г. там были построены вегетационный домик на 2 500 сосудов и при нем летняя лаборатория для обслуживания вегетационных опытов.

Работы акад. К. К. Гедройца, проводимые им в Научно-исследовательском институте по удобрениям НКТП за период с 1930 по 1932 г., могут быть разбиты на три группы:

- 1) изучение почвенного поглощающего комплекса как такового — процессов разрушения и образования его в почвах;
- 2) роль обменных катионов, состава и соотношения их в почвенном поглощающем комплексе, в определении основных и агрономических свойств почвы;
- 3) изучение биологических свойств почв в зависимости от свойств их поглощающего комплекса<sup>1</sup>.

### **1. ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС; ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ ЕГО В ПОЧВЕ**

К этому разделу работ должны быть отнесены исследования акад. К. К. Гедройца и его сотрудников по изучению химического состава коллоидальных фракций различных почв. Самим акад. К. К. Гедройцем были выделены из кубанского чернозема, из слоя 80—100 см, коллоидальная и другие механические фракции после полного насыщения навески почвы натром и произведено определение полного валового состава их. На основании этих данных акад. К. К. Гедройц приходит к выводу, согласно с выводом, сделанным сотрудниками Bureau of Soils США, что чем больше разрушена алю-

<sup>1</sup> Материалы по этим вопросам не включены в этот сборник.

мосиликатная часть почвы, тем меньше в коллоидальной ее фракции и абсолютное и относительное содержание кремнекислоты.

Исследование химического состава коллоидальных фракций различных почв показало, что в черноземных почвах мы имеем наряду с обменным кальцием, хотя и в меньших количествах, и кальций необменный, в то время как для подзолистых почв необменный кальций отсутствует. На основании этого акад. К. К. Гедройц высказал мнение, что образование поглощающего комплекса черноземных почв происходит главным образом дисперсионным путем; в подзолистых же почвах превалирующее значение в образовании этого комплекса имеет конденсационный путь.

— Определение наибольшей гигроскопичности коллоидальных фракций различных почв показало, что для различных почв на 1 г коллоидов приходится различное количество поглощенной парообразной воды. Такое же различие в количествах поглощенной воды на 1 г коллоидов было получено и в работах Носовской станции для различных почв лесостепи Украины. Как видно из данных табл. 1, мы имели на 1 г коллоидов поглощенной парообразной воды от 0,30 до 0,45 г. На основании этих данных, а также и тех соображений, что степень дисперсности коллоидальных фракций различных почв и количество гуматных коллоидов в них должно быть различно, акад. К. К. Гедройц делает вывод, «что вычисление количества коллоидов почвы по наибольшей гигроскопичности на основании одного среднего коэффициента не может дать более или менее точных результатов» (акад. К. К. Гедройц. Учение о поглощательной способности почв, стр. 121).

Таблица 1

Количество адсорбированной воды на 1 г коллоидов различных почв (анализ Ф. Н. Германова и Е. Д. Гейна)

П о ч в ы	Коллоидальная фракция %	Наибольшая гигроскопичность всей почвы %	На 1 г коллоид. поглощенной воды
Чернозем Каменно-стени. ст.	34,96	11,19	0,32
» Красноградской »	28,71	9,15	0,31
» Сумской »	18,12	6,13	0,34
» Носовской »	8,75	3,99	0,46
» Макиевской »	11,42	5,10	0,45
» Белоцерковской »	13,77	4,39	0,32
Лесной суглинок Полтавск. ст.	19,88	5,96	0,30

К группе вопросов о почвенном поглощающем комплексе как таковом относятся также исследования акад. К. К. Гедройца по изучению органической части поглощающего комплекса и выявлению роли гуматных коллоидов в явлениях обмена. Данные этих исследований и соответствующие выводы приведены в его работе «Действие перекиси водорода на почву», напечатанной в журнале «Удобрение и урожай» за 1931 г. в № 10—11 и помещенной в настоящем сборнике. Установивши способ перекисью водорода разделять

гуматную часть почвенного поглощающего комплекса от минеральной части, акад. К. К. Гедройц занялся изучением свойств минеральных коллоидов почвы, их дисперсности и способности их к явлению обмена. Эта его работа, начатая им в самое последнее время, осталась далеко не законченной.

Большое значение в понимании агрономических свойств почвы акад. К. К. Гедройц придавал изучению процессов разрушения поглощающего комплекса почв и потере ими в силу этого коллоидальной части. По этому поводу он пишет: «Это—один из наиболее интересных и существенных вопросов, относящихся к почвенному поглощающему комплексу, так как комплекс этот представляет наиболее ценную часть почвы и по мере его разрушения почва все более и более переходит из совокупности очень сложных и сравнительно мало устойчивых соединений, обуславливающих ее жизнь и ее пригодность как среды для жизни растений и микроорганизмов, придающую ей высокую реакционную способность и резко выраженную отзывчивость на любые изменения внешних условий, в смесь простых и устойчивых соединений, т. е. в мертвое тело» («Учение о поглотительной способности почв», изд. 3-е, стр. 164).

Вопросы эти для нас в силу большого распространения в нашем Союзе солончаковых и солонцовых почв приобретают особенно существенное значение, так как «среди всех типов почвообразования солонцовый тип отличается наибольшей неустойчивостью своего поглощающего комплекса» («Учение о поглотительной способности», изд. 3-е, стр. 174). В этих почвах под действием воды происходит наиболее энергичное разрушение поглощающего комплекса как вымыванием его из почвенной толщи, так и разрушением алюмосиликатного ядра этого комплекса до конечных продуктов его распада ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

В работах Носовской с.-х. опытной станции, проводимых под руководством акад. К. К. Гедройца, было установлено, что осоложденные почвы и солоды приднепровской низины в процессе своего генезиса потеряли часть своей коллоидальной фракции<sup>1</sup>, в силу чего эти почвы характеризуются пониженной по сравнению с другими нормальными черноземными и нечерноземными почвами лесостепи Украины удельной поверхностью, а следовательно и своей энергией поверхности, слабой их химической<sup>2</sup> и биологической<sup>3</sup> деятельностью, иными словами, ослаблением всей энергетики почвы. Как результат ослабления энергетики этих почв мы имеем низкую урожайность и слабую отзывчивость их на удобрения<sup>4</sup>.

Изучение процессов разрушения почвенного поглощающего комплекса и условий, при которых эти процессы протекают, представ-

<sup>1</sup> Акад. К. К. Гедройц. «К вопросу о естественно-историческом районе Носовской с.-х. опытной станции», изд. Носовской станции, вып. 38, и Германов Ф. Н. «Осолодевший чернозем Носовской с.-х. опытной станции и его агрономические свойства» (монография). Рукопись.

<sup>2</sup> Акад. Е. К. Гедройц. Предисловие к работе Тарановской В. Г. и Германова Ф. Н. «Нитрификация в черноземе Носовской станции», изд. Носовской станции, вып. 45.

<sup>3</sup> Германов Ф. Н. «Биология и биодинамика солончаков, солонцов и осоложденных почв», «Почвоведение», № 3, 1933 г.

<sup>4</sup> Кузнецкий С. П. «Отличительные черты полеводства Черниговщины» изд. Носовской станции, вып. 17 и 46.

ляет интерес не только потому, что глубокий распад поглощающего комплекса приводит к понижению плодородия почв, что мы имеем в случае осолодненных почв, но и потому, что с той или иной степенью выраженности этого процесса связано плодородие почвы отдельными питательными элементами. Работы по этим вопросам не были еще опубликованы акад. К. К. Гедройцем, и здесь приводится тот цифровой материал, который взят и обработан из черновых записей его рабочей тетради.

### Действие воды на почву

Исследование это, начатое акад. К. К. Гедройцем, продолжалось после его смерти Ф. Н. Германовым. Для выяснения действия водородного иона воды на поглощающий комплекс почвы при постоянном промывании почвы небольшими количествами воды акад. К. К. Гедройцем был взят 1 кг чернозема Каменностепной станции и на бюхеровской воронке промывался каждый раз 100 см<sup>3</sup> воды. Фильтрат собирался, и каждый литр собранного фильтрата анализировался отдельно. Результаты анализов промывных вод приведены в табл. 2. Данные анализов показывают, что количество веществ, извлекаемых из почвы при промывании ее водою, увеличивается с увеличением количества воздействующей воды и достигает максимума при 7—8 литре промывных вод. Затем, с последующим промыванием количество извлекаемых из почвы веществ постепенно падает, но и в последнем, 17 литре промывных вод содержатся почти такие же количества растворимых веществ, как и в первом.

Таблица 2

Анализ фильтрата от промывания чернозема Каменностепной станции водою (в граммах на 1 л фильтрата)

Число литров	Остаток		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO <sub>2</sub>	Ca	Mg	Щелочи в %/100 0,02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	рН	Кто провела анализ
	сухой	пром.							
1	0,3400	0,2800	0,0260	0,0032	0,0889	0,0164	100	7,85	Акад. К. К.
2	0,3372	0,1534	0,0300	0,0036	0,0818	0,0112	200	7,07	Гедройц
3	0,3180	0,1648	0,0364	0,0036	0,0648	0,0124	232	8,11	То же
4	0,3800	0,2256	0,0336	0,0036	0,0812	0,0156	278	7,86	»
5	0,5476	0,2992	0,0332	0,0044	0,1211	0,0232	384	7,84	»
6	0,6172	0,3264	0,0340	0,0052	0,1281	0,0284	382	—	Ф. Германов
7	0,6392	0,3084	0,0300	0,0056	0,1377	0,0336	382	—	нов
8	0,7000	0,2800	0,0268	0,0068	0,1129	0,0296	360	7,86	Акад. К. К.
9	0,5388	0,2708	0,0308	0,0072	0,0881	0,0256	350	—	Гедройц
10	0,4020	0,2112	0,0280	0,0032	0,0862	0,0231	300	—	То же
11	0,3376	0,1836	0,0276	0,0032	0,0780	0,0208	276	—	Ф. Германов
12	0,3488	0,1520	0,0276	0,0024	0,0742	0,0078	81(?)	7,88	С. Попов
13	0,3092	0,1812	0,0260	0,0020	0,0672	0,0069	206	7,84	»
14	0,2840	0,1640	0,0240	0,0060	0,0640	0,0014	209	7,87	»
15	0,2600	0,1400	0,0272	0,0040	0,0576	0,0096	196	7,80	»
16	0,2436	0,1500	0,0272	0,0040	0,0564	0,0097	198	7,86	»
17	0,2460	0,1600	0,0216	0,0072	0,0624	0,0100	214	7,86	»
Всего	6,8492	3,6506	0,4860	0,0752	1,4496	0,2853	—	—	
В мг-экв. на 100 г почвы	—	—	0,405	0,0737	7,25	2,38	—	—	

Ту же кривую постепенного возрастания и затем медленного падения дают и отдельные элементы вытяжки:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , Ca, Mg и щелочность. Так как взятый чернозем является почвою бескарбонатною и углесолей кальция и магния в нем почти не содержится, то извлеченные количества Ca и Mg надо отнести за счет поглощенных количеств их в почве в результате замещения их водородным ионом воды. Следовательно при воздействии воды на чернозем даже при той концентрации водородных ионов, какая имеется при этом в почвенном растворе, может протекать реакция обмена между ионами водорода и поглощенными катионами почвы; этому будет способствовать высокая энергия поглощения водородного иона. В условиях данного опыта вхождению водородного иона в почвенный поглощающий комплекс благоприятствовало еще и то, что защитная роль других катионов почвенного раствора в силу постоянного выноса их из почвы была сведена до минимума. В естественных условиях черноземных почв (насыщенных Ca и Mg) реакция обмена между поглощенными основаниями почвы и водородным ионом тоже должна иметь место, но там этот процесс должен быть выражен слабее в силу большего проявления защитного действия других катионов почвенного раствора.

Определение емкости поглощения взятого чернозема методом Е. В. Бобко и Д. Л. Аскинази до и после промывания его водою показало, что промыванием емкость обмена понизилась с 56,14 до 49,55 мг-экв., т. е. на 6,59 мг-экв. Следовательно только часть поглощающего комплекса данного чернозема по окончании промывания его водою содержала поглощенный водород в количестве 3,08 мг-экв., остальная же часть этого комплекса, насыщенная водородом, в процессе промывания почвы водою была разрушена до конечных продуктов распада  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , в результате чего мы и имеем пониженные емкости обмена к концу опыта на 6,59 мг-экв. Образующиеся продукты распада алюмосиликатного ядра почвенного поглощающего комплекса выносились из почвы водою, в результате чего в промывных водах содержались  $\text{SiO}_2$  и полуторные окислы. Всего из 1 кг чернозема 17 литрами воды было вынесено  $\text{SiO}_2$ —0,4860 г и  $\text{R}_2\text{O}_3$ —0,0752 г, или соответственно в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы  $\text{SiO}_2$ —0,405 и  $\text{R}_2\text{O}_3$ —0,074.

Для того чтобы иметь представление о том, выносятся ли образующаяся в процессе распада поглощающего комплекса почвы кремниевая кислота или она накапливается в аморфном виде в почве, нами было произведено определение аморфной  $\text{SiO}_2$  извлечением ее из почвы 5% раствором КОН.

Таблица 3

Количество  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , извлекаемые из почвы 5%-ным раствором КОН (анализ Ф. Германова)

П о ч в а	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
	в %		в мг-экв.		
До промывания . . . . .	1,138	0,646	9,483	6,333	1,49
После промывания . . . . .	1,018	0,526	8,483	5,156	1,64

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что в почве после промывания ее водой отношение  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  несколько выше, чем в почве до опыта. Следовательно не вся кремнекислота выносила водоем из почвы, небольшая часть ее в условиях опыта задерживалась почвоем. Но так как в данном случае мы имеем в промывных водах преобладание  $\text{SiO}_2$  над  $\text{R}_2\text{O}_3$ , то показателем распада алюмосиликатного ядра поглощающего комплекса в нашем опыте мы можем принять величину  $\text{R}_2\text{O}_3$ . Тогда пересчет данных  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , извлекаемых из почвы водоем, показывает, что эти количества соответствуют 0,1636 г алюмосиликата (по формуле  $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ) на 1 кг почвы, т. е. в условиях нашего опыта в результате воздействия 17 л воды на 1 кг чернозема Каменностепной станции было разрушено до конечных продуктов распада 0,1636 г алюмосиликатной части почвенного поглощающего комплекса. В естественных условиях почвы процесс разрушения почвенного поглощающего комплекса под воздействием воды будет также иметь место даже тогда, когда вся емкость обмена данной почвы будет насыщена Ca и Mg (черноземные почвы). Однако в силу иных условий в естественной почве процесс разрушения поглощающего комплекса должен протекать менее интенсивно и несколько отличо, чем в нашем опыте. Повидимому в почве будет накапливаться больше аморфной кремнекислоты. В естественных условиях почвы в результате протекания процесса разрушения поглощающего комплекса в почвенный раствор будут поступать продукты распада и вызывать ряд вторичных процессов, которые так или иначе будут менять состав почвенного раствора. Изучение этих процессов представляет большой интерес в связи с динамикой некоторых питательных веществ в почве.

В результате промывания чернозема водоем в промывных водах содержится гораздо больше кремнекислоты, чем полуторных окислов. Воздействие воды на почву следовательно идет в направлении большего обеднения почвы кремнекислотоем, чем полуторными окислами, что вполне согласуется с данными валового состава коллоидальных фракций различных почв.

### Действие на почву растворов различных кислот

Действие водородного иона воды на почву в зависимости от сопутствующих условий может привести, как мы видели, к той или иной степени распада почвенного поглощающего комплекса. Увеличение концентрации водородного иона в почвенном растворе в результате подкисления почвы кислотоем должно вызвать большую степень распада почвенного поглощающего комплекса, на что акад. К. К. Гедройц указывал еще ранее в своих работах. Для установления количественного выражения степени распада почвенного поглощающего комплекса при воздействии на почву слабых растворов кислот, а также для освещения некоторых вопросов методики получения почв, не насыщенных основаниями, акад. К. К. Гедройц произвел ряд исследований по вопросу воздействия слабых растворов кислот на почву.

1. Действие 0,05N раствора HCl в отношении почвы к раствору кислоты, как 1:1. Взято 25 кг чернозема Каменностепной станции в воздушносухом состоянии.

в большом стеклянном сосуде взбалтывалось с 22,6 л 0,05N раствора HCl. После полного отстаивания сливали сифоном 9 050 см<sup>3</sup> отстаившегося над почвою раствора и анализировали его. Всего произведено 10 таких сливаний. Результаты анализов отстоев приведены в табл. 4. Из этих данных мы видим, что при воздействии 0,05N раствора HCl при условии, когда продукты взаимодействия почвы с раствором не удалялись, количества Ca и Mg во всех порциях отстоя были более или менее одинаковы; полуторных окислов в первых порциях отстоя не было обнаружено, но в последующих порциях количества их сильно возрастали; содержание SiO<sub>2</sub> во всех порциях почти одинаково. Всего с 90,9 л раствора было извлечено из 22,6 кг почвы: кальция — 65,13 г, магния — 9,55 г, что соответствовало в миллиграммэквивалентах на 100 г почвы Ca—13,02 и Mg—3,18, а в сумме Ca и Mg извлечено 16,2 мг-экв. Количество всей кремнекислоты, извлеченной из почвы, равнялось 8,8309 г, а полуторных окислов — 1,7221 г, что в миллиграммэквивалентах на 100 г почвы составляет Si<sub>2</sub>O—0,294, а R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—0,067, т. е. в условиях данного опыта при соотношении почвы к раствору, как 1 : 1, и когда продукты взаимодействия раствора и почвы не удалялись, мы имели несколько меньшие количества продуктов распада почвенного поглощающего комплекса при воздействии на него 0,05N раствором HCl, чем в случае воздействия воды. Это несоответствие с нашими представлениями возможно объяснить тем, что в данном опыте в случае воздействия 0,05N раствора HCl могло проявиться защитное действие солей, которые не удалялись из сферы взаимодействия и тем предохраняли почвенный поглощающий комплекс от разрушения. Возможно также, что в данном опыте были созданы иные условия для перехода в раствор кремнекислоты и полуторных окислов, что и могло отразиться на их количествах в растворе.

Таблица 4

Воздействие 0,05N раствора HCl на почвенный поглощающий комплекс (отношение почвы в раствору 1:1) (в г на количество отстоя)

Число отстоев	Колич. отстоя	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	Mg	Кто производил анализ
I . . . . .	9050	0,7602	Следы	6,26	1,02	Акад. К. К. Гед- ройц То же С. Г. Шедеров » » » » » » »
II . . . . .	9050	0,8507	»	6,34	1,02	
III . . . . .	9050	0,6690	Нет	6,37	1,18	
IV . . . . .	9050	0,4880	0,0181	3,84	0,65	
V . . . . .	9050	0,8130	0,0200	6,95	1,01	
VI . . . . .	9050	0,7920	0,0900	6,02	0,92	
VII . . . . .	9050	1,0190	0,1820	6,53	0,93	
VIII . . . . .	9050	1,2670	0,5070	6,44	0,91	
IX . . . . .	9050	0,9590	0,3620	6,85	0,95	
X . . . . .	9050	1,2130	0,5430	6,53	0,96	
Извлечено из 25 кг	—	8,8309	1,7221	65,13	9,55	
В мг-экв. на 100 г почвы . . . . .	—	0,294	0,067	13,02	3,18	

Здесь же, как и в случае воздействия воды на почву, мы имеем большое преобладание в растворе кремнекислоты над полуторными окислами, т. е. и здесь в условиях действия повышенных концентраций водородного иона на почвенный поглощающий комплекс последний больше обедняется кремнекислотой, что должно привести к более узкому соотношению  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  в коллоидальной фракции почв, отношение (молекулярное)  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  и по отдельным сливаниям не одинаково. Как видно из табл. 5, в первых сливаниях не было обнаружено полуторных окислов, в последующих сливаниях количества полуторных окислов в растворе все возрастают, и отношения  $\text{SiO}_2$  к ним уменьшается. Следовательно при более глубоком распаде алюмосиликатного ядра поглощающего комплекса идет не только отщепление  $\text{SiO}_2$  от алюмосиликатов, но и происходит более интенсивный распад уже кислых алюмосиликатов до конечных продуктов распада.

Таблица 5

Отношение (молекулярное)  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  при воздействии на почву 0,05N раствором HCl

Сливания	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$\text{SiO}_2$ . . . . .	6,33	7,08	5,57	4,06	6,77	6,60	8,49	10,55	7,99	10,10
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	Сл.	Сл.	Нет	0,17	0,20	0,88	1,88	4,97	3,54	5,32
$\text{SiO}_2 + (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$	∞	∞	∞	23,88	33,85	7,50	4,51	2,14	2,25	1,89

2. Действие на почву 0,05N раствора HCl и 1,0N раствора уксусной кислоты при отношении почвы к раствору, как 1 : 40. Навески по 25 г чернозема Каменностешной станции и подзола Крюковского опытного поля НИУ обрабатывались 1 000 см<sup>3</sup> соответствующих растворов соляной и уксусной кислот, по прошествии суток это отфильтровывалось и для анализа бралось по 500 см<sup>3</sup> фильтрата. Данные анализа, приведенные в табл. 6, показывают, что при взятом соотношении почвы к кислотному раствору (1 : 40) соляная кислота вытесняет 57,5 мг-экв., т. е. все обменные катионы из чернозема, в то время как уксусная кислота—всего только 44,6 мг-экв. Для подзола 0,05N раствор HCl вытесняет в сумме Ca и Mg 12,5 мг-экв., а 1,0N раствор уксусной кислоты при тех же условиях—10,0 мг-экв., т. е. и здесь водородный ион уксусной кислоты вытесняет обменных оснований меньше, чем HCl. Таким образом одинарным настаиванием навески почвы в течение суток с 0,05N раствором HCl при отношении почвы к раствору, как 1 : 40, можно извлечь все обменные катионы (табл. 6).

Количества кремнекислоты и полуторных окислов, переходящих в раствор, при таком соотношении почвы к раствору гораздо выше, чем в предыдущем опыте при воздействии HCl такой же нормальности, но при отношении почвы к раствору, как 1 : 1. В раствор переходит и из чернозема и из подзола также больше  $\text{SiO}_2$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$  при воздействии 0,05N раствора HCl, чем при действии 1,0N раствора уксусной кислоты. Во всех этих случаях отношение  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  различно. В табл. 7 приведены данные отношений (молекулярное)  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 +$

Действие на чернозем и подзол различных кислот (в г на литр)  
(анализ принадлежит акад. К. К. Гедройцу)

Почвы	0,05N HCl				1,0N уксусн. кислота			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	Mg
В % на сухую почву								
Чернозем Каменноостепной станции . . . . .	0,420	0,565	0,945	0,124	0,182	0,089	0,731	0,097
Подзол Крюковского оп. поля . . . . .	0,096	0,415	0,137	0,068	0,027	0,093	0,132	0,041
В мг-экв. на 100 г почвы								
Чернозем Каменноостепной станции . . . . .	3,506	5,520	47,2	10,3	1,52	0,868	36,5	8,1
Подзол Крюковского оп. поля . . . . .	0,800	4,078	6,85	5,7	0,226	0,905	6,60	3,4

+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в фильтрате при воздействии на почву воды и кислотных растворов при различном соотношении почвы к раствору. Мы видим, что при действии воды и HCl при отношении почвы к раствору, равном 1, в раствор переходят гораздо большие количества SiO<sub>2</sub>, чем полуторных окислов. При действии больших количеств раствора HCl сравнительно с величиною навески почвы, когда в раствор переходит гораздо больше полуторных окислов, т. е. когда мы имеем более глубокий распад поглощающего комплекса, количества SiO<sub>2</sub>, переходящие в раствор, меньше количеств полуторных окислов, перешедших в раствор.

Таблица 7

Отношение (молекулярное) SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Почвы	Вода почва 1	0,05N HCl почва 1	0,05N HCl почва 1	1,0N уксусн. кислота почва 1
	вода 17	раствор 1	раствор 40	раствор 40
Чернозем Каменноостепной станции . . . . .	5,49	4,38	0,74	2,04
Подзол Крюковского оп. поля . . . . .	—	—	0,19	0,25

Такое уменьшение отношения SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> повидимому можно объяснить тем, что в последнем случае создаются условия, способствующие более быстрому переходу образовавшейся кремниескислоты в гель и задерживанию ее в почве на месте своего образования. При воздействии уксусной кислоты мы имеем абсолютно меньшие количества переходящих в раствор и SiO<sub>2</sub> и полуторных окислов,

т. е. имеем меньший распад поглощающего комплекса, чем в случае  $\text{HCl}$ , и отношение  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  здесь равно 2,04. Повидимому отношение  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  в растворе в какой-то мере связывается со степенью распада поглощающего комплекса. Этому мы находим подтверждение и в различных отношениях  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  для чернозема и подзола в одних и тех же опытах. При воздействии  $\text{HCl}$  и уксусной кислоты на подзол из него переходит в раствор полуторных окислов почти столько же, даже немного больше, чем из чернозема, в то время как в кремнекислоты переходят очень небольшие количества.

В результате этого в растворе из подзола мы имеем сильное преобладание полуторных окислов над кремнекислотою. Подзолы являются почвами, поглощающий комплекс которых уже частично разрушен в предшествующих стадиях их генезиса, и образовавшаяся при этом кремнекислота повидимому была уже вынесена промывающими их водами. При воздействии на такие почвы растворами кислот идет уже полный распад кислых алюмосиликатов с выделением полуторных окислов подобно тому, как мы имели при действии  $\text{HCl}$  на чернозем в последующих порциях отстоя (табл. 5).

#### Влияние $\text{NaOH}$ и $\text{Na}_2\text{CO}_3$ на почву, насыщенную $\text{Na}$

Действие воды на поглощающий комплекс почвы, насыщенной натром, акад. К. К. Гедройцем в достаточной мере было освещено в прежних его работах. Им было установлено значение процесса разрушения почвенного поглощающего комплекса при деградации солонцов (процесс осолодения). В настоящем исследовании он имел целью установить влияние  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  как источников гидроксильных ионов в почвенном растворе на процесс разрушения почвенного поглощающего комплекса.

Для этого им были взяты четыре навески почвы Каменностенного чернозема и промывались 1,0N раствором  $\text{NaCl}$  до полного насыщения всей емкости обмена натром. В две навески почвы (III и IV) еще до промывания было внесено по 2 г  $\text{CaCO}_3$ . По окончании насыщения к двум навескам почвы (I, II) прибавляли по 100 см<sup>3</sup> 0,1N раствора  $\text{NaOH}$  (pH=11,0), а к другим двум навескам (III и IV) прибавляли по 100 см<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (pH=11,0). 10 см<sup>3</sup> взятого раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  требовали для нейтрализации с фенолфталеином 4,5 см<sup>3</sup>, а с метилоранжем 9,04 см<sup>3</sup> 0,1N раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . После двух дней воздействия указанными растворами все навески почвы промывались водою; анализировался отдельно каждый литр фильтрата. Данные приведены в табл. 8. Они показывают, что при воздействии воды на почву, насыщенную натром, уже первым литром воды из почвы выносится почти половина всех воднорастворимых веществ.

В последующих литрах воды мы имеем иную картину воздействия воды, чем на исходном черноземе. Глубокий распад почвенного поглощающего комплекса происходит уже при воздействии первых порций воды, и содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$  в первом литре гораздо выше, чем в последующих литрах фильтрата. Количества  $\text{SiO}_2$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$  во всех трех литрах фильтрата из почв без  $\text{CaCO}_3$  достигают больших величин. Большого различия между действием  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  не наблюдаем; влияние  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  по сравнению с  $\text{NaOH}$  сказалось только на увеличе-

Таблица 8

Влияние NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> на почву, насыщенную Na  
(анализ акад. К. К. Гедройна)

	Остаток		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Гумус см <sup>3</sup> 0,05N KMnO <sub>4</sub>	pH
	сухой	прокал.					
<b>I. Навеска почвы, насыщенная Na+NaOH</b>							
1-й литр . . . . .	14,64	10,00	3,02	4,040	—	13,200	10,2
2-й » . . . . .	5,45	3,05	1,25	0,830	—	7,800	8,4
3-й » . . . . .	4,94	2,85	1,20	0,690	—	5,900	8,7
Всего в граммах . . . . .	25,03	15,90	5,47	5,56	—	25,900	—
В мг-экв. на 100 г почвы . . . . .	—	—	4,55	54,5	0,83	—	—
<b>II. Навеска почвы, насыщенная Na с CaCO<sub>3</sub>+NaOH</b>							
1-й литр . . . . .	9,94	7,61	0,98	1,376	—	5,400	10,5
2-й » . . . . .	4,96	3,37	0,84	0,50	—	3,320	8,8
3-й » . . . . .	4,54	3,16	0,71	0,68	—	3,080	8,9
Всего в граммах . . . . .	19,44	14,14	2,53	2,35	—	11,800	—
В мг-экв. на 100 г почвы . . . . .	—	—	2,10	2,30	0,91	—	—
<b>III. Навеска почвы, насыщенная Na+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>							
1-й литр . . . . .	13,76	8,76	2,30	3,496	—	12,400	8,8
2-й » . . . . .	7,02	3,91	1,54	1,04	—	10,100	8,4
3-й » . . . . .	5,70	2,80	1,01	0,66	—	8,800	8,4
Всего в граммах . . . . .	26,48	15,47	4,85	5,19	—	31,20	—
В мг-экв. на 100 г почвы . . . . .	—	—	4,04	5,08	0,79	—	—
<b>IV. Навеска почвы, с CaCO<sub>3</sub>, насыщенная Na+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>							
1-й литр . . . . .	9,56	7,64	1,064	0,840	—	5,200	9,7
2-й » . . . . .	5,67	3,67	0,83	0,55	—	4,600	8,7
3-й » . . . . .	5,72	3,80	1,02	0,65	—	4,400	8,8
Всего в граммах . . . . .	20,95	15,11	2,91	2,04	—	14,200	—
В мг-экв. на 100 г почвы . . . . .	—	—	2,42	2,00	1,21	—	—

или выноса гуматов и на понижении, хотя и небольшом, количестве SiO<sub>2</sub> и R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Присутствие CaCO<sub>3</sub> сильно понизило количества веществ, привлекаемых водою из почвы, и почти на половину ослабило процесс распада поглощающего комплекса. В присутствии CaCO<sub>3</sub> тоже не намечалось заметных различий в действии NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Таким образом та или иная степень скорости перехода в солонцах едкого натра в углекислый не должна иметь существенного значения в процессе рассолонцевания как карбонатных, так и бескарбонатных солонцов. В данном опыте отношение SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> меньше единицы, следовательно здесь должно идти накопление SiO<sub>2</sub> в почве, что вполне согласуется с данными акад. К. К. Гедройца о накоп-

лени в солодах аморфной кремнекислоты, как результат их генезиса. В почвах, где был внесен  $\text{CaCO}_3$ , это отношение ближе к единице или даже несколько выше, что также находится в соответствии с данными акад. К. К. Гедройца о количествах аморфной кремнекислоты в осоложденных почвах, развившихся из карбонатных соловцов.

### Влияние температуры на процесс разрушения водою поглощающего комплекса почвы, насыщенной натром

В целях более всестороннего освещения условий, могущих в той или иной степени влиять на процесс разрушения почвенного поглощающего комплекса, акад. К. К. Гедройц проводит предварительное исследование по выяснению влияния мороза на почву, насыщенную натром, в присутствии  $\text{CaCO}_3$  и без  $\text{CaCO}_3$ . Для этого исследования им было взято четыре навески кубанского чернозема по 10 г и обработаны 1,0N раствором NaCl до полного замещения всех обменных катионов на натр. В две навески было внесено по 2 г  $\text{CaCO}_3$ ; две навески — одна с  $\text{CaCO}_3$ , другая без  $\text{CaCO}_3$  — были поставлены на морозе в сарае; другие же две навески, тоже с  $\text{CaCO}_3$  и без  $\text{CaCO}_3$ , были оставлены в лаборатории при комнатной температуре. В таком виде все навески почвы с водою стояли в покое со 2 декабря 1930 г. по 25 марта 1931 г., т. е. 3 месяца и 23 дня. По прошествии этого времени чашки из сарая были перенесены в лабораторию и стояли все в одинаковых условиях до 9 апреля 1931 г., после чего все чашки были долиты водою до 1 л, взболтаны, отфильтрованы и фильтрат проанализирован. Данные анализа, приведенные в табл. 9, показывают, что содержание веществ в водной вытяжке из почв, стоявших на морозе, понижено; это относится как к сухому остатку, так и к отдельным элементам водной вытяжки. В этом отношении действие мороза на процесс разрушения поглощающего комплекса приближается согласно приведенным данным к защитному действию  $\text{CaCO}_3$ . Ближе влияние пониженных температур на процесс разрушения почвы не было изучено; по видимому здесь имеет значение уменьшение поверхности воздействующей воды на почву. Таким образом не только количество воздействующей воды и концентрация водородных ионов в почвенном растворе, но и другие факторы, как например температура, прямо или косвенно могут в той или иной степени влиять на процесс разрушения почвенного поглощающего комплекса.

Влияние мороза на процесс разрушения поглощающего комплекса почвы

	При комнатной темп.				
	Остаток		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	С
	сух.	пром.			
Почва насыщ. Na . . . . .	8,60	5,75	2,55	1,65	0,05
То же + $\text{CaCO}_3$ . . . . .	5,60	3,77	0,722	0,75	0,16

На основании данных, приведенных нами предварительных исследований акад. К. К. Гедройца по вопросу о процессе разрушения поглощающего комплекса почвы, можно прийти к выводу, что этот процесс в той или иной степени протекает в естественных условиях почв и выражен не только в почвах с поглощенным натром (солонцы) и в кислых подзолистых почвах, но присущ в известной степени и черноземным почвам. Этот процесс является процессом неустойчивым и зависит от многих условий. На степень интенсивности этого процесса оказывает большое влияние не только концентрация водородных ионов в почвенном растворе и степень удаления тем или иным путем продуктов распада, но и величина и состояние поглощающего комплекса, состав почвенного раствора, концентрация солей в нем, биологическая деятельность почвы и температура.

## 2. РОЛЬ ОБМЕННЫХ КАТИОНОВ, СОСТАВА И СООТНОШЕНИЯ ИХ В ПОЧВЕННОМ ПОГЛОЩАЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ И В ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСНОВНЫХ И АГРОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Второй раздел работ акад. К. К. Гедройца включает исследования, проводимые им по изучению явлений обмена в почве и роли обменных катионов, состава и соотношения их в почвенном поглощающем комплексе, в жизни растений и почвенных микроорганизмов. Акад. К. К. Гедройц придавал большое значение этому разделу своих работ, так как он считал, что «здесь мы повидимому имеем громадные возможности, изменяя состав обменных катионов в почве, повышать урожайность и использование урожаем как природных питательных элементов почвы, так и вносимых с удобрениями» («Учение о поглощательной способности почв», стр. 5). Такое значение в земледелии обменным катионам почвы принадлежит потому, что «обменная реакция вообще занимает первое место; она в качественном и количественном отношении будет для поглощающего комплекса и почвенного раствора реакцией первого порядка» («Учение о поглощательной способности почв»).

Поэтому при установлении агрономического значения почвенного поглощающего комплекса понимание зависимости почвенного раствора от поглощающего комплекса почвы должно явиться первой необходимой стадией работ в этом направлении. Акад. К. К. Гедройц считал, что «почвенный раствор в случае почв незасоленных является производным почвенного поглощающего комплекса» и что «он в каждый

Таблица 9

сыщенной натром (% на почву. Анализ акад. К. К. Гедройца)

pH	Н а м о р о з е					
	О с т а т о к		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	pH
	сух.	врск.				
7,20	5,82	3,20	1,18	0,98	0,038	7,18
7,93	4,80	3,70	0,770	0,73	0,0950	7,72

момент в отношении реакции взаимного обмена будет находиться с почвою в состоянии равновесия или в состоянии, близком к нему» («Учение о поглотительной способности почвы»).

Это, а также наличие на Долгопрудном опытном поле соответствующей обстановки, позволившей широко использовать вегетационный метод, послужили к тому, что вопросы зависимости роста растений от состава и соотношения обменных катионов получили наибольшее развитие в работе акад. К. К. Гедройца. Свои исследования о значении обменных катионов в жизни растений акад. К. К. Гедройц начал давно. Работы по изучению обменного Са им были проведены в 1912 г., а с обменными К, Na и  $\text{NH}_4$  — в 1913 г. Но только с 1928 г. ему удается поставить эти исследования в более широком масштабе в вегетационном домике ГИОА и на Носовской опытной станции, включив в эти исследования как обменные катионы, естественно встречающиеся, так и обычно не встречающиеся в почве. Эти же опыты были повторены им в 1930 г. и на Долгопрудном опытном поле НИУ. В этих опытах им было исследовано 16 элементов как обменные катионы при полном насыщении ими всей емкости обмена почвы. На основании результатов этих опытов, опубликованных им в ряде своих работ<sup>1</sup>, он делает вывод: «Из всех исследованных металлов как обменных катионов почвы только кальций (повидимому в той же мере и стронций) создает в почве при полном насыщении ее емкости обмена наиболее благоприятные условия для жизни растений».

Дальнейшие исследования по этому вопросу, проводимые акад. К. К. Гедройцем на Долгопрудном опытном поле, касались изучения физических и других свойств почвы, обусловливаемых присутствием в поглощающем комплексе изучаемого металла как обменного катиона. Данные этих исследований вошли в 3-е издание его «Учения о поглотительной способности почвы». Этим исследованиям он уделял большое внимание и в дальнейшем предполагал расширить и углубить эти работы.

Акад. К. К. Гедройц придавал большое значение также и изучению почв, полностью или частично насыщенных каким-либо одним металлом, как среды для почвенных микроорганизмов. Эти исследования, в настоящее время еще не законченные, показывают что почвенные микроорганизмы, так же как и растения, резко реагируют на то, какой металл входит в поглощающий комплекс почвы как обменный катион, но отношение почвенных микроорганизмов к различным металлам, насыщающим почву, несколько иное, чем растений, как видно из данных табл. 10.

Для исследования взяты те же почвы, что были в вегетационных опытах. По 100 г каждой почвы были помещены в чанки Коха, увлажнены до 60 % от влагоемкости почвы и поставлены в термостате при температуре  $+28^\circ$  в течение одного месяца при постоянной влажности. Затем было взято по 1 г для исследования на азотфиксирующую способность и на нитрификаторов по методу С. П. Виноградского на кремневых пластинках. *Azotobacter* не был обнаружен ни в одной почве.

<sup>1</sup> «Поглотительная способность почвы и почвенные цезитные основания», «Журнал опытной агрономии», 1916 г., т. 17. «Почвенные обменные катионы и растения», «Удобрение и урожаи», 1930 г., № 6. «Учение о поглотительной способности почвы», изд. 3-е

Таблица 10

Зависимость роста растений и деятельности нитрификаторов от состава обменных катионов (анализ Ф. Германова и С. Попова)

Вид чернозема	Урекай осяа и г на осяуд		Деятельность нитрификаторов			
			в мг на чашку		и %	
	о	+ СаСО <sub>2</sub>	о	+ СаСО <sub>2</sub>	о	+ СаСО <sub>2</sub>
Чернозем первонач. . . . .	5,9	5,6	0,35	0,74	100	100
» насыщ. . . . . Н	0,21	5,7	0,08	1,15	22	155
» » . . . . . Mg	0,33	2,4	2,45	2,47	700	333
» » . . . . . Ва	0	0	0,16	3,76	45	508
» » . . . . . Со	0	0	0,08	0,46	22	62
» » . . . . . Сu	0	0,39	0	0,77	0	100
» » . . . . . Mn	0	1,6	2,54	1,94	725	262
» » . . . . . Ni	0	0	0,09	0,54	25	72

Деятельность нитрификаторов, как видно из табл. 11, в почвах, насыщенных различными металлами, различна, от 0 для почвы, насыщенной Сu, до 2,45 и 2,54 мг на чашку Петри для почв, насыщенных Mg и Mn, т. е. эти металлы повысили деятельность нитрификаторов до 700 и 725% по сравнению с первоначальной почвой. Эти предварительные исследования показывают, что деятельность почвенных микроорганизмов, в частности нитрификаторов, может быть заметно изменена в зависимости от состава обменных катионов.

Дальнейшее развитие работ акад. К. К. Гедройца на Долгопрудном опытном полешло в направлении изучения влияния обменных катионов на почвенные процессы и рост растений, когда они в различной степени насыщают емкость обмена в почве. Наибольший интерес представляло выяснение действия водородного иона и катиона натрия как естественных обменных катионов почвы, а также и катионов Mn, Al, Ni и др., могущих в небольших количествах в почвенном поглощающем комплексе стимулировать рост растений.

Из всех обменных катионов, встречающихся в почвенном растворе и в поглощенном состоянии, наибольший интерес в познании почвенных процессов представляет ион водорода. Концентрация водородного иона в почвенном растворе в силу деятельности кислотообразователей в почве может иногда достигать тех величин, когда этот ион заметным образом может воздействовать на твердую фазу почвы, вызывая растворение труднорастворимых простых солей почвы, реакцию взаимного обмена с поглощенными катионами почвы, разрушение алюмосиликатного ядра почвенного поглощающего комплекса и ряд других процессов с твердой фазой почвы.

Из всех процессов, могущих быть вызванными действием водородного иона при небольших относительно концентрациях его в почвенном растворе, реакция обмена водородного иона с поглощенными катионами должна быть поставлена на первое место, так как по исследова-

ниям акад. К. К. Гедройца<sup>1</sup> реакция обмена между катионами почвенного раствора и поглощенными катионами почвы протекает моментально, в то время как при растворении труднорастворимых солей проходит медленно.

Следовательно при всяком увеличении концентрации водородного иона в почвенном растворе прежде всего должны возникнуть реакции обмена. Этому будет способствовать и большая энергия поглощения водородного иона, который в этом отношении даже превосходит энергию поглощения двузначного катиона кальция. Как результат вступления водородного иона в почвенный поглощающий комплекс в почвенном растворе должно произойти увеличение концентрации тех катионов, которые были вытеснены из почвенного поглощающего комплекса водородным ионом, и та часть алюмосиликатного ядра почвенного поглощающего комплекса, которая заместилась ионом водорода, должна стать менее устойчивой и более подверженной процессу распада на конечные продукты своего разрушения, т. е. на  $\text{SiO}_2$  и полуторные окислы. И в том и в другом случае в почвенном растворе будет увеличение концентрации некоторых катионов, что вызовет ряд вторичных процессов. В отношении почвенной фосфорной кислоты и фосфорной кислоты вносимых в почву фосфатов эти вторичные процессы могут пойти или в направлении связывания фосфат-иона и понижения концентрации его в почвенном растворе или же в направлении растворения фосфорнокислых соединений почвы и увеличения концентрации в почвенном растворе  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Направление этих процессов будет зависеть как от рода вытесненных катионов, так и от рода анионов почвенного раствора, и для различных почв эти процессы будут протекать различно.

Таким образом для некоторых почв увеличение концентрации водородного иона в почвенном растворе может привести к связыванию фосфорной кислоты в почве в результате поступления в почвенный раствор продуктов обмена и разрушения почвенного поглощающего комплекса.

Увеличение концентрации водородного иона в почвенном растворе может быть вызвано образованием  $\text{CO}_2$  при процессе разложения органического вещества почвы азотной, серной и др. кислот в результате деятельности различных кислотообразующих групп почвенных микробов. При усилении деятельности этих групп почвенных микроорганизмов концентрация водородного иона в почвенном растворе может достигнуть той величины, когда водородный ион заметным образом будет воздействовать на твердую фазу почвы и вызывать поступление в почвенный раствор  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Al}$  и других катионов, что может вызвать в некоторых почвах процесс связывания  $\text{P}_2\text{O}_5$ , и ухудшение условий фосфорного питания растений.

В табл. 11 приведены данные, которые показывают, что прибавление азотной кислоты в количествах, близких к тем, которые образуются в процессе нитрификации, понижает в почве содержание воднорастворимой фосфорной кислоты, и это понижение  $\text{P}_2\text{O}_5$  идет соответственно увеличению азота нитратов и воднорастворимого кальция сухого и прокаленного остатка. Понижение  $\text{P}_2\text{O}_5$  в почвах

<sup>1</sup> «Учение о поглощательной способности почвы», изд. 3-е, стр. 60—61.

с толуолом +  $\text{HNO}_3$  подтверждает высказанное предположение о возможности в некоторых почвах химического связывания фосфорной кислоты при усилении процесса нитрификации.

Таблица 11

Состав водной вытяжки из почвенных компостов (в мг на 1 кг сухой почвы) (анализ Ф. Германова)

	рН	Остаток		Са	$\text{P}_2\text{O}_5$	N $\text{HNO}_3$	
		сух.	прок.				
Почва до опыта . . . . .	6,77	843,0	359,5	117,9	1,45	33,5	
После стояния в термостате 30 дн.	Почва . . . . .	6,69	1242,0	554,0	183,0	0,98	93,9
	Почва + толуол . . . . .	6,93	924,0	304,0	116,8	2,70	35,6
	Почва + толуол + $\text{HNO}_3$ . . . . .	6,88	1278,0	460,0	165,6	1,54	88,3

Зависимость процесса химического связывания фосфорной кислоты от биологических процессов почвы и делает этот процесс неустойчивым во времени. Таким образом для одной и той же почвы в зависимости от условий погоды степень поступления в почвенный раствор катионов почвы и связывания фосфат-иона в почвенном растворе будет неодинакова, а следовательно будет изменяться и степень обеспечения растений фосфорной кислотой и другими элементами зольного питания растений. Это наряду с неустойчивостью процесса нитрификации обуславливает изменения во времени плодородия почвы и является одной из причин неустойчивости по годам урожаев и непостоянства действия удобрений<sup>1</sup>.

Не меньший практический интерес представляет изучение влияния на почвенные процессы катиона натрия, когда последний входит в небольших количествах в почвенный поглощающий комплекс.

Предварительные исследования этого вопроса, проведенные еще на Носовской с.-х. опытной станции, показали положительное действие его на урожай растений на некоторых черноземных почвах. Соображения акад. К. К. Гедройца по этому вопросу опубликованы им в его работе «Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция», 1926 г., изд. Носовской с.-х. опытной станции. Это же послужило основанием акад. К. К. Гедройцу высказать мысль о необходимости в целях получения более высоких урожаев изменения состава обменных катионов в черноземных почвах. По этому поводу он писал, что «естественный состав обменных катионов в почве даже тогда, когда в ней нет тех вредных катионов, которые нам приходится удалять из почвы известкованием (водородный ион) или гипсованием (катион натрия), вовсе не является оптимальным для развития растений (например в черноземах) («Учение о поглощательной способности почв»).

Предварительные исследования акад. К. К. Гедройца о роли поглощенного аммония в жизни почвы и растений опубликованы им в печатаемой в настоящем сборнике статье «Поглощенный аммоний и растение»<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Ф. Н. Германов. «Взаимодействие между динамикой азота и фосфора в почве».

<sup>2</sup> Напечатанной также и в изд. НИУ «Минеральные удобрения», вып. 113.

Большое внимание акад. К. К. Гедройц в своей работе на Долгопрудном опытном поле уделил выяснению влияния на урожай растений марганца, алюминия, рубидия, кобальта, бария, никеля и других редких металлов, когда они введены в почвенный поглощающий комплекс в различных количествах. Результаты этих исследований приведены им в статье «Почвенные обменные катионы и растения», напечатанной в сборнике «Минеральные удобрения» в 1932 г., вып. 109. Часть же неопубликованных им данных по этому вопросу приведена в материалах по вегетационным опытам (А. Н. Волыская и С. Г. Шедеров) в настоящем сборнике.

В этих своих исследованиях акад. К. К. Гедройц подходит к выяснению вопроса о стимулирующем действии на рост растений некоторых веществ с точки зрения почвенного поглощающего комплекса. Он считал, что почвенный раствор как отражение поглощающего комплекса содержит те же катионы, что находятся в поглощенном состоянии в данной почве, но количества их, переходящие в почвенный раствор, в каждый данный момент будут незначительны и тем больше, чем в больших количествах данный катион будет находиться в почвенном поглощающем комплексе. Когда изучаемые им в этом вопросе катионы полностью насыщали всю емкость обмена почвы, то количества их в почвенном растворе были так велики, что они губили растение, являясь ядовитыми для растений сами по себе или создавая в почве ряд неблагоприятных для растения свойств. Будучи же введенными в почвенный поглощающий комплекс в небольших количествах и в небольших количествах присутствуя в почвенном растворе, эти катионы производят уже заметное положительное действие на рост растений, причем это действие длительно, так как по мере исчезновения тем или иным путем данного катиона из почвенного раствора на место его поступают новые количества этого катиона из почвенного поглощающего комплекса. Дальнейшее развитие этих исследований представляет еще и тот интерес, что они не только дадут нам возможность глубже понять условия стимуляции роста растений, но и зависимость качественного и количественного состава почвенного раствора от почвенного поглощающего комплекса — вопроса основного в понимании роли почвенного поглощающего комплекса в жизни растений.

В последние годы своей работы акад. К. К. Гедройц поставил вопрос о значении в жизни растений соотношения обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе. Его исследования касались главным образом выяснения значения для роста растений соотношения Са и Mg, но этот вопрос им понимался гораздо шире как вопрос о соотношении вообще всех обменных катионов, могущих находиться в том или ином количестве в почвенном поглощающем комплексе. Исходя из своих представлений о взаимодействии почвенного раствора с твердою фазою почвы, акад. К. К. Гедройц считал, что почвенный раствор будет содержать те катионы, которые находятся в поглощенном состоянии в данной почве, и чем в больших количествах данный катион находится в поглощающем комплексе, чем связь его с коллоидальною частью слабее, тем в больших количествах он будет поступать в почвенный раствор. Следовательно как качественный, так и количественный состав почвенного раствора до некоторой степени будет отражением почвенного поглощающего ком-

плекса. Ближе о количественной зависимости катионов почвенного раствора с поглощенными катионами в данной почве в настоящее время что-либо сказать более определенно пока невозможно, так как еще далеко не выяснен ход поступления катионов из твердой фазы в жидкую фазу почвы.

На основании данных акад. К. К. Гедройца о явлениях обмена надо считать, что простой пропорциональной зависимости здесь не может быть, так как на процесс поступления данного катиона в почвенный раствор будет влиять энергия обмена катиона и ряд других факторов. Поэтому, рассматривать количественный состав почвенного раствора в отношении катионов как простое отражение обменных катионов поглощающего комплекса мы не можем, здесь зависимость более сложная. Это—один из интереснейших вопросов, поставленных акад. К. К. Гедройцем. На основании некоторых экспериментальных данных акад. К. К. Гедройца можно сказать, что существует определенная связь между количествами обменных катионов в поглощающем комплексе и количествами их в почвенном растворе, и нарушение соотношения обменных катионов в поглощающем комплексе должно отразиться и на соотношении их в почвенном растворе. В отношении растений уже было установлено, что то или иное развитие растений зависит от соотношения различных катионов в питательной среде (теория Loe w).

Исходя из этих представлений, можно было легко объяснить некоторые случаи гибели растений, наблюдавшиеся в вегетационных опытах акад. К. К. Гедройца. Еще в опытах на Носовской опытной станции было отмечено, что на почве, полностью насыщенной Mg, т. е. когда из почвы были удалены все естественно имеющиеся в ней обменные катионы и вся емкость обмена данной почвы была насыщена ионом Mg, растения гибли; внесение CaCO<sub>3</sub> в такую почву спасало растения от гибели. В табл. 12 приведены данные урожая овса и горчицы на тульском черноземе, полностью насыщенном Mg. Внесение CaCO<sub>3</sub>, как мы видим, создавало условия для роста растений, несмотря на более высокое pH, в то время как в сосудах без CaCO<sub>3</sub>, где pH было ниже, растения совершенно не развивались. Этот и подобные ему случаи гибели растений в вегетационных опытах акад. К. К. Гедройца в статье, написанной им в сентябре 1931 г., объяснил сильным преобладанием в почвенном растворе иона Mg над Ca, т. е. резким нарушением соотношения в почвенном растворе Ca, K, Mg как результат нарушения этого соотношения в почвенном поглощающем комплексе. В почве, полностью насыщенной Ca, подобное явление не наблюдалось, хотя и здесь имело место нарушение соотношения Ca и Mg в почвенном поглощающем комплексе.

Таблица 12

Урожай овса и горчицы на почве, насыщенной Mg (вегетационный опыт в маленьких сосудах)

Виды чернозема	Овес	Горчица	pH
Тульский чернозем, насыщенный Mg + NPK . . . . .	0	0	5,54
То же + 10 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1,56	3,63	8,40

Последнее акад. К. К. Гедройц объяснил тем, что Mg может поступать в почвенный раствор и из необменного состояния, в силу чего и при отсутствии Mg в поглощающем комплексе в почвенном растворе все же не происходит резкого нарушения соотношения Ca и Mg, тем более что для уравнивания иона Ca, поступающего в почвенный раствор из поглощающего комплекса, требуются небольшие количества иона Mg. Но если в почве, полностью насыщенной Ca, концентрация иона Ca в силу присутствия солей Ca в почвенном растворе возрастет до известных пределов и будет тем самым нарушено соотношение Ca и Mg в растворе, то это также вызовет гибель растений. Подобное явление гибели некоторых растений наблюдалось в опытах акад. К. К. Гедройца с почвой, полностью насыщенной водородом. Внесение  $\text{CaCO}_3$  в такую почву в количествах кальция выше емкости обмена данной почвы, т. е. когда в почве оставалась еще непрореагировавшая соль кальция, вызывало сильное угнетение роста овса и полную гибель некоторых чувствительных растений, как то: льна, горчицы, гречихи. В этом случае в почвенном растворе создавалось сильное преобладание Ca над Mg, т. е. причиной гибели растений являлось нарушение соотношения Ca и Mg. Понижение урожая при избыточном известковании некоторых кислых почв, имевшее место в практике земледелия и послужившее темою первых работ акад. К. К. Гедройца (1905 г.)<sup>1</sup>, было объяснено им на основании его последних исследований как явление нарушения соотношения Ca и Mg в поглощающем комплексе этих почв.

Для обоснования своего объяснения вредного действия на урожай избыточных доз извести акад. К. К. Гедройц провел в 1931 и 1932 гг. вегетационные опыты и лабораторные исследования по вопросу о роли соотношения Ca и Mg в поглощающем комплексе в жизни растений. Им было изучено взаимодействие углесолей Ca и Mg, доломита и магнезита с различными почвенными средами — черноземом Каменнопостепной станции, с тем же черноземом, но полностью насыщенным водородом, и с песком — и отражение этого взаимодействия на росте растений.

Результаты вегетационных опытов акад. К. К. Гедройца, приведенные в настоящем сборнике, показали, что взятые растения на почве, насыщенной водородом, при внесении в нее  $\text{MgCO}_3$  и магнезита погибали при всех дозах взятых углесолей. При внесении же  $\text{CaCO}_3$  и доломита при дозах, близких к величине емкости обмена данной почвы, растения развивались нормально; при дозах же ниже и выше емкости обмена растения погибали в первом случае от избыточной кислотности, во втором — от сильного преобладания в почвенном растворе иона Ca, не уравновешенного ионом Mg. На черноземе первоначально растения нормально развивались и не испытывали заметного угнетения при всех дозах взятых углесолей. Только максимальная доза  $\text{Mg CO}_3$  губила растения. В песчаных культурах растения гибли при всех дозах  $\text{MgCO}_3$ , в то время как другие углесоли не понижали заметно урожая.

Лабораторные исследования акад. К. К. Гедройца по взаи-

<sup>1</sup> К. К. Гедройц. «Действие на растение углекислых и двууглекислых щелочей», Журнал опытной агрономии, 1905 г.

модействую углесолей со взятыми средами дают объяснение этому явлению. Им определялась растворимость углесолей в воде и состав водных вытяжек из почв по внесению в них углесолей.

Для определения растворимости в воде углесолей акад. К. К. Гедройце м было взято по 10 г  $\text{CaCO}_3$  и эквивалентные ему количества  $\text{MgCO}_3$ , доломита и магнезита. В течение 6 дней взбалтывали с 2 л воды ( $\text{pH}=5,44$ ), затем отфильтровывали и фильтрат анализировали. Результаты анализов показали (табл. 13), что растворимость  $\text{CaCO}_3$  и доломита довольно низкая и по растворимости эти углесоли близки друг другу.  $\text{MgCO}_3$  в данных условиях дал наибольшую растворимость; магнезит — наименьшую. Соответственно их растворимости и щелочность, создаваемая этими углесолями в водном растворе, различна: щелочность, определяемая количеством куб. сантиметров 0,02N раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , для  $\text{MgCO}_3$  наиболее высокая из всех взятых углесолей; наиболее высоко и значение  $\text{pH}$  для этой соли.  $\text{MgCO}_3$  из всех взятых углесолей способен создавать наиболее щелочную среду. Эта же соль дает и очень высокую сравнительно с другими углесолями и концентрацию катиона Mg в водном растворе.

Таблица 13

Растворимость углесолей Ca и Mg в дистиллированной воде ( $\text{pH}=5,44$ )  
(в г на 1 л) (анализ принадлежит акад. К. К. Гедройцу)

Исследованные соли	Сухой остаток	Щелочность в см <sup>3</sup> 0,02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		Ca	Mg	pH
		безотфильтован	отфильтован			
$\text{CaCO}_3$ . . . . .	0,0914	0	96	0,033	0,002	7,2
$\text{MgCO}_3$ . . . . .	0,3374	100	364	0	0,095	9,0
Доломит . . . . .	0,0826	0	96	0,024	0,006	7,5
Магнезит . . . . .	0,0616	0	84	0,005	0,014	7,3

Внесение взятых углесолей  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , доломита и магнезита в активную почвенную среду вызывает нарушение равновесия между твердой и жидкой фазами почвы и изменяет состав водной вытяжки из почвы. Взаимодействие этих солей с почвою, как видно из данных табл. 14, изменяет количества веществ, переходящих в водную вытяжку.

В водной вытяжке из почвы с  $\text{MgCO}_3$  содержание сухого и прокаленного остатка наибольшее. Сильно изменяется содержание Ca и Mg и главное соотношение их в водной вытяжке; так соотношение Ca к Mg в водной вытяжке из чернозема около 7, внесение углесолей по-разному нарушает это отношение. При этом  $\text{CaCO}_3$  не изменяет отношение этих элементов, доломит и магнезит приближают отношение Ca к Mg, но и здесь это отношение выше единицы. Наиболее резкое нарушение этого соотношения происходит в водной вытяжке, когда в почву вносим  $\text{MgCO}_3$ ; в этом случае отношение Ca к Mg падает до 0,2, т. е. здесь мы уже имеем сильное преобладание Mg над Ca. Близкое к этому отношению Ca и Mg мы должны иметь и в почвенном растворе при воздействии взятых углесолей на почву. Реакция среды также изменяется при воздействии на почву взятых углесолей, причём

Взаимодействие различных углесолей Са и Mg с первоначальным черноземом Каменноостепной ст. (100 г первоначального чернозема + 10 г углесолей в 500 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O) (в % на почву) (анализ принадлежит акад. К. К. Гедройцу)

Исследованные соли	Остаток		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Са	Mg	Щелочность		рН
	сухой	прока- ленный					в см <sup>3</sup> 0,02N		
							фенол- фталеин	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> индикатор	
Без углесолей . . . . .	0,0860	0,0390	0,0132	—	0,0122	0,0016	0	20	6,82
СаСО <sub>3</sub> . . . . .	0,1920	0,0948	0,0064	—	0,0490	0,0071	0	137	7,86
MgСО <sub>3</sub> . . . . .	0,3800	0,1592	0,0036	0,0020	0,0132	0,0633	30	370	8,68
Доломит . . . . .	0,1748	0,0820	0,0070	0,0024	0,0374	0,0103	0	110	7,78
Магнезит . . . . .	0,1960	0,0912	0,0080	0,0032	0,0230	0,0199	0	105	7,86

при внесении MgCO<sub>3</sub> мы имеем наиболее высокую щелочность и величину рН.

Взаимодействие солей СаСО<sub>3</sub>, MgСО<sub>3</sub>, доломита и магнезита с тем же черноземом Каменноостепной станции, но когда этот чернозем полностью насыщен водородным ионом, т. е. когда он представляет уже иную среду, чем первоначальный нейтральный чернозем, приводит к иному составу почвенного раствора, создает уже иные условия для роста растений. Насыщение первоначального чернозема водородным ионом приводит к практически полному замещению естественных обменных катионов этого чернозема на ион Н. Возможны при этом и другие изменения, не учитываемые нами, но в основном эти две почвы будут различаться составом своих обменных катионов, а следовательно и составом своего почвенного раствора.

Для выяснения тех изменений, которые возникают при взаимодействии взятых углесолей с черноземом, полностью насыщенным водородным ионом, акад. К. К. Гедройц произвел ряд анализов водных вытяжек из этого чернозема после взаимодействия его со взятыми углесолями. Он смешивал 12,5 г углесолей со 100 г чернозема и при нормальном увлажнении оставлял стоять несколько дней, затем производил водную вытяжку; результаты анализов водной вытяжки приведены в табл. 15.

Мы видим, что внесение СаСО<sub>3</sub>, доломита и магнезита мало изменило величину сухого остатка; при внесении же Mg СО<sub>3</sub> сильно возросло количество воднорастворимых веществ; это явилось следствием вступления иона Mg в поглощающий комплекс. В содержании Са и Mg в водной вытяжке мы также видим большие различия от внесения углесолей. В черноземе без углесолей содержание в водной вытяжке Са и Mg ничтожно и количества их одинаковы. Эти количества Са и Mg могли перейти в водную вытяжку из поглощающего комплекса почвы, откуда они повидимому не были полностью удалены при насыщении почвы водородом. Внесение СаСО<sub>3</sub> сильно повышает содержание Са в водной вытяжке, но также увеличивает и количества Mg в ней. Доломит повышает почти в равной степени содержание Са и Mg. Внесение MgСО<sub>3</sub> и магнезита сильно увеличивает количества

Взаимодействие различных углесолей Са и Mg с черноземом Каменноостепной станции, полностью насыщенным Н (в % на почву) (анализ принадлежит акад. К. К. Гедройцу)

Последующие соли	Остаток		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Са	Mg	Щелочность в см <sup>3</sup> 0,02N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		рН
	сухой	прока- ловый					фенол- фталеин	метил- оранж	
Без углесолей . . .	0,2860	0,0480	0,0408	—	0,0008	0,0006	—	—	3,63
СаСО <sub>3</sub> . . . . .	0,3268	0,0968	0,0248	0,0032	0,0421	0,0022	0	105	7,38
MgСО <sub>3</sub> . . . . .	1,1120	0,2350	0,0590	0,0060	0,0004	0,0789	90	730	7,30
Доломит . . . . .	0,4600	0,1336	0,0052	0,0016	0,0170	0,0143	0	67	—
Магнезит . . . . .	0,3312	0,1032	0,0172	0,0052	0,0008	0,0321	0	75	7,40

Mg в водной вытяжке, не изменяя при этом содержание Са в ней. При внесении этих углесолей резко уже нарушается отношение Са и Mg, и мы имеем здесь сильное, почти в 200 раз, преобладание Mg над Са.

Соответственно изменениям в содержании Са и Mg в водной вытяжке мы имеем изменение щелочности ее; так наибольшая щелочность создается при внесении в почву MgСО<sub>3</sub>. Величина рН невысокая и для всех углесолей почти одинакова. В данном случае было внесено в 100 г почвы по 12,5 г углесолей, т. е. в количествах, близких к емкости обмена взятой почвы. Состав водной вытяжки и соотношение Са и Mg в ней будут иные в случаях, когда мы берем количества углесолей ниже и выше емкости обмена почвы. В табл. 16 приведены анализы акад. К. К. Гедройца водных вытяжек из чернозема, насыщенного Н, когда углесолы вносились в количествах 30 и 60 мг-экв. на 100 г почвы. Содержание Са и Mg в водной вытяжке, когда было внесено 30 мг-экв. СаСО<sub>3</sub>, является нормальным, как в водных вытяжках из обычных черноземов, и отношение Са к Mg тоже более или менее нормально. При внесении MgСО<sub>3</sub> в количестве 30 мг-экв. повышается и содержание Mg в водной вытяжке; Са почти совершенно отсутствует, обнаружены только следы его. Внесение тех же количеств в миллиграммэквивалентах доломита и магнезита дает ту же величину в содержании Mg в водной вытяжке; Са же отсутствует.

Величина рН во всех случаях в кислом интервале: для СаСО<sub>3</sub> рН более высокая, чем для MgСО<sub>3</sub> и доломита, магнезит дал наименьшее рН. Когда вносится 60 мг-экв. углесолей, т. е. в количествах, больших емкости обмена взятой почвы, мы имеем для СаСО<sub>3</sub> большие количества Са в водной вытяжке при небольшом сравнительно содержании в ней Mg. Здесь уже Са преобладает над количествами Mg почти в 16 раз. При внесении MgСО<sub>3</sub> мы имеем сильно повышенные количества Mg при почти полном отсутствии ионов Са. Доломит и магнезит дают гораздо меньшие количества Mg в водной вытяжке при отсутствии ионов Са в ней. Величина рН во всех случаях близка к нейтральной.

Взаимодействие различных углесоей Са и Mg с черноземом Каменноостепной станции, насыщенным водородом (в % на почву) (анализ принадлежит акад. К. К. Гедройцу)

Исследуемые соли	Осаток		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O	Са	Mg	Щелочность		рН
	сухой	прока- ленный					в см <sup>3</sup> 0,02N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
							фенол- фталеин	метилен- оранж	
30 мг-экв. на 100 г почвы									
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	0,2942	0,0950	0,0680	0,0032	0,0076	0,0008	—	40	6,18
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	0,3656	0,0910	0,0720	0,0032	Следы	0,0072	—	20	5,78
Доломит . . . . .	0,3188	0,0968	0,0656	0,0048	»	0,0062	—	40	5,77
Магнезит . . . . .	0,3260	0,0940	0,0696	0,0068	—	0,0072	—	20	4,79
60 мг-экв. на 100 г почвы									
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	0,4800	0,1960	0,0280	0,0060	0,0866	0,0056	—	224	7,85
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	0,6072	0,1836	0,0256	0,0070	Следы	0,0752	—	298	7,89
Доломит . . . . .	0,3924	0,1224	—	0,0060	0	0,0232	—	124	7,63
Магнезит . . . . .	0,3116	0,0880	0,0620	0,0048	0	0,0084	—	100	6,74

В вегетационных опытах акад. К. К. Гедройца по данному вопросу имеются результаты некоторых его опытов, которые не вполне согласуются с этим выводом. Эти опыты заслуживают внимания, так как при выяснении причин их мы можем вскрыть и другие интересные стороны этого явления. Во всяком случае результаты их не поколебали убеждения акад. К. К. Гедройца в важности для жизни растений соотношения Са и Mg в почвенном поглощающем комплексе, и он в последние дни своей жизни (18 сентября 1932 г.) писал по этому вопросу:

«Непосредственные опыты указывают на большое влияние на высоту урожая величины отношения между обменным кальцием и магнием; оптимальное отношение Са : Mg различно для различных растений и повидному зависит от величины емкости обмена данной почвы и присутствия в ее п. к. (поглощающем комплексе) других о. к. (обменных катионов)<sup>1</sup>.

Нарушение соотношения Са и Mg в почвенном поглощающем комплексе может иметь значение не только при известковании кислых почв; при мелиорации солонцов это явление может быть выражено даже в более сильной степени, чем при известковании, так как при осолонцевании почв процесс неравномерного вытеснения катионом натра обменных катионов почвы может пойти по пути большего вытеснения катиона Mg, чем Са, и тогда солонец будет иметь небольшие количества обменного Mg. При гипсовании такого солонца в поглощающем комплексе может создаться сильное преобладание Са над Mg,

<sup>1</sup> «Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растениями». «Журнал химизации сов. земледелия» 1932 г., № 11—12.

что отразится на соотношении этих катионов в почвенном растворе и явится причиной пониженной урожайности мелиорированного уже солонца. На это указывал акад. К. К. Гедройц в своей статье «Почвенный поглощающий комплекс растения, удобрения и мелиорации»<sup>1</sup>.

Установив значение соотношения в почвенном поглощающем комплексе Са и Mg в жизни растений и возможность понижения урожая при нарушении этого соотношения при известковании кислых почв, акад. К. К. Гедройц занялся изучением вопроса об использовании для известкования почв доломитов и доломитизированных известняков. Его опыты с различными доломитами и с различными дозами их на почве, полностью насыщенной водородным ионом, показали, что некоторые доломиты могут быть использованы в целях известкования. Исследования с доломитами акад. К. К. Гедройце не были закончены.

Работы акад. К. К. Гедройца с обменными катионами показали все громадное значение обменных катионов в жизни почвы и растений, вскрыв тесную зависимость интенсивности и характера многих почвенных процессов и условий для развития растений от состава и соотношения катионов в почвенном поглощающем комплексе. Дальнейшее развитие работ в этом направлении дало бы возможность ближе познать ход поступления в почвенный раствор различных элементов из твердой фазы почвы и тем понять динамику почвенного раствора. В этом отношении особый интерес представляет изучение водородного иона как обменного катиона почвы и условий, при которых водородный ион может входить в поглощающий комплекс, так как вступление водородного иона на почвенный поглощающий комплекс обуславливает возникновение ряда изменений как в самом поглощающем комплексе, так и в почвенном растворе в его катионной и анионной части.

### 3. ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ ИХ ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Третий раздел работ акад. К. К. Гедройца на Долгопрудном опытном поле НИУ включал исследования по изучению биологических свойств почв в зависимости от свойств их поглощающего комплекса и изменений в агрономических свойствах почвы при воздействии на нее внешних метеорологических факторов. Этому разделу своих работ акад. К. К. Гедройц уделял большое внимание как конечной стадии своих исследований по вопросу агрономизации почвенного поглощающего комплекса, так как он всегда считал, что всякое явление в конечном итоге должно быть изучено в естественных конкретных условиях почвы. Тем более при установлении агрономического значения почвенного поглощающего комплекса всегда «надо иметь в виду зависимость действия на растение взятого катиона от величины емкости обмена, состава обменных катионов и т. д., т. е. вообще от конкретных условий, в которых находится изучаемая почва».

<sup>1</sup> «Журнал химизации соц. земледелия, 1933 г., № 1 и в настоящем сборнике стр. 61.

Тесная зависимость всей динамики почвы от внешних условий ставит вопросы изучения зависимости почвенных процессов от метеорологических условий на одно из первых мест в нашем познании почвы. Акад. К. К. Гедройц еще в одной из первых своих работ пишет: «Для того чтобы продвинуться в разрешении многих как теоретических, так и практических вопросов агрономии в самом широком смысле этого слова, необходимо так или иначе подойти к разрешению вопроса о почвенном растворе, необходимо изучить состав раствора и изменчивость его во времени в зависимости от изменения внешних условий; без всякого преувеличения можно сказать, что от степени разрешения этого вопроса зависят дальнейшие успехи агрономии»<sup>1</sup>.

В своих последних работах акад. К. К. Гедройц устанавливает тесную зависимость явлений обмена от погодных условий. По этому вопросу он пишет: «Почвенный раствор представляет собой очень сложный раствор самых разнообразных соединений; концентрация этих соединений в растворе и общее количество самого раствора могут очень сильно и быстро изменяться в связи с испарением почвенной воды, поглощением ее растениями и другими живыми организмами и наконец в связи с выпадающими атмосферными осадками; а всякое такое изменение в состоянии почвенного раствора влечет за собой реакцию взаимного обмена между растворенными веществами и почвенной массой»<sup>2</sup>. Акад. К. К. Гедройц в своих исследованиях с обменными катионами почвы всегда учитывал возможность изменения в ходе реакции от метеорологических условий, и некоторые несоответствия в развитии растений он объяснял влияниями метеорологических условий данного года даже в условиях вегетационного опыта. При изучении процессов, связанных с почвенным поглощающим комплексом, он изучает влияние на эти процессы температуры и влажности как элементов погоды. Температура и влажность могут оказывать непосредственное действие на состояние почвенных коллоидов и тем самым непосредственно вызывать изменения в процессах, связанных с ними. К этой группе работ акад. К. К. Гедройца могут быть отнесены следующие темы.

1. Различия в агрономических свойствах различных подзолистых почв Долгопрудного опытного поля.
2. Причины гибели чайных плантаций на карбонатных почвах Чай-Грузии.
3. Влияние метеорологических условий на урожай и на действие различных удобрений.
4. Влияние на урожай и действие удобрений в вегетационных сосудах различных способов хранения почвы для вегетационных опытов.

Изучение агрономических свойств морфологически отличных подзолистых почв, слагающих почвенный покров Долгопрудного опытного поля, имело целью прежде всего установить степень различия их в урожайности, производительности и в отношении их к удобрениям т. е. производственную ценность почв в связи с различной величиной

<sup>1</sup> «Журнал опытной агрономии», 1906 г., стр. 521.

<sup>2</sup> «Учение о поглощательной способности почвы», 3-е изд., стр. 61.

<sup>3</sup> Материалы по этому вопросу не включены в этот сборник.

их поглощающего комплекса, составом и соотношением в нем обменных катионов. Так как эта работа строго увязывалась с морфологическим обликом изучаемых почв и освещалась рядом химических анализов их, то результаты ее должны были бы дать указания на связь агрономических свойств почвы с ее морфологическими признаками и химическими свойствами. Этот вопрос являлся актуальным в то время в связи с массовыми почвенными обследованиями, проводимыми в нашем Союзе с целью агрономической оценки почв. Эта работа, проведенная на небольшом сравнительно участке применением лабораторных, вегетационных и полевого методов, должна была бы выяснить ценность этих обследований. Главной же целью этой работы было установить различия в свойствах почвенного поглощающего комплекса почв Долгопрудного опытного поля с тем, чтобы впоследствии для изучения почвенного поглощающего комплекса можно было бы использовать ту или иную разность почвы, свойства которой уже в достаточной степени были бы известны, так как понимание явления возможно только при более или менее полном знакомстве с той средой, где оно протекает. В этом отношении указанная работа представляла большой интерес и для других работ НИУ, так как давала возможность ориентироваться в том разнообразном комплексе почв почвенного покрова Долгопрудного опытного поля в их различных агрономических свойствах и отличном их отношении к удобрениям.

Изучение агрономических свойств 35 разностей подзолистых почв Долгопрудного опытного поля начаты работы акад. К. К. Гедройцем с 1930 г. Всего по этому вопросу было поставлено более 2500 вегетационных сосудов и заложено около 300 деленок для полевого опыта. Данные и соответствующие выводы по этой работе приведены в отчете В. Г. Тарановской. Поэтому здесь мы остановимся только на некоторых моментах этой работы. В табл. 17 приведены данные по составу обменных катионов в некоторых изучаемых разностях подзолистых почв Долгопрудного опытного поля. Мы видим, что как величина емкости поглощения, так и состав обменных катионов даже для почв одной и той же морфологической разности очень различны; сильно варьирует и соотношение обменных  $Ca : Mg$  от 1,17 до 6,36. Таким образом в почвенном покрове Долгопрудного опытного поля мы имеем естественный набор почв с различной величиною и состоянием почвенного поглощающего комплекса, с различным соотношением в нем обменных катионов. Это давало возможность ряд вопросов, связанных с почвенным поглощающим комплексом, вести в естественных конкретных условиях почвы при различном сочетании почвенных факторов. Поэтому уже в плане работ на 1933 г. акад. К. К. Гедройц ставит тему «Степень благоприятности для растений соотношения кальция и магния в различных подзолистых почвах», т. е. вопрос о роли для растений соотношения  $Ca : Mg$  в почвенном поглощающем комплексе выносит из лабораторной обстановки с искусственными почвами в естественные условия поля. Не только в состоянии поглощающего комплекса, но и в ряде других свойств почвы Долгопрудного опытного поля имеют различие между собой. Так общее содержание ряда питательных элементов, различное соотношение количеств их друг к другу, различие в степени интенсивности протекания ряда биохимических процессов и растворимости фосфорнокислых и других со-

Таблица 17  
Емкость обмена и состав обменных катионов в подзолистых почвах ДОПа (в мг-экв. на 100 г сухой почвы)

Разрез	Слабо полежалые			Средние подзолистые						Сильно подзолистые								
	1 ст. уч.		20	18		1 Тюльк. уч.	около 16		20	26	24	94	43	28	27	16	67	9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Емкость поглощения . . .	10,88	7,93	7,55	12,47	13,41	7,57	11,05	9,88	10,05	7,15	7,36	6,65	13,27	17,38	9,38			
Ca . . . . .	6,50	6,30	5,22	7,21	8,33	6,15	5,80	5,00	5,67	5,31	3,58	5,06	7,51	7,80	4,24			
Mg . . . . .	3,94	0,99	1,65	4,77	4,33	0,97	3,63	3,57	3,53	1,18	2,77	1,06	5,37	4,76	3,63			
H . . . . .	0,440	0,636	0,684	0,49	0,36	0,45	1,67	1,26	0,85	0,66	1,01	0,53	0,39	4,82	1,53			
Соотношение Ca/Mg . . .	1,64	6,86	3,16	1,51	1,92	6,34	1,59	1,40	1,60	4,50	1,29	4,77	1,40	1,63	1,17			

единений почвы давало возможность изучаемый вопрос вести на почвах в желаемом сочетании их свойств.

Так например это дало возможность действие фосфоритов поставить в зависимость от состояния в данной почве азотного фактора питания растений и от величины поглощающего комплекса. Все это возможно было только после предварительного детального ознакомления с почвами опытного поля. Кроме того эта же работа установила превалирующее значение в определении агрономических свойств почвы хозяйственных условий, в которых находилась данная почва, а не ее морфологических особенностей.

Вторая тема — «Причины гибели чайных плантаций на карбонатных почвах Грузии», проведенная под руководством акад. К. К. Гедройца в его группе сотрудником Чайного института Грузии т. М. Дороселли, представляла интерес сама по себе, как направленная к пониманию отрицательных свойств для культуры чая карбонатных почв Грузии, так и по тем результатам, которые были получены.

Как уже было отмечено в литературе, карбонатность почвы сама по себе не является при-

чиною гибели чайного дерева, и в других местностях, как в нашей Союзе, так и за пределами Союза чай хорошо растет даже на сильно карбонатных почвах. Вегетационные опыты и лабораторные исследования карбонатных почв показали, что мы имеем здесь резкое нарушение соотношения Са и Mg, что повидимому и является причиной гибели чайных плантаций на этих почвах.

Работа эта со смертью акад. К. К. Г е д р о й ц а осталась не законченной. Дальнейшая разработка этого вопроса представляет огромный интерес, так как если действительно здесь причиной гибели чая является нарушение соотношения Са и Mg в поглощающем комплексе этих почв, то это дает возможность подойти к вопросу мелиорации их и тем расширить площади посевов чая.

Влиянию воздействия погоды на агрономические свойства почв довольно большое внимание было уделено в работе В. Г. Т а р а н о в с к о й. Данные, приведенные в ее отчете, показывают большую зависимость как высоты урожая, так и действия удобрений от погодных условий года даже в условиях вегетационных опытов. Материалы табл. 18 показывают, что как урожайность, так и производительность одной и той же почвы, взятой в одном и том же месте, в различные годы может изменяться в довольно заметной степени.

Таблица 18

Колебания урожая по годам для различных почв Долгопрудного оп. поля НИУ (общий урожай овса в г на сосуд)

Разрезы	О			NPK			CaCO <sub>3</sub>		
	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.
27	10,2	20,3	18,4	55,5	69,2	53,1	24,6	36,7	30,8
43	27,3	25,4	38,8	47,3	62,4	69,5	29,5	40,6	50,4
20	9,6	—	12,8	39,0	—	57,0	17,1	24,1	—
16	10,5	19,9	—	49,9	57,0	—	16,0	24,5	—

Большое повидимому значение на действие удобрений и в зависимости от этого на урожай имеют погодные условия в период, предшествующий посеву растений. Тогда под влиянием метеорологических факторов создается определенное состояние почвы. Небольшое предварительное исследование по этому вопросу, проведенное В. Т. Т а р а н о в с к о й с одним и тем же образцом почвы, но помещенном предварительно за три недели до посева в различные температурные условия, показало (табл. 19), что состояние почвенных образцов после этого оказалось различно и по общему количеству воднорастворимых веществ и по количествам отдельных элементов водной вытяжки. Это различное состояние, созданное предварительными температурными условиями, не было сивелировано и в последующий период вегетации растений, когда были совершенно одинаковые условия и температуры и влажности, что можно видеть из величины урожая в этих сосудах. Это же отразилось и на производительности этих почв и на действии CaCO<sub>3</sub>.

Таблица 19

Влияние на урожай и действие полного удобрения состоящих почвы, предшествующего периоду вегетации

	Анализ подной вытяжки мг/кг						Общая урожай		
	Осаток						сена в г на сосуд		
	сухой	прокаленный	Ca	нитрат	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pH	O	NPK	CaCO <sub>3</sub>
Лесник . . . . .	184,0	64,0	0,56	7,91	0,35	6,28	9,8	37,9	21,2
Полевая лаборатория . . . . .	284,0	92,0	0,88	13,6	1,18	6,12	10,1	44,4	20,0
Вегетац. дом . . . . .	296,0	96,0	1,16	17,85	0,43	6,09	10,6	42,9	17,4
Термостат 30—40°	496,0	136,0	2,40	26,89	0,39	5,79	16,5	33,7	21,9

Эти, а также и другие исследования, заставляли очень осторожно относиться к способу подготовки почвы к вегетационным опытам. Поэтому акад. К. К. Гедройц ряду своих сотрудников поручил проведение небольших исследований по вопросу влияния на урожай различных факторов, могущих изменить состояние почвы в довегетационный период. Летом в 1931 г. т. М. И. Туркадзе было поручено небольшое исследование по «влиянию временного воздействия на почву различных комбинаций температуры и влажности», а летом 1932 г. Е. А. Яриловой была дана тема по «влиянию различных способов увлажнения и высушивания почвы на ее плодородие и производительность». В табл. 20 приведены некоторые данные из опытов Е. А. Яриловой. Эти данные показывают, что различные температурные условия, при которых почва находилась до опыта, заметно сказываются на ее урожайности, повышающейся с повышением воздействующей температуры; также заметно увеличивает урожай предварительное промывание почвы водою с последующим высушиванием в термостате.

Таблица 20

Влияние на урожай и действие удобрений временного воздействия температуры и влажности на почву до опыта (в г на сосуд)

	Чернозем не обработан	Чернозем, высушенный на солнце	Чернозем, высушенный в термостате	Чернозем, пролитый водою и высушенный в термостате при 60—70°	Чернозем, пролитый 4 раза водою и высушенный в термостате	5 кг чернозема + 3 л воды, высушен в термостате
Урожайность . . . . .	3,82	4,07	5,78	6,13	6,43	8,03
Производительность	12,88	12,90	12,96	13,80	13,81	14,02

Все приведенные данные говорят за то, что метеорологические условия года могут влиять не только непосредственно на растение, но влияют на урожай и действие удобрений главным образом через почву, изменяя так или иначе ход процессов мобилизации основных

питательных веществ в ней и тем создавая иные условия питательного и санитарного режима почвы. Здесь большое значение должно иметь состояние погоды до посева.

Таким образом, подводя общие итоги учению Константина Каэтаповича, можно сказать следующее:

В основу познания свойств почвы как среды для с.-х. растений акад. К. К. Г е д р о й ц положил почвенный поглощающий комплекс как наиболее активную часть почвы, определяющую и качественный и количественный состав почвенного раствора.

Почвенный поглощающий комплекс является источником не только ряда питательных элементов, поступающих в почвенный раствор, но и источником одного из видов почвенной энергии — энергии поверхностного натяжения, которая и обуславливает ряд свойств почвы и процессов, протекающих в ней.

Тесная зависимость агрономических свойств почвы от внешних метеорологических условий создает неустойчивость в равесии между твердою фазою почвы и почвенным раствором и обуславливает неустойчивость во времени плодородия почвы.

Неустойчивость плодородия почвы во времени является одной из причин неустойчивости по годам урожаяв и непостоянства действия удобрений.

Освещение всех этих сложнейших вопросов для целей поднятия высоты, качеств и устойчивости урожаяв социалистического земледелия и было основной целью и задачей работ К. К. Г е д р о й ц а, которым он отдал свои блестящие исследовательские способности, огромную эрудицию и удивительную энергию.

**А. ПОЧВЕННЫЕ ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ И РАСТЕНИЕ**

**1. ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЮ КАЛЬЦИЯ, МАГНИЯ И КАЛИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПОЧВЕ В СОСТОЯНИИ, К ОБМЕНУ НЕСПОСОБНОМ. ОТНОШЕНИЕ РАСТЕНИЯ К НЕКОТОРЫМ КАТИОНАМ, ПОЛНОСТЬЮ НАСЫЩАЮЩИМ ЕМКОСТЬ ОБМЕНА ПОЧВЫ<sup>1</sup>**

В настоящее время очень много внимания уделяется вопросам, связанным с состоянием почвы в зависимости от состава обменных ее катионов, и выяснению зависимости химических, физических и физико-химических свойств почв от этого состава.

Вопросы же зависимости роста растений и жизни и деятельности микроорганизмов от этого состава обменных катионов в почве, имеющие не меньший теоретический интерес и вместе с тем громадное практическое значение, до настоящего времени остаются почти совсем вне экспериментального исследования. А между тем эксперименты с растениями и микроорганизмами в этом направлении могут дать нам не только целый ряд очень интересных выводов, могущих иметь применение в земледелии; растения и микроорганизмы являются очень чувствительным и тонким индикатором на те изменения, какие происходят в почве с изменением ее свойств, а значит и состав ее обменных катионов; применение этого биологического метода исследования различных вопросов, относящихся к области поглотительной способности почвы в самом широком смысле этого понятия, должно быть не менее плодотворно, нежели применение химических и физико-химических методов. Совершенно ясно, что широкое использование этого метода исследования наряду с другими, приобретенными уже в почвоведении право гражданства, весьма желательно как в интересах самого почвоведения, так и для земледелия. Этим мы дополним, расширим и углубим наши познания. Как на пример возможности и плодотворности применения биологического метода в почвоведении укажем на давно интересующий почвоведов вопрос, может ли почва содержать обменный водород или же причиной кислотности почв всегда является обменный алюминий. Оказывается, что вопрос этот очень легко и просто решается растением: отношение растения к почве, обработанной солью алюминия до полного вытеснения из нее почвенных обменных катионов, с одной стороны, и обработанной 0,05N соляной кислотой тоже до полного вытеснения обменных катионов, с другой стороны, оказывается после известкования той и другой совер-

<sup>1</sup> «Удобрение и урожай», 1931 г. № 9.

шенно различным<sup>1</sup>; говорить, что в обоих случаях имеем дело с обменным алюминием, не приходится, а констатируемое действие известкования на почве, обработанной 0,05N соляной кислотой, можно объяснить только присутствием в ней обменного водорода.

Почти полное отсутствие опытов с растениями на почвах, искусственно насыщенных теми или другими катионами, объясняется конечно в первую очередь сложностью, громоздкостью и сравнительно высокой стоимостью изготовления необходимого для этих опытов почвенного материала и необходимостью кроме того известной обстановки для проведения этих опытов, а у нас сверх того трудностью получить необходимые реактивы в потребных количествах и достаточной чистоты. Я например свои исследования биологическим методом вопросов, связанных с поглотительной способностью почв, начал уже в 1911 г., но мог довести их до состояния, удобного для изложения, только теперь, и далеко не закончив еще разработки вопросов, которые поставил себе почти 20 лет назад. Раньше чем перейти к основной теме настоящей статьи, а именно к вопросу, каково отношение растений к различным катионам, когда каждый из них полностью насыщает всю емкость обмена данной почвы, я остановлюсь сначала на выявившемся в моих опытах резком различии в значении различных питательных обменных катионов для жизни растения.

Как известно, между питательными необходимыми для жизни растения элементами имеются только три, а именно Ca, Mg и K, которые находятся (или могут находиться) в почве в обменном состоянии; мы знаем далее, что какое бы количество этих катионов ни было в почве в обменном состоянии, всегда в почве эти же катионы содержатся и в состоянии, к обмену неспособном, причем обычно необменного Ca в почвах значительно меньше, чем обменного (например в пахотном горизонте тульского тучного чернозема, на котором были поставлены первые из описываемых здесь вегетационных опытов, обменного CaO было 1,26 %, а необменного—0,5 %), для Mg же и K имеем обратное соотношение (для означенного чернозема: обменного Mg—0,17 %, а необменного—0,93 %, обменного K<sub>2</sub>O—0,07 %, необменного—2,04 %). Обменного магния почвы, как правило, содержат сравнительно очень мало, но во всяком случае количество его всегда представляет вполне реальную величину; не найдено еще такой почвы, относительно которой можно было бы сомневаться в обладании ею обменным магнием. Не то в отношении калия; несколько сотых процента K<sub>2</sub>O или около 1 мг-экв. на 100 г почвы — обычное содержание обменного калия в почве; это такая ничтожная величина, что трактовать ее как реальную не приходится, принимая во внимание сложность вытеснения калия из почвы, сложность самого метода определения количества калия, а главное, считаясь со всегда возможным в применяющихся реактивах присутствием следов калия, что уже одно при больших количествах реактивов, применяющихся при определении обменного калия, может дать в результате величины калия того же порядка. Поэтому, пока не будет разработан более чувствительный метод определения обменного калия (то же относится конечно и к обменному маг-

<sup>1</sup> См. мою статью «К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии в кислых почвах», в кн. 5, «Почвоведение» за 1929 г.

пию и вообще к обменным катионам, когда их в почве очень мало), до тех пор наши представления о количестве его в почве будут очень гадательны.

Почему же все-таки обменных магния и калия в почвах вообще так мало при большом общем содержании этих элементов? Ответить на этот вопрос можно лишь очень предположительно. Возможно например, что вследствие присутствия теперь или в более или менее отдаленные времена в почвах значительных количеств углекислого кальция все катионы существующих (или существовавших) поверхностей первичных частиц почвы заместились кальцием и что таким образом, если бы в процессах дальнейшего почвообразования не образовывалось новых поверхностей, доступных другим вытесняющим катионам, то мы не имели бы обменного калия (магния); но несомненно, что такие поверхности образуются (например вследствие удаления с поверхности существующей частицы, насыщенной обменным кальцием или водородом, получающихся продуктов обмена или вследствие раздробления частиц и вообще вследствие процессов выветривания, в которых в верхних слоях почвы большое участие принимает растительность), и внутренние слои почвенных частиц могут становиться внешними; а такая вновь образовавшаяся поверхность может конечно содержать в зависимости от ее минералогического состава обменные калий и магний. Разумеется, такой процесс новообразования внешней поверхности должен быть очень медленным, и потому количество обменных калия и магния (и натрия) в каждый данный момент может быть в почве лишь очень мало.

Разумеется, на этих вновь возникающих внешних поверхностях должны быть и обменные катионы кальция, но так как *необменного* кальция в почве меньше, чем *необменных* магния и калия, то естественно, что обменного кальция в среднем на этих поверхностях будет меньше, чем обменных калия и магния.

Возможно и иное объяснение того же явления. Несомненно, что обменной способностью обладают все почвенные частицы независимо от их величины, но интенсивность обмена, находясь в прямой зависимости от степени дисперсности вещества в единице его объема, будет у коллоидальной фракции значительно больше, чем у неколлоидальной; если мы назовем обмен у коллоидальной фракции интенсивным обменом, то можно сказать, что неколлоидальная часть почвы обладает также обменом, но только экстенсивным. Подобного же порядка обмен (с количественной стороны) должен иметь место и в коллоидальной части почвы в отношении очень небольших остаточных количеств содержащихся в ней обменных катионов, а также катионов и на вновь возникающих внешних поверхностях. На поверхности этих более крупных почвенных частиц должны быть катионы и кальция, и магния, и калия (и натрия); но так как интенсивно обменивающийся кальций составляет большую часть всего валового кальция почвы, а обменные магний и калий (и натрий) — лишь ничтожную часть их валового содержания, то естественно, что на поверхности крупных почвенных частиц можно ожидать относительно больше обменных катионов магния и калия, нежели кальция. Во всяком случае несомненно, что вытеснение обменных катионов из почвы обработкой ее в течение того или другого времени соевым раствором любого ка-

тиона до полного конца не доводится никогда; мы вытесняем лишь интенсивно обменивающиеся катионы и часть экстенсивно обменивающихся; большая же или меньшая часть обменных катионов крупных фракций плюс обменные катионы на вновь образующихся внешних поверхностях почвенных частиц, т. е. вообще экстенсивно обменивающиеся катионы, остаются в почве: полное их вытеснение — это процесс по всей вероятности чрезвычайно длительный. Можно говорить лишь о практически полном для данной цели вытеснении из почвы обменных катионов; так например для сравнительного изучения почв по содержанию в них обменных катионов в настоящее время еще совершенно достаточно определения количеств обменных кальция и магния, практически вытесняемых из почвы имеющимися методами, но эти методы уже недостаточны для изучения явлений, связанных с обменным калием. В вопросах же питания растений нам уже теперь необходимо, как мы увидим ниже, иметь возможность определять в почве количества экстенсивно обменивающихся катионов и кальция, и магния, и калия. Во всяком случае каковы бы ни были причины указанного явления, но сам факт ничтожного содержания в почве обменных калия и магния как по абсолютной величине, так и по отношению к валовым их количествам и как раз обратное соотношение для кальция несомненно; кальций как обменный катион с количественной стороны находится в почвах в особом положении по сравнению с остальными почвенными обменными основаниями. Мы сейчас увидим, что на особое положение кальция среди других обменных катионов, необходимых для жизни растений, указывается также и растением.

Как я уже упоминал в одной из своих прежних работ<sup>1</sup>, в 1912 г. мною был поставлен большой вегетационный опыт на пахотном горизонте тучного чернозема, искусственно полностью насыщенного по моему способу кальцием. Цель опыта заключалась в том, чтобы получить почву, сильно реагирующую на калийные удобрения (естественные почвы обычно реагируют на калий в вегетационных сосудах очень слабо в присутствии даже сильного азотистого и фосфорнокислого удобрения), и иметь таким образом возможность изучать вопросы питания растения калием не только в водных и песчаных культурах, но и в почвах. С приготовленной таким образом почвой, содержащей из обменных оснований практически один лишь кальций, был поставлен в сосудах (20+20 см) вегетационный опыт с одним и тем же основным удобрением (0,2 г азота в  $\text{NaNO}_3$  и 0,2 г фосфорной кислоты в  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) и с различными количествами сернокислого калия (от 0,05 до 1,0 г  $\text{K}_2\text{O}$  на сосуд) при различном способе его внесения. Опыт был проведен с тремя растениями: с овсом, горчицей и гречихой.

В результате все исследованные комбинации дали для каждого растения в пределах ошибки вегетационного метода совершенно одинаковые урожаи; опыт таким образом не достиг поставленной ему цели: почва и после насыщения ее кальцием не реагировала на калий при данных ей количествах азота и фосфора. Однако самый этот факт представляет большой интерес для вопроса о роли обменных питательных катионов в жизни растения; поэтому мы на этом опыте здесь

<sup>1</sup> К. Гедройц. «Поглотительная способность почвы и почвенные цеолитные основания». «Журнал опытной агрономии», 1916 г., т. 17.

остановимся, а так как во всех сосудах под каждым растением этого опыта, как уже указывалось, получились одинаковые урожаи, то мы не будем приводить здесь всего громадного цифрового материала этого опыта, а ограничимся только нижеследующей таблицей (табл. 1).

Результаты показывают, что ни под одним из трех растений и первоначальный чернозем и чернозем, насыщенный одним кальцием, вовсе не нуждались в калии, а так как в основном удобрении не было магния и так как первоначальный чернозем заведомо в нем не нуждался, то из приведенного опыта следует, что чернозем, полностью насыщенный кальцием, также не нуждался и в магнии. Подобный же результат был получен в ниже описываемых опытах 1929 г. в отношении магния на черноземе, насыщенном водородом; в этом опыте внесением в почву N, P, K, CaCO<sub>3</sub> (магния не вносилось) получался такой же урожай овса, как и на первоначальном черноземе при том же удобрении. Без калия опытов больше не ставилось.

Таким образом на почве, из которой вытеснены практически полностью обменные магний и калий, растения все-таки в состоянии использовать эти элементы почвы и дают при обеспеченности другими питательными веществами высокие урожаи (10 г зерна овса, полученные в сосудах вышеописанного опыта, по перечислении соответствуют около 30 ц/га). Совершенно иное получается в отношении питания растений кальцием: если из почвы вытеснить практически весь обменный кальций, заменив его таким катионом, присутствие которого не лишает растения возможности в той или другой степени развиваться, то, как показывают нижеприводимые опыты, без прибавления к такой почве кальциевой соли растение совершенно гибнет.

Так например при урожае овса на первоначальном черноземе по полному удобрению (N, P, K) около 6 г на сосуд (маленькие сосуды на 600 г почвы) на почве, полностью насыщенной магнием, по тому же полному удобрению растения совершенно гибли, а по полному удобрению плюс углекислый кальций мы получили 2,5 г урожая; та же картина получалась, как мы увидим ниже, и при насыщении почвы другими катионами.

Совершенно ясно, что при наших методах вытеснения обменных катионов из почвы растение на почве, практически лишенной обменного магния и калия, имеет в самой почве источник этих элементов, необходимых ему для той или иной высоты урожая; на почве же, лишенной обменного кальция, растение такового уже не находит в самой почве.

Наиболее просто это явление можно объяснить, сделав предположение, что нашими способами вытеснения обменных катионов мы их не вытесняем полностью, несмотря на очень продолжительное промывание почвы солевым раствором взятого катиона-вытеснителя; на самом деле оно конечно так, потому что даже двадцатикратной последовательной обработкой почвы раствором катиона-вытеснителя мы не можем удалить из нее всех экстенсивно обменивающихся катионов почвы целиком, причем, как мы видели выше, есть основание предполагать, что после такой обработки из обменных катионов почвы в ней должно остаться больше магния и калия, чем кальция; первых двух в почве остается еще столько, что растение может при обеспеченности другими питательными элементами развиваться нормально и давать

Таблица 1

Результаты вегетационного опыта на зерносемях, насыщенном кальцием (урожай в г на сосуд)

Культуры	Основные удобрения $K_2O$ и $NaH_2PO_4$																	
	0 г $K_2O$			0,05 г $K_2O$			0,1 г $K_2O$			0,15 г $K_2O$			0,20 г $K_2O$			0,30 г $K_2O$		
	Варо	Сосна	Вето	Варо	Сосна	Вето	Варо	Сосна	Вето	Варо	Сосна	Вето	Варо	Сосна	Вето	Варо	Сосна	Вето
<b>ОВЕС</b>																		
Почва первоначальная																		
1-й сосуд	10,0	10,6	20,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	10,4	11,0	21,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	10,2	10,8	21,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, насыщенная кальцием																		
1-й сосуд	9,4	11,2	20,6	9,7	10,5	20,2	9,2	10,6	19,8	9,4	10,2	19,6	10,1	10,4	20,5	10,5	11,0	21,5
2-й »	9,2	11,0	20,2	10,8	11,0	21,8	10,3	11,4	21,7	9,8	10,4	20,2	10,0	10,7	20,7	9,3	10,8	20,1
Среднее	9,3	11,1	20,4	10,2	10,8	21,0	9,8	11,0	20,8	9,6	10,3	19,9	10,0	10,6	20,6	9,9	10,9	20,8
<b>ГОРЧИЦА</b>																		
Почва первоначальная																		
1-й сосуд	5,3	12,8	18,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	5,5	13,6	19,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	5,4	13,2	18,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, насыщенная кальцием																		
1-й сосуд	5,7	12,9	18,6	5,5	12,6	18,1	5,1	12,8	17,9	5,1	12,3	17,4	5,3	12,4	17,7	5,4	12,6	18,0
2-й »	5,0	13,1	19,1	5,7	12,9	18,6	5,4	13,1	18,5	5,2	11,9	17,1	5,6	12,8	18,4	5,8	12,8	18,5
Среднее	5,4	13,0	18,4	5,6	12,8	18,4	5,3	12,9	18,2	5,2	12,1	17,3	5,5	12,6	18,1	5,6	12,7	18,3
<b>ГРЕЧИХА</b>																		
Почва первоначальная																		
1-й сосуд	13,5	12,0	25,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	12,9	13,1	26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	13,7	12,6	26,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, насыщенная кальцием																		
1-й сосуд	13,2	13,0	26,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й »	13,0	11,0	26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее	13,1	12,0	25,1	12,2	13,1	25,3	12,0	13,0	25,0	12,4	13,2	25,6	12,2	13,1	25,1	13,4	12,7	25,8

той или другой величины урожая, между тем как кальция оказывается уже так мало, что растения погибают.

Теперь мы переходим к главной теме нашей статьи.

Из числа многих вопросов, связанных с обменными катионами почвы в их отношении к растению, первым, который надлежало разрешить, был по моему мнению вопрос о том, как будет реагировать растение на почву, целиком насыщенную тем или другим катионом как из числа естественно встречающихся в почве, так и не встречающихся там. Эти опыты мы начали еще с 1913 г.; мы провели тогда опыт с тульским тучным черноземом, насыщенным в отдельности  $\text{NH}_4$ , Na и K. Вследствие сложности приготовления почвы, насыщенной этими катионами и лишенной вместе с тем полностью тех солей, которыми почва обрабатывалась для этого насыщения, а затем вследствие почти полной уверенности, что с.-х. растения не будут развиваться на таких почвах, эти опыты мы ставили в стаканчиках на 200 г почвы. В почву вносилось полное удобрение (N, P, K и Mg) без и с  $\text{CaCO}_3$ . В результате семена всех исследовавшихся растений как в присутствии, так и в отсутствие  $\text{CaCO}_3$  не всходили, ослизались и гибли. Таким образом почва, насыщенная  $\text{NH}_4$ , Na или K, оказалась средой, совершенно не пригодной для развития с.-х. растений. Теперь конечно причины этой непригодности для нас совершенно понятны. В дальнейшем мы предполагали исследовать развитие растений при разной степени насыщенности почвы, различной емкости обмена каждым из этих катионов, а в отношении обменного  $\text{NH}_4$  — потребность почвы в азотистом удобрении при тех количествах обменного аммония в почве, при котором он еще не вредит росту растений. Такие исследования представляли бы интерес не только теоретический, но и с практической точки зрения, например для познания солонцов, так как только такими опытами можно в действительности разрешить очень существенный вопрос о зависимости роста того или другого растения от степени солонцеватости почвы; совершенно ясно, что рост растений на почвах, содержащих вредный растениям щелочной обменный катион, должен находиться в зависимости и от абсолютного и от относительного содержания в почве этого катиона. Однако задачу эту нам не удалось осуществить, а к продолжению наших опытов по выяснению условий роста растений на почвах, насыщенных тем или другим катионом, мы могли приступить лишь с 1928 г.

К вегетационному периоду этого года мы приготовили из тучного чернозема Каменно степной опытной станции почвы, насыщенные следующими катионами: Mg, Ba, Mn, Co Ni, Cu и H. Опыт был поставлен на вегетационной станции отдела почвоведения ГИОА в маленьких сосудах на 700 г почвы. Ввиду небольшого количества приготовленных почв с каждой из них и с первоначальным черноземом опыт был поставлен под одним растением — горчицей — и только без удобрения и по полному (0,1 г N в  $\text{NaNO}_3$ , 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 г  $\text{K}_2\text{O}$  в  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) без углекислого кальция; исследования влияния углекислого кальция я решил произвести с теми же почвами на следующий год.

Растения дали урожай (и вполне нормальный) только на первоначальном черноземе. На почвах же, насыщенных каждым из вышеприведенных катионов, растения, несмотря на многократный пересев

или не всходили вовсе или появлялись единичные всходы, которые быстро гибли.

В 1929 г. опыт с почвами из сосуда опыта 1928 г. был повторен на Носовской с.-х. опытной станции в сосудах, вмещавших по 600 г почвы, причем во все сосуды с первоначальной почвой было внесено полное удобрение (в таких же количествах, как и в 1928 г.), а в сосуды с остальными почвами полное удобрение вносилось лишь в те сосуды, которые в 1928 г. были без удобрения; в сосуды же, получившие в 1928 г. полное удобрение, в этом году его уже не вносились, так как удобрения, данные этим почвам в 1928 г., были вовсе не использованы, но в эти сосуды было внесено по 10 г  $\text{CaCO}_3$ . Опытным растением в этом опыте служил овес. Результаты опыта получились следующие (средний урожай из 2 параллельных сосудов в граммах на сосуд):

На первоначальной почве		Общий урожай	Урожай зерна
По полному удобрению . . . . .		5,7	1,6
» » » + $\text{CaCO}_3$ . . . . .		5,4	1,7

На почвах, насыщенных различными катионами, по полному удобрению без  $\text{CaCO}_3$  результат получился такой же, как и в предшествующем году: семена или вовсе не всходили или появлявшиеся всходы быстро гибли.

В присутствии полного удобрения с  $\text{CaCO}_3$  прошлогодний результат получился на почвах, насыщенных Ва, Ni и Со; на этих почвах растения вовсе не развивались, урожай получился 0; таким образом, когда означенные три катиона вполне насыщали всю емкость поглощения взятой почвы, овес и при полной обеспеченности в питательных веществах (в том числе и кальцием) не мог вовсе развиваться.

На почве, насыщенной Си, овес по полному удобрению с  $\text{CaCO}_3$  дал урожай, но совершенно ничтожной величины — всего 0,39 г общей массы с 0,05 г зерна (5 зерен на сосуд).

На почве, насыщенной Mg по полному удобрению с  $\text{CaCO}_3$ , урожай получился в 1,56 г общей массы и 0,38 г зерна.

На почве, насыщенной Mn, урожай по полному удобрению с  $\text{CaCO}_3$  был: 1,6 г общей массы и 0,18 г зерна. И наконец на почве, насыщенной водородом по полному удобрению с  $\text{CaCO}_3$ , овес дал такой же урожай, как и на первоначальной почве.

Отметим здесь, что эти опыты вполне подтвердили данные опыта 1912 г.: если из почвы вытеснен практически весь обменный кальций каким-либо другим катионом (в данном случае водородом, марганцем и магнием), то растения могут развиваться лишь тогда, когда в почву будет внесена кальциевая соль: если же из почвы вытеснен практически весь магний каким-либо катионом (в данном случае водородом и марганцем), то растение, если оно только способно расти в присутствии этого насыщающего почву катиона, развивается и дает нормальный урожай и без прибавления магниезального удобрения.

В том же 1929 г. были поставлены вегетационные опыты на почвах, насыщенных мною рядом других катионов, а именно: Mg, Ca, Sr, Cd, двузначным и трехзначным железом, Al и водородом; опыты велись в таких же сосудах, что и в предшествующем случае, с полным удоб-

Таблица 2

Урожай овса на тучном черноземе, насыщенном различными катионами

Виды почв	Полное удобрение		Полное удобрение + CaCO <sub>3</sub>	
	Общий урожай	Зерно	Общий урожай	Зерно
Почва первоначальная . .	5,9	1,44	5,6	1,20
Почва насыщенная:				
Mg . . . . .	0,33	0,01	2,4	0,62
Ca . . . . .	6,3	1,92	—	—
Sr . . . . .	5,4	0,8	5,6	0,97
Cd . . . . .	0	0	0	0
Fe . . . . .	0,7	0,14	1,6	0,35
Fe . . . . .	0	0	1,0	0,23
Al . . . . .	0,24	0	2,6	0,80
H . . . . .	0,21	0,1	5,7	1,6

рением (N, P, K, Mg) и с полным удобрением плюс CaCO<sub>3</sub>; растением служил также овес. В табл. 2 приводим полученные в этом опыте урожаи (среднее из 2 параллельных сосудов в граммах на сосуд).

И в этом опыте на почвах, насыщенных большинством из исследованных катионов, в отсутствие углекислого кальция растения или вовсе не росли (по Cd и Fe) или же дали предельные урожаи (Mg, Al, H); более высокий урожай получился в отсутствие CaCO<sub>3</sub> на почве, насыщенной двужначным железом (возможно, что здесь обменный кальций не был целиком удален из почвы); далее, высокий урожай получен в отсутствие CaCO<sub>3</sub> на почве, насыщенной кальцием (такой же величины, как на почве первоначальной); причина этого совершенно понятна. Но совершенно неожиданно для меня урожай овса на почве, насыщенной стронцием, в отсутствие CaCO<sub>3</sub> получился почти такой же величины, как на первоначальной почве и почве, насыщенной Са (зерна заметно меньше); если принять во внимание данные для всех остальных исследованных обменных катионов, то приходится признать, что на почве, насыщенной стронцием, растения как-то обходятся без доступного им кальция, что не имело места ни при одном из других испытанных катионов; напрашивается вывод, что стронций может в известной степени заменить для растения кальций. Внесение в исследовавшиеся в этом опыте почвы кроме азота, фосфора, калия, магния еще углекислого кальция существенно изменило общую картину. В то время как из восьми почв, насыщенных в этом опыте различными катионами (а именно: магнием, кальцием, стронцием, кадмием, закисным железом, окисным железом, алюминием и водородом), мы получили урожай, в сущности говоря, только по кальцию и стронцию, ну, еще можно сказать, по закисному железу, — на тех же почвах, но в присутствии CaCO<sub>3</sub> только почва, насыщенная кадмием, не дала вовсе урожая; кадмий, насыщающий емкость обмена почвы, совершенно убивал овес; на всех же остальных почвах растения развивались, давая различной величины урожаи, причем такой же ве-

лишны урожай, как и на первоначальной почве, получились на почве, насыщенной водородом (так же как и в предшествующем опыте), и на почве, насыщенной стронцием; при всех других обменных катионах растения росли, но давали значительно меньший урожай: на почве, насыщенной Mg, и на почве, насыщенной Al, урожай по величине составляли примерно половину урожая на первоначальной почве, а по окисному и закисному железу и того меньше.

В настоящее время можно считать твердо установленным, что целый ряд физических и химических свойств почвы, причем не только твердой ее фазы, но и жидкой и газообразной, находятся в теснейшей связи с составом катионов, насыщающих емкость обмена почвы.

Мы теперь знаем, что из числа металлов, входящих в состав почвы в заметных количествах (Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, H, сюда же можно еще причислить Mn, NH<sub>4</sub> и Li), кальций как обменному катиону принадлежит особая роль в жизни почвы. Во-первых, его в почвах (по крайней мере в не особенно сильно разрушенных) обычно значительно больше, чем других перечисленных металлов, как обменных катионов. Во-вторых, когда именно кальций насыщает (или почти насыщает) емкость обмена почвы, то в почве создаются наиболее благоприятные условия для поддержания в почвенном растворе реакции, близкой к нейтральной; элементы Li, NH<sub>4</sub>, Na, K и отчасти магний как обменные катионы вызывают более щелочную реакцию, а Mn, Al, Fe и H — кислую реакцию.

Далее, обменный кальций создает в почве особые физические свойства, благодаря которым между водным и воздушным режимами почвы устанавливается такое соотношение, которое для данной почвы и данных климатических условий наиболее благоприятствует жизни большинства высших растений и аэробных микроорганизмов. При всех остальных перечисленных металлах как обменных катионов это соотношение будет менее благоприятным. Ближе всего к кальцию во всех этих отношениях из перечисленных катионов стоит магний.

В результате вышеприведенных вегетационных опытов на почве, полностью насыщенной одним из следующих 16 катионов: H, NH<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, Sr, Cd, Ba, Mn, Fe<sup>2+</sup>, Co, Ni, Cu, Al, Fe<sup>3+</sup>, мы видим, что и растение указывает на совершенно особое положение обменного кальция среди всех испытанных катионов.

Мы видели, с одной стороны, что на почве, не содержащей обменного калия, растение не может вовсе развиваться, если на почву искусственно не внесли какой-либо кальциевой соли как источника питания растения кальцием; неспособная к обмену часть почвенного кальция (по крайней мере к интенсивному) в противоположность неспособным к обмену магнию и калию восприниматься растением в необходимом для жизни его количестве не может. С другой стороны, опыты показывают, что этот катион может полностью насыщать емкость обмена почвы и все-таки растение развивается на такой почве в отношении получаемого урожая не хуже, чем на естественной почве, содержащей кроме обменного кальция также и обменный магний.

Из всех 16 исследованных нами элементов как катионов, полностью насыщающих емкость поглощения почвы, только еще один, а именно стронций, очень близкий к кальцию по своим свойствам, оказался и по своему действию на растение очень близким к каль-

цию: на почве, насыщенной им, т. е. не содержащей обменного кальция, овес развивался почти так же, как и на почве, содержащей обменный кальций: общий урожай овса на этой почве был почти такой же величины, как и на первоначальном черноземе и на черноземе, насыщенном кальцием, но зерна получилось все-таки меньше. Таким образом стронций, даже полностью насыщая почву, с одной стороны, не вредил растению, так же как и насыщающий почву кальций, а с другой стороны, как бы замещал для растения кальций как питательный элемент. Все остальные исследованные элементы, насыщая полностью емкость поглощения почвы и лишая этим необходимого для питания растения доступного ему кальция, давали такие почвы, на которых растение, если и развивалось, то лишь при внесении в почву углекислого кальция. Из таких элементов остановимся прежде всего на водородном ионе.

Опыт показывает, что без  $\text{CaCO}_3$  на почве, полностью насыщенной H, овес вовсе не рос; развитию его мешали два обстоятельства: отсутствие в такой почве усвояемого кальция и кислая реакция; внесение  $\text{CaCO}_3$  устраняло обе эти причины, и почва тогда давала такой же урожай, как и первоначальный чернозем и чернозем, насыщенный целиком кальцием. Что росту овса мешало не только отсутствие в этой почве доступного растению кальция, но и сама ненасыщенность почвы основаниями (вернее сказать, те свободные кислоты, которые получаются на этой почве вследствие обмена катионов солей почвенного раствора на водородный ион ненасыщенной почвы), показывает наш опыт на этой почве с внесением в нее  $\text{CaSO}_4$  вместо  $\text{CaCO}_3$ ; результат его следующий (почва, полностью насыщенная водородом):

Удобрение		Общий урожай	Зерно
Полное	без $\text{CaCO}_3$ . . . . .	0,21 г	0,1 г
»	+ $\text{CaSO}_4$ . . . . .	0,24 »	0,02 »
»	с $\text{CaCO}_3$ . . . . .	5,7 »	1,6 »

Из остальных исследованных катионов все, т. е.  $\text{NH}_4$ , Na, K, Mg, Cd, Ba, Mn, Ni, Co, Cu, Fe<sup>++</sup>, Fe<sup>+++</sup> и Al, когда они полностью насыщали емкость поглощения почвы, в отсутствие  $\text{CaCO}_3$  вызывали полную гибель овса, в присутствии же углекислого кальция на почве, насыщенной некоторыми из них, а именно:  $\text{NH}_4$ , Na, H, Cd, Ba, Ni, Co, Cu, овес также совершенно погибал: почва, насыщенная ими, приобретала такие химические свойства<sup>1</sup>, которые не позволяли вовсе развиваться растению и при полной обеспеченности его всеми необходимыми питательными элементами. Дело очевидно тут — в ядовитости тех продуктов, которые получаются в почвенном растворе этих почв; а такими продуктами могут быть лишь эти катионы, переходящие в почвенный раствор вследствие вытеснения их из почвы катионами внесенных в почву питательных солей и водородным ионом воды, причем очевидно, что в случае обменных  $\text{NH}_4$ , Na и K ядовитость обуславливается не самими этими катионами, а получающимся в их присутствии свободным гидроксильным ионом; остальные же из

<sup>1</sup> В условиях постановки наших опытов с почвами, насыщенными щелочными катионами, особые физические свойства этих почв не могли играть сколько-нибудь заметной роли в гибели растений.

этих катионов (т. е. Cd, Ba, Ni, Co и Cu) очевидно губят растение, являясь непосредственно ядовитыми, а не вследствие создания в почвенном растворе неподходящей растению реакции, так как последняя может изменяться вступлением этих катионов в почву лишь очень слабо и притом в сторону усиления кислотности, которая в условиях нашего опыта (присутствие CaCO<sub>3</sub>) не может вредно сказываться на растении.

Наконец на почвах, насыщенных одним из следующих катионов: Mg, Mn, Fe, Fe<sup>+++</sup>, Al, на которых овес также погибал в отсутствие CaCO<sub>3</sub>, при внесении этого соединения овес развивался, но давал значительно более низкий урожай, а именно, в то время как на первоначальном черноземе, насыщенном одним лишь кальцием, получалось около 6 г урожая овса на сосуд:

На почве, насыщенной Mg	На почве, насыщенной Mn . . . 1,6 г
(+ CaCO <sub>3</sub> ) . . . . . 2,4 г	Fe <sup>++</sup> . . . 1,6 »
На почве насыщенной Al . . . 2,6 »	Fe <sup>+++</sup> . . 1,0 »

т. е. все эти катионы, хотя и в меньшей степени, чем ранее перечисленные, также ядовиты растению, когда они полностью насыщают емкость обмена почвы; из них магний и алюминий менее вредны, нежели марганец и закисное и окисное железо.

Из всего сказанного непосредственно вытекает особая роль обменного кальция в жизни растения. *Из всех исследованных металлов как обменных катионов почвы только кальций (повидимому в той же мере и стронций) создает в почве при полном насыщении ее емкости обмена наиболее благоприятные условия для жизни растения.*

Вышеизложенными опытами мы совершенно не затронули вопроса о действии на растения различных комбинаций в составе обменных катионов в почве; совершенно ясно, что из того факта, что например барий при полном насыщении им емкости обмена почвы совершенно губит растительность, нельзя сделать еще никакого заключения о влиянии на растение этого катиона, когда он будет насыщать в почве только ту или другую часть ее емкости обмена, а остальную часть будет насыщать кальций. Вполне возможно допустить, если не по отношению к барию, то по отношению к другим каким-либо ядовитым катионом, что при некотором их содержании в почвенном поглощающем комплексе, хотя бы очень малом, они не только не будут вредить росту, а окажутся стимулянтами подобно тому, как это найдено для солей некоторых элементов. Отсюда видим громадный интерес и может быть большое практическое значение продолжения и дальнейшей детализации приведенных нами в этой статье исследований.

Мы пытались подойти в этом отношении к изучению влияния на рост растения различного соотношения в почве между обменными кальцием и магнием. Мною было приготовлено из тучного чернозема 16 образцов почвы с различным отношением между обменными кальцием и магнием. На этих почвах в том же 1929 г. на Носовской с.-х. опытной станции был поставлен вегетационный опыт с овсом. К сожалению вследствие неблагоприятных условий сходимость параллельных сосудов получилась настолько плохой, что делать какие-либо выводы из полученных урожаев при малой величине сосудов я не имею возможности. Но наблюдения над развитием овса в этом опыте ясно показывали, что в пределах между минимальным содержанием в почве

поглощенного магния (первоначальный чернозем) и максимальным (почва, насыщенная магнием) имелись сосуды с оптимальным развитием растения; повидимому некоторое повышение количества обменного магния за счет обменного кальция в исследовавшемся черноземе оказывало благоприятное действие на овес. Этот вопрос относительно обменного магния несомненно представляет практический интерес, так как он связан например с вопросом о допустимом загрязнении магнием известняков, применяющихся для известкования почв; может быть здесь окажется излишней та щепетильность, с которой некоторые относятся к этому загрязнению. Интересно отметить, что по полученным нами данным в этом опыте (данным, повторю, недостаточно надежным) овес без всякого вреда выносил замену магнием довольно значительной части обменного кальция. Означенные опыты будут мною повторены. Отмечу далее, что например в отношении обменного натрия, делающего почву при полном насыщении им совершенно непригодной для культуры, теоретические соображения<sup>1</sup> определенно говорят о пользе небольшого количества его в черноземе, создающего, по крайней мере для азотистого питания, благоприятные условия. Небольшой опыт, поставленный мною несколько лет назад на Носовской с.-х. опытной станции, подтвердил это. Опыт этот предполагается повторить в большем размере.

Кисловодск, март 1930 г.

## 2. ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВЫ И ОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ КОЛИЧЕСТВАМИ ОБМЕННОГО КАЛЬЦИЯ И ОБМЕННОГО МАГНИЯ В ПОЧВЕ<sup>2</sup>

В предшествующей статье я привел свои исследования отношения овса к почве, полностью насыщенной одним из следующих катионов: Н, NH<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, Sr, Cd, Ba, Mn, Fe<sup>++</sup>, Co, Ni, Cu, Al и Fe<sup>+++</sup> и указывал, что подобное исследование, особенно если оно захватывает достаточно большое количество различных катионов и проведено достаточно широко и с различными растениями, может дать ряд интересных выводов, могущих иметь применение и в земледелии помимо своего глубокого теоретического значения. Настоящее предварительное сообщение будет служить доказательством этой моей мысли: те же опыты, повторенные мною в нынешнем вегетационном периоде<sup>3</sup> в тех же сосудах с добавленным лишь необходимым питательных веществ, дали мне возможность ближе подойти к давно уже интересующему меня вопросу о причинах отрицательного действия известки на некоторых почвах под некоторыми растениями, когда последняя внесена в почву выше некоторой дозы, различной для различных почв; этот вопрос я считаю очень существенным и актуальным вообще для практики известкования.

<sup>1</sup> К. Гедройц, Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция, Носовская с.-х. опытная станция, вып. 43, 1926 г.

<sup>2</sup> «Удобрение и урожай» 1931 г. № 11—12.

<sup>3</sup> Мною были использованы в 1930 и 1931 гг. сосуды с почвами, насыщенными ранее вышеуказанными катионами, так как они по существу могли быть использованы в определенных целях и так как я не имел возможности по различным условиям вновь приготовить почвы, насыщенные теми же катионами, а тем более увеличить, как предполагал, количество этих катионов.

В самом деле, на известкование нельзя смотреть лишь как на меру поднятия урожайности почвы; значение его гораздо шире: как мною доказано и много раз указывалось, углекислый кальций, внесенный в почву в достаточном количестве (во всяком случае в количестве, большем, чем это нужно для создания оптимальных условий урожайности), предохраняет почву (в условиях достаточно влажного климата) от неминуемого в противном случае разрушения почвы и именно ее наиболее ценной для человека части — ее поглощающего комплекса. Известкование является не только временной в целях повышения на ближайшее время урожайности почвы, но и коренной мелиорацией почвы. Конечно для такой мелиорации требуется затрата известных средств и на само известкование и на повышенное удобрение почвы питательными веществами, но при социалистической конструкции сельского хозяйства заботы о будущем должны занимать видное место в современной работе, а кроме того при социалистическом земледелии и самые затраты на коренное известкование и сопряженное с ним удобрение почвы должны значительно снизиться. Перефразируя старую, кажется, английскую поговорку (основанную на полном недоразумении), что «известь обогащает отцов и разоряет детей», можно сказать, что при правильном известковании мера эта обогащает и отцов и детей и предохраняет праправнуков от разорения. Но известкование выше известной нормы, недостаточной еще однако для защиты почвы от разрушения, может, как мы знаем, оказать и отрицательное влияние; совершенно понятно, что пока мы не изучим причины этого явления, пока мы не будем его правильно понимать, а значит и не будем уметь бороться с ним, до тех пор известкование как коренная мелиорация почв будет приемом опасным, могущим понизить урожайность почвы. Если же мы полностью овладеем явлением отрицательного действия избыточного известкования (будем знать причину такого действия, отношение к нему различных наших культурных растений и зависимость этого действия от определенных свойств почвы), то очевидно будем в состоянии теми или другими приемами парализовать это отрицательное влияние <sup>1</sup>.

Отрицательное действие на урожай известкования, как и вообще действие углекислого кальция на почву, проявляется очень разнообразно; но большая часть этих влияний выражена мало интенсивно и зависит от неблагоприятного действия избытка иона кальция в почве на процессы мобилизации органического азота и труднорастворимых фосфорнокислых соединений почвы <sup>2</sup>: присутствие в почве некоторого

<sup>1</sup> Особое значение вопрос о вредном влиянии избыточных доз известки приобретает в севооборотах с растениями, обладающими различной чувствительностью к большим дозам и дающими максимальный урожай при различных количествах известки. Совершенно понятно, что, не разрешив этого вопроса, нельзя полностью использовать в севообороте все те возможности, какие может дать известкование для каждого в отдельности растения севооборота.

<sup>2</sup> Во избежание недоразумения должен оговориться, что для целого ряда почв (подзолистого типа) различными исследователями и в том числе и мною констатировалось благоприятное (и иногда очень сильное) действие известки на повышение доступности растениям азота и фосфора почвы; но такое действие известки на почвенные фосфаты повидимому имеет место лишь до известной дозы известки и, весьма вероятно, в течение лишь некоторого периода времени. Весьма существенно было бы углубить изучение действия известки на почву в этом отношении.

количества обменного водорода<sup>1</sup> (т. е. некоторая недонасыщенность почвы кальцием), если оно еще не вредно данному растению, благоприятствует подвижности почвенных соединений, но вместе с тем уже является причиной разрушения почвенного поглощающего комплекса.

В настоящем сообщении я не буду касаться подобных слабо отрицательных влияний избыточного известкования, причины их нам в общем известны, и потому бороться с ними мы можем, нужно лишь уметь их констатировать в каждом конкретном случае. Я здесь имею в виду остановиться на том резко выраженном отрицательном действии извести, которое проявляется при внесении ее выше некоторой дозы, причем проявляется лишь на некоторых почвах и под некоторыми растениями и не может быть уничтожено обычными удобрительными туками.

Такое действие извести пришлось наблюдать мне впервые в 1900 г. в опытах<sup>2</sup>, проводившихся при ближайшем моем участии в с.-х. химической лаборатории при бывш. Петербургском лесном институте на одном образце сильно оподзоленной почвы б. Смоленской губ.; эта почва, с одной стороны, сильно благоприятно реагировала на внесение извести под всеми исследованными растениями, урожаи правильно повышались с увеличением доз углекислого кальция, а с другой стороны, она же при внесении  $\text{CaCO}_3$  в количестве выше некоторой дозы обнаруживала резкое падение урожая некоторых растений (из исследовавшихся тогда растений — ячмень, горчица, вика, клевер, гречиха — такое вредное действие было констатировано под гречихой и особенно сильно под викой и горчицей). Поиски мои других почв с таким же резко отрицательным отношением к избыточному известкованию долго не увенчивались успехом, и только в 1925 г. среди целого ряда девственных почв Ленинградской области, исследовавшихся руководимой мною тогда вегетационной станцией Отдела почвоведения ГИОА, мне удалось снова натолкнуться на подобную почву, по это был сильно торфянистый горизонт (А) лесной почвы (общее с почвой 1900 г. у этой почвы была сильная ненасыщенность основаниями); относительно подзола 1900 г. сужу о степени ее ненасыщенности, хотя и по несомненному, но все-таки лишь по косвенным данным, так как в то время о явлении ненасыщенности еще не было представления; почва же 1925 г. имела при общей емкости обмена 36,2 мг-экв. на 100 г обменного водорода 34,5 мг-экв. и полную гидролитическую кислотность, определенную различными методами, 95,0 мг-экв.

То обстоятельство, что обе эти почвы одинаково отрицательно относились к избыточному известкованию, резко отличались между собой всеми своими признаками кроме одного — сильной ненасыщенности, между тем как все бывшие у меня в исследовании почвы, сравнительно слабо ненасыщенные, отзываясь благоприятно на известкование, не реагировали отрицательно или вовсе или лишь слабо на испытывавшиеся большие дозы извести, привело меня к убеждению, что эти два явления, т. е. сильное благоприятное действие извести и сильное отрицательное ее действие, тесно связаны между собой (если имеет

<sup>1</sup> К. К. Гедройц, Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция, Труды Носовской с.-х. опытной станции, вып. 43, 1926 г.

<sup>2</sup> Л. Альтгаузен, Опыт по известкованию, Труды с.-х. химической лаборатории, вып. VI, 1909 г., стр. 147.

место первое, то будет иметь место под чувствительными растениями<sup>1</sup> и второе явление) и проявляются они при сильной ненасыщенности почвы основаниями и что именно эта сильная ненасыщенность основаниями является причиной того и другого явления

Такой вывод привел меня к другому выводу, а именно к тому, что к изучению явления неблагоприятного действия больших доз известки необходимо подходить иным путем, не тем, который применялся и применяется до сих пор, а именно не опытами с естественными почвами разной кислотности (имею в виду и обменную и гидролитическую), так как такие почвы вместе с тем будут отличаться и другими свойствами, что конечно затемняет изучаемое явление, а опытами с одной почвой, подходящей для данного вопроса, ненасыщенной, с одной стороны, различными катионами, каждым в отдельности и в различной комбинации, а с другой стороны, и главным образом, насыщенной полностью и насыщенной в разной степени водородным ионом, что я и стал проводить сначала в Ленинграде и Носовке, а в настоящее время на Долгопрудном опытном поле в значительно более широком (но все же в недостаточном) масштабе. Между прочим в 1929 и 1930 гг. я провел небольшой опыт с известкованием в различных дозах тучного чернозема, полностью насыщенного водородом, с овсом и горчицей, а в текущем году в тех же сосудах — с гречихой и викой; опыты эти еще не опубликованы, и в настоящей заметке я их касаюсь лишь мимоходом, тем более, что опыт этого года еще не закончен; подробно все полученные результаты как этого опыта, так и всех остальных, касающихся общей темы — почвенные обменные катионы и растения — и в частности вопроса об обменном водороде, будут опубликованы мною особо; теперь же я только укажу, что мои предположения оправдались полностью: во-первых, почва, полностью насыщенная водородом, проявила себя в отношении известкования совершенно аналогично двум вышеупомянутым почвам, а во-вторых, действительно оказалась незаменимым объектом для изучения вопросов известкования. На основании данных этого предварительного опыта мною в текущем году был заложен гораздо более обширный вегетационный опыт на 170 сосудов с почвой, полностью насыщенной водородом, и одновременно с пятью растениями: овсом, гречихой, клевером, льном и горчицей. В этих опытах (еще также не законченных) овес не обнаружил отрицательного отношения к самым большим дозам известки, гречиха резко страдала и гнила лишь при самых больших дозах; наиболее чувствительными к избыточному известкованию из испытанных растений оказались горчица и лен (при применявшихся градациях углекислого кальция эти растения проявили себя одинаково), а клевер занимал среднее место между ними и гречихой.

Во время постановки вышеупомянутого опыта с известкованием почвы, насыщенной водородом, уже выявились результаты в сосудах моих прошлогодних опытов, засеянных различными растениями, и между прочим опыта с почвой, насыщенной полностью различными катионами, где в текущем году была посеяна горчица. И вот в этом опыте обнаружилось на первый взгляд странное явление: горчица почти всюду гнила или развивалась чрезвычайно плохо и там, где

<sup>1</sup> А возможно также и под нечувствительными растениями, если взять соответственно большие дозы.

прошлые годы не рос овес, и там, где он развивался достаточно нормально при внесении в почву углекислого кальция; теперь же углекислый кальций не только не способствовал росту горчицы (например на почве, полностью насыщенной алюминием, железом и т. д., как это имело место в тех же сосудах с овсом)<sup>1</sup>, но даже в некоторых случаях, наоборот, горчица быстрее гибла в тех сосудах, куда вносился  $\text{CaCO}_3$ ; выделялись только две почвы; насыщенная магнием и насыщенная водородом; на этих почвах горчица без  $\text{CaCO}_3$  погибла, а в присутствии  $\text{CaCO}_3$  развивалась хорошо. Сосуды в этом опыте, как я уже указывал, оставались с прошлых лет; в нынешнем же году почва из каждого сосуда вынималась и перемешивалась с новой порцией питательных веществ в количестве, соответствующем величине прошлогодних урожаев; чтобы вполне убедиться, что при таком перебивании сосудов не произошло какой-либо ошибки, горчица, когда развитие ее вполне определилось, была удалена, и был произведен посев овса. Овес всюду развивался так же, как в прошлые годы. Таким образом предположение о какой-либо ошибке при перебивке сосудов отпадало: в этом опыте углекислый кальций создавал благоприятные условия для роста горчицы лишь на почве, насыщенной полностью водородом или магнием. Результат на почве, насыщенной водородом, был вполне понятен, так как углекислого кальция на этой почве было дано как раз то количество, при котором у нас в опыте известкования почвы, насыщенной водородом, создавались оптимальные условия для роста горчицы; положительное же действие  $\text{CaCO}_3$  на почве, насыщенной магнием, и отрицательное его действие на почвах, насыщенных остальными катионами и особенно кальцием (под горчицу в этом опыте в текущем году был всюду внесен между прочим сернистый магний как питательное вещество в количестве 0,01 г  $\text{MgO}$  на 100 г почвы), я мог объяснить себе только лишь создавшимся в почвах этих сосудов отношением между  $\text{Ca}$  и  $\text{Mg}$ , а именно тем, что это отношение оказалось достаточно благоприятным в сосудах с почвой, насыщенной водородом и магнием, а в почвах, насыщенных другими катионами, оно было сильно неблагоприятным вследствие большого избытка  $\text{Ca}$  над  $\text{Mg}$ .

В начале нынешнего столетия О. Лоев<sup>2</sup> выступил с теорией, по которой для получения максимального урожая необходимо определенное, для каждого растения свое, отношение между кальцием и магнием в питательной среде в силу их антагонистической физиологической роли, отклонение от этой величины отношения в ту или другую сторону вызывает понижение урожая. Исходя из этого, Лоев указывал, что одной из целей известкования почвы является устранение вредного избытка в почве магния. Вопрос вызвал громадную

<sup>1</sup> См. «Удобрение и урожай», 1930 г., стр. 474. Особенно разительное различие в росте овса и горчицы проявилось на почве, насыщенной целиком  $\text{Ca}$ : в 1930 г. овес дал по полному удобрению 6,8 г на сосуд, а по полному с  $\text{CaCO}_3$  — 8,5 г и развивался в обоих случаях вполне нормально; горчица же в 1931 г. (в сосуды при перебивке их было внесено полное удобрение) развивалась очень плохо, даже хуже, чем на почве, насыщенной  $\text{Fe}$ , и примерно так же плохо, как на почве, насыщенной алюминием по полному удобрению с углекислым кальцием.

<sup>2</sup> Первая статья О. Лоев по этому вопросу напечатана в 1901 г. (Liming of Soils from a Physiological standpoint, Bull. I, Bur. of Plant-end. U. S. Depart. of Agriculture).

литературу; появилось очень большое число исследований как с физиологической стороны, так и с точки зрения практики известкования. На этой литературе я сейчас останавливаться не буду; укажу лишь, что в отношении выяснения вопросов, связанных с известкованием почвы вообще и в частности с отрицательным действием избытка известности на различные растения, теория Л о е w осталась совершенно не использованной; все попытки использовать ее в этом направлении оканчивались неудачей; получилось такое положение, что с физиологической стороны антагонизм кальция и магния и необходимость для получения максимального развития правильного соотношения между этими элементами подтвердились многими исследователями<sup>1</sup>; применительно же к росту растений на почвах обнаружился целый ряд фактов, противоречащих этой теории<sup>2</sup>; сразу же возник вопрос, о каком кальции и магнии в почвах идет в данном случае речь; О. Л о е w разъяснил<sup>3</sup>, что надо принимать во внимание формы этих соединений, доступные корням растений, и вместе с тем считал, что для определения этих форм наиболее подходящей является 10-процентная солянокислая вытяжка; совершенно ясно, что при полной неопределенности понятия «соединения, доступные корням растений» и полном несоответствии данных 10-процентной солянокислой вытяжки с тем, что растение может на самом деле взять из почвы, не могло быть никакой закономерности между действием различных доз извести и содержанием в почве кальция и магния, извлекаемых такой вытяжкой. Достаточно указать на тот факт, что избыточное известкование оказывает как общее правило неблагоприятное действие как раз в областях со сравнительно влажным климатом, где отношение Са : Mg как валовых, так и растворимых вообще меньше, а иногда и значительно меньше, чем в областях с более сухим климатом, на которых и в природе и по опытам такого неблагоприятного влияния даже очень больших количеств СаСО<sub>3</sub> вовсе не замечается, чтобы понять причину того, что теория Л о е w не только не отразилась на работах по известкованию почв, но была настолько забыта, что теперь о ней почти вовсе не упоминают. А между тем уже те опыты, которые ставились нами в начале этого столетия в с.-х. химической лаборатории, о которых я говорил раньше, очень близко подходили к решению вопроса о причинах губительного действия СаСО<sub>3</sub> с точки зрения отношения Са : Mg, но отсутствие представления о почвенном поглощающем комплексе, о составе поглощенных катионов в почве и о ее емкости обмена не давали возможности сделать соответствующий вывод. Приходилось искать другие объяснения; в создании двух таких гипотез я принимал очень близкое участие. Первая состояла в том, что избыточное известкование может в некоторых подзолистых почвах вытеснять из минеральной части имеющийся там натрий и образующаяся сода уже губит растение; с развитием моей теории солонцеватости такое объяснение пришлось отбросить. Второе объяснение заключалось в том, что внесение изве-

<sup>1</sup> См. например работы И. К о н о в а л о в а. «Журн. оп. агр.», т. 8, 1907, стр. 257, т. 10, 1909 г., стр. 303. «Изв. Киевск. политехн. инст.», 1907 г.

<sup>2</sup> См. например статьи А. Д о л я р е н к о, «Журн. оп. агр.», т. 14, 1903 г., стр. 183; Д. М e y e r, Landw. Jahrb., 1904 г., стр. 371.

<sup>3</sup> О. Л е в, «Журн. оп. агр.», 5, 1904 г., стр. 193.

сти в избыточном количестве вызывает очень бурную мобилизацию растворимых в воде соединений почвы, высокая концентрация которых может на известных почвах пагубно действовать на растение. Исследования действительно подтвердили, что известкование часто вызывает значительное повышение воднорастворимых веществ, которое может понизить урожай; но, с другой стороны, опыты показали, что губительное действие больших доз извести не уничтожается ни предварительным промыванием произвесткованной почвы, ни продолжительным промежутком времени между внесением в почву извести и посевом растения (например повторный посев на следующий год). Это предположение также не может объяснить гибели растений.

То, что показали мне, как я упоминал выше, опыты этого лета с горчицей на почве, насыщенной полностью различными катионами, и дальнейшие еще незаконченные опыты с той же горчицей на почве, насыщенной в различной степени магнием, и с различными растениями на почве, насыщенной водородом, по различным дозам извести привели меня к определенному выводу, что создающееся отношение между кальцием и магнием играет повидимому решающую роль в сильно неблагоприятном действии извести, приводящем при избыточных дозах ее к полной гибели некоторых растений на почвах, сильно отзывчивых положительно на известь при меньших ее дозах, и что поэтому при изучении отрицательного действия больших доз извести необходимо обратить особое внимание на магний в почве.

Здесь я имею таким образом в виду не то понижающее максимальный урожай влияние извести, о котором говорит Loew<sup>1</sup>, а вредное губящее растения действие.

К такому выводу я пришел, когда уже почти вся приготовленная мною почва, полностью насыщенная водородом, была использована на набивку сосудов по теме действия различных доз извести под пятью растениями; из оставшейся почвы мне удалось поставить еще только четыре сосуда под каждое из пяти растений, и я остановился для предварительного испытания значения отношения между Са и Mg на замене углекислого кальция доломитом; были поставлены два сосуда с доломитом в количестве, эквивалентном дозе СаСО<sub>3</sub>, по предположению еще не совсем достаточной для получения максимального урожая всех пяти растений (40 мг-экв. на 100 г почвы при оптимальной в среднем около 50 мг-экв.) и два сосуда с двойной дозой доломита (эквивалентное количество СаСО<sub>3</sub> совершенно губило горчицу, лен, клевер и несколько понижало рост овса). Цифровых данных результата привести не могу, растения еще не созрели; привожу фотографический снимок. Результат вполне определенный и ясный: при том же количестве нейтрализующего вещества (80 мг-экв. на 100 г почвы) один углекислый кальций губит или понижает урожай, а сумма углекислых кальция и магния (в данном случае в равных количествах) не только совершенно прекращает гибель, но даже доводит урожай некоторых растений (в данном случае льна, клевера, гречихи и овса) до максимального, полученного в данной серии опытов (насколько можно об этом уже судить по виду растений); что касается горчицы, то внесение равных количеств магния и кальция не полностью унич-

<sup>1</sup> См. «Журн. оп. агр.», т. 5, 1904 г., стр. 193.

тожило вредное действие одного углекислого кальция (в этом между прочим я вижу косвенное доказательство значения отношения между кальцием и магнием, ибо было бы удивительно, если бы одинаковое отношение было одинаково же благоприятно для всех растений и если бы мы сразу на него наскочили; наоборот, это служило бы поводом думать, что здесь действует что-то другое); отношение горчицы к доломиту очень интересно: с самого начала опыта и до полного цветения горчица развивалась по 80 мг-экв. доломита даже лучше, чем горчица в оптимальных условиях, но затем цветы, не навязывая плодов, стали сохнуть<sup>1</sup>. Такого действия доломита на зерно других растений не замечается; интересно далее отметить, то меньшая из наших доз доломита дала горчицу с менее развитыми вегетационными органами, нежели соответствующая доза углекислого кальция, но с более развитыми и полными стручковками.

Кроме этого опыта мы провели кое-какие другие предварительного характера (что вызывалось недостатком почвы и поздним временем) с перебивкой сосудов, на которых растения уже погибли, с внесением в почву различных количеств углекислого магния (лабораторного) и магнезита; эти опыты нас еще более убедили в правильности нашего вывода, что причиной сильно отрицательного действия  $\text{CaCO}_3$  на кислых почвах является избыток кальция по сравнению с магнием. Общая картина (сейчас могу говорить лишь о таковой; для большей определенности и детальности необходимы дальнейшие всесторонние исследования вопроса) действия все повышающихся доз углекислого кальция на почву, полностью насыщенной водородом, представляется мне таким образом. Если такая почва будет вполне обеспечена питательными веществами (N, P, K), то в минимуме в ней будет реакция; все повышающиеся дозы  $\text{CaCO}_3$  будут сначала вызывать все повышающийся урожай всех растений; как мы раньше доказали, растения могут использовать из почвы тот магний, который находится там в необменном состоянии (или который, быть может, неполностью вытесняется и при полном удалении кальция— последние следы обменных катионов вытесняются с большим трудом, а следы по качественной реакции— это килограммы на гектар); кальций же углекислого кальция с жадностью поглощается почвой;

<sup>1</sup> Конечно вышеприведенный опыт с доломитом не является еще решающим доказательством роли отношения Ca : Mg, так как доломит несомненно труднее реагирует с кислой почвой, нежели углекислый кальций (да еще лабораторный), и возможно по этому предположение, что действие избыточных доз доломита слабее, нежели углекислого кальция, и что потому в нашем опыте доломит не дал отрицательного результата; возможно, что значительно большие дозы его дали бы также такой отрицательный результат. Мы вполне допускаем такое возражение и считаем совершенно необходимым дальнейшее углубленное изучение всего этого вопроса, и главная цель нашей статьи, как мы указывали выше, и состоит именно в подчеркивании этой необходимости; но вместе с тем и тот материал, какой у меня уже имеется, в значительной степени ослабляет это возражение; я например сознательно, имея в виду именно особенности взаимодействия доломита с почвой, ввел в опыт сосуды с малой дозой доломита, эквивалентной количеству углекислого кальция, еще недостаточному для получения максимального урожая (40 мг-экв. на 100 г почвы). Как видно по рисунку, по доломиту в этом случае заметно ниже урожай получился только у горчицы, у других же растений (и в том числе у такого чувствительного к кислотности, как лен) урожай такие же или почти такие же, как по углекислому кальцию. Затем у меня имеется небольшой опыт с внесением под горчицу, лен и клевер вместо 25 г  $\text{CaCO}_3$  (полная гибель растений) 20 г  $\text{CaCO}_3$  и 4,2 г магнезита — растения растут нормально.

по мере насыщения почвы кальцием и повышения рН создаются, с одной стороны, все лучшие условия в отношении реакции, и, с другой стороны, все возрастает отношение Са : Mg, доступных корням растений; при том или другом количестве внесенного СаСО<sub>3</sub> для каждого данного растения создается уже неблагоприятное соотношение между этими элементами, так что наконец начинается превалирование над благоприятным действием СаСО<sub>3</sub> как нейтрализатора; начинается понижение урожая; этот пункт должен быть различным для различных растений, поскольку различно их отношение к величине рН и величине соотношения кальция и магния; все восходящая сначала линия урожая достигает своего максимума; *получаем интервал благоприятного действия углекислого кальция* (на почве, полностью насыщенной водородом, — от 0 до некоторой величины урожая; на почве менее кислой — от некоторой величины до максимальной). Далее идет падение кривой, имеем *интервал неблагоприятного действия СаСО<sub>3</sub>*, вызываемый неблагоприятным повышением отношения Са к Mg; у одних растений интервал этот очень короток, например у горчицы и льна; в пределах нашей градации доз (довольно все-таки дробной градации в 2,5 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> при емкости обмена около 50 мг-экв.) у горчицы например при 50 мг-экв. получился максимальный урожай (сужу только по внешнему виду), при 52,5 — небольшое уже понижение, а при 55 — полная гибель (все данные на 10 г почвы). У клевера он уже шире; у гречихи — еще шире (максимум около 55 мг-экв., а почти полная гибель только при 100 мг-экв.); у овса же при очень крутой восходящей линии урожая получилась после максимального урожая очень слабо наклонная вниз линия; даже при 100 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> какого-либо страдания или ненормального урожая мы не имеем; интервал неблагоприятного высокого отношения Са к Mg у овса очень широкий; возможно конечно, что при дальнейшем повышении количества СаСО<sub>3</sub> мы и для этого растения получим дозу извести, губящую его. В этой области нисходящей линии урожая мы уже имеем в первом минимуме не реакцию почвы, а отношение Са : Mg<sup>1</sup>.

О каком собственно кальции и магнии для рассматриваемого отношения приходится говорить? Конечно не о тех, которые извлекаются 10-процентной солянокислой вытяжкой. Принятие этих количеств для установления благоприятного отношения Са : Mg в почве было той основной ошибкой Loew (правда, вполне естественной при том состоянии наших знаний), тем слабым методом, вследствие которого агрохимики отвергли эту теорию и перестали ею заниматься. Иное дело теперь, когда мы знаем, хотя и неполностью, об емкости обмена почвы и об активных кальции и магнии в почве, а именно об обменных кальции и магнии, об обменной и гидролитической кислотности. Теперь с точки зрения почвенного поглощающего комплекса не только можно дать объяснение многим фактам, противоречившим раньше значению отношения Са : Mg, но и выяснить многие, теперь еще темные вопросы известкования; нельзя не отметить, что, используя широко учение

<sup>1</sup> Весьма вероятно, что удовлетворение этого минимума (при полной обеспеченности в питательных веществах) вызовет появление другого (третьего уже) — минимума — неправильного соотношения между кальцием или магнием и каким-либо другим элементом.

об обменной и гидролитической кислотности почвы, мы уже в отношении дальнейшего углубления вопросов известкования уперлись в стену и вертимся все вокруг одного и того же пункта. Чтобы сдвинуться с этой мертвой точки, пужно что-то новое; таким новым я считаю изучение и принятие во внимание отношения между Са и Mg в почвенном поглощающем комплексе (это как первое приближение). Я в этом кратком предварительном сообщении не могу останавливаться на многих интересных и важных моментах известкования, выясняющихся при систематическом проведении теории L o e w, так сказать через почвенный поглощающий комплекс; главная цель этой статьи — обратить внимание работающих в области известкования на очень вероятную возможность дальнейшего продвижения многих вопросов известкования, если учитывать отношение обменных кальция и магния в почве, и заинтересовать их в этом направлении. Для меня совершенно ясно, что с учетом одной лишь гидролитической кислотности почвы дальше не сдвинуть с места например вопрос об оптимальных дозах извести; почему на одних почвах оптимальной дозой является например двойная гидролитическая кислотность, а на других — пятая и т. д. Для разрешения этого вопроса, да и многих других, необходим учет не только гидролитической кислотности, но и величины емкости обмена, а также абсолютных количеств обменных кальция и магния и их отношений между собой. В большинстве же опубликованных исследований, если еще емкость обмена кое-где принимается во внимание, то о поглощенном Mg как правило совершенно не упоминается. Интересно отметить тот факт, что многое из того, что мне (знаю также, что и другим) мешало серьезно отнестись к значению отношения Са : Mg как раз в свете поглощающего комплекса подтверждает это значение. Остановлюсь несколько на этом вопросе.

В тучном черноземе мы имеем некоторое отношение между обменными, а значит и доступными Са и Mg; вполне ли оно благоприятно или нет, сказать без исследования нельзя; одно несомненно, что оно без заметного ущерба для урожая, например горчицы и овса (мы работали с этими растениями), может быть еще повышена, так как даже очень большие дозы СаСО<sub>3</sub> сколько-нибудь заметно не понижают урожая; на черноземе потому СаСО<sub>3</sub> не действует вредно, что в поглощающем комплексе его достаточно обменного магния; в процессе оподзоливания с уносом из почвы поглощенных кальция и магния, *при том первого относительно больше, чем второго*, с входением вместе с тем в почву обменного водорода и понижением общей емкости обмена постепенно уменьшается отношение между доступными растениям кальцием и магнием; почва становится отзывчивой на известкование и как на нейтрализатор кислотности и как на регулятор отношения Са и Mg; но по мере того как почвенный поглощающий комплекс насыщается кальцием углекислого кальция в соответствии с величиной емкости обмена и абсолютным содержанием обменного магния в почве величина отношения Са : Mg в почве из недостаточной для нормального роста растения переходит обратно в слишком высокую, и растение начинает страдать от избытка извести. Тут возникает интересный вопрос, заключающийся в следующем. Опыты с насыщенным основаниями черноземом и в песчаных культурах (такие опыты в расширенном виде и с тем же черноземом, из которого готовилась почва

насыщенная, я повторил в этом году) определенно показывают, что углекислый кальций в условиях растворимости его в естественном черноземе (а в песчаных культурах даже при пропускании в сосуды тока углекислоты) даже, как мы указывали выше, при очень больших дозах не вредит растениям; значит его растворимость такова, что находящийся в растворе двууглекислый кальций не вредит растениям ни сам по себе, ни влиянием на величину отношения Са:Mg (понятно, что с увеличением дозы труднорастворимого вещества в почве количество его в почвенном растворе не может возрастать сколько-нибудь заметно). Почему же в том же черноземе, но превращенном в ненасыщенный основаниями, все увеличивающиеся дозы СаСО<sub>3</sub> уже после вытеснения обменного водорода (целиком или в большей или меньшей его части) начинают вредить растению и притом все сильнее и сильнее по мере дальнейшего увеличения дозы. Казалось бы, что если губительное действие углекислого кальция обуславливается созданием в почве слишком высокого отношения кальция к магнию, то таковое отношение должно создаваться в почве уже при той дозе СаСО<sub>3</sub>, когда из почвы вытеснен уже весь обменный водород и остался небольшой остаток углекислого кальция, так как уже тогда почвенный раствор должен бы содержать максимальное количество растворенного кальция, дальнейшее же увеличение количества твердой труднорастворимой фазы (СаСО<sub>3</sub>) не должно повышать растворимость; иначе говоря, казалось бы, что для всех растений интервал неблагоприятного действия СаСО<sub>3</sub> должен быть очень короткий, каков он например у горчицы и льна (50 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> на 100 г почвы — оптимальное развитие, 52,5 мг-экв. — слабое понижение, а 55,0 мг-экв. — полная гибель растения); а между тем у гречихи например, а особенно у овса, интервал этот очень широк (у гречихи оптимум — около 50—52,5—55,0 мг-экв., а почти полная гибель только при 100 мг-экв.). Связывать это так или иначе с большой растворимостью СаСО<sub>3</sub> вследствие больших количеств СО<sub>2</sub>, выделяющейся при взаимодействии СаСО<sub>3</sub> с почвой, насыщенной водородом, нет никаких оснований, так как продолжительное промывание избыточно известкованной почвы и посев растений после продолжительного стояния в пару известкованных сосудов не изменяет, как уже указывалось, в общем явления, так что тут несомненно дело не в этой углекислоте. Может быть тут играет роль растворяющая и выкачивающая деятельность корней растений, различная у различных растений и воздействующая в присутствии в почве СаСО<sub>3</sub> почти исключительно на него, а в условиях сосуда (без взбалтывания) тем сильнее, чем больше в почве будет СаСО<sub>3</sub>; возможно здесь и участие самой почвы ее способностью к гидролитическому расщеплению СаСО<sub>3</sub> с поглощением СаО; по-моему такое поглощение (т. е. гидролитическая кислотность сверх обменной) имеет физический характер; утверждать это я еще не могу, но имеющиеся у меня данные скорее говорят именно в пользу такого объяснения; если это так, то нужно признать, что связь поглощенного таким

<sup>1</sup> Я провел в текущем году небольшие, кратковременные водные культуры с викией и горчицей на обычной питательной среде, но слабой концентрации (при перемене через каждые три дня питательной смеси) с прибавлением в банки больших количеств СаСО<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, доломита,  $\frac{1}{2}$  СаСО<sub>3</sub> —  $\frac{1}{2}$  MgCO<sub>3</sub>. Растения росли во всех случаях кроме сосудов с одним MgCO<sub>3</sub>.

способом кальция с почвой очень непрочная; такой кальций должен быть значительно доступнее растениям, чем обменный; а вместе с тем в условиях опять-таки сосуда, где и жидкости мало и нет никакого механического перемешивания, гидролитическое расщепление будет тем полнее, чем больше в сосуде избытка твердого углекислого кальция. То же конечно, но только в меньшей степени, должно проявиться и тогда, если в результате гидролитического расщепления поглощаемый кальций переходит в обменный, так как несомненно, что чем ближе кальций к состоянию, насыщающему обменную способность почвы, тем он рыхлее связан с почвой и тем легче он доступен растениям; а такое окончательное насыщение почвы кальцием должно происходить очень медленно и в условиях сосуда тем полнее и скорее, чем больше в почве будет углекислого кальция.

С точки зрения роли отношения Са : Mg во вредном действии избыточного известкования становится совершенно понятной та разноречивость, которая имеется в результатах опытов на различных почвах в отношении зависимости оптимальной дозы извести для одного и того же растения от обменной гидролитической кислотности. Совершенно ясно, что две почвы, обладающие одинаковой кислотностью, могут и будут вообще иметь различные абсолютные и относительные количества обменного кальция и обменного магния, а потому будут требовать для оптимального урожая различных количеств извести.

В заключение укажу на одно явление, которое мне приходилось наблюдать и раньше, а в текущем году особенно резко, вследствие сильного запоздания с постановкой некоторых опытов: вредное действие избытка углекислого кальция на сильно чувствительные к нему растения находится повидимому в зависимости не только от почвы, но и от метеорологических условий; чем жарче погода, тем быстрее рост и сильнее транспирация, тем вреднее одна и та же доза извести и особенно тем быстрее начинается страдание всходов и окончательная гибель растения. В нашей основной схеме опытов текущего года на почве, насыщенной водородом, с посевом горчицы 8 июля при долго державшейся затем очень жаркой погоде доза извести в 100 мг-экв. на 100 г почвы очень быстро губила уже всходы горчицы; между тем на той же дозе и на той же почве горчица, посеянная 14 августа уже в значительно более прохладную погоду, растет без видимого страдания еще и в настоящее время. Мы предполагаем в дальнейшем обратить особое внимание на это явление и попытаться выяснить его специальным исследованием, потому что, если оно подтвердится, то мы будем иметь сильное подкрепление тому, что губительное действие больших доз извести вызывается физиологической ролью кальция в самом растении.

Метеорологические условия, поскольку они влияют на величину и ход испарения воды растением, вообще должны играть большую роль в количестве так называемых доступных растению питательных веществ в почве и в ходе их поступления в растения. Это очень существенно учитывать при оценке методов определения плодородия почвы.

Долгопрудное, сентябрь, 1931 г.

### 3. ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙ МАРГАНЦА, АЛЮМИНИЯ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ МЕТАЛЛОВ, ВВЕДЕННЫХ В ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС В РАЗЛИЧНЫХ КОЛИЧЕСТВАХ<sup>1</sup>

Изучение действия марганца и алюминия на рост растений представляет несомненный интерес, так как, во-первых, оба эти элемента в почвах имеются и могут быть в них в такой подвижной форме, при которой непосредственное их воздействие на растение всегда возможно; совершенно ясно, что мы должны знать, как эти элементы, являясь необходимыми питательными веществами для растений<sup>2</sup>, влияют на высоту урожая.

Из многочисленных исследований, произведенных до сих пор, мы знаем, что оба эти элемента, внесенные в почву в виде солей выше некоторой дозы (вообще небольшой), являются уже вредными для растения; а с другой стороны, по крайней мере в отношении марганца, относительно которого существует уже колоссальная литература, известно, что в некоторых случаях на некоторые растения при некоторых дозах несомненно его стимулирующее действие на рост растений.

В связи с поставленной себе общей целью агрохимического изучения почвенного поглощающего комплекса и в частности агрохимического изучения обменных катионов этого комплекса, мы между прочим наметили в программе своих исследований изучить действие на растение ряда металлов, введенных искусственно в почвенный поглощающий комплекс. Изучение стимулирующего или токсического действия на растение тех или других катионов должно идти двумя путями; необходимо, с одной стороны, изучить это действие в зависимости от концентрации этих катионов в питательной среде, что возможно только в том случае, когда среда в отношении взятого катиона индифферентна (не переводит его в связанное состояние), т. е. в водных и песчаных культурах; с другой стороны, необходимо изучать действие этих катионов, когда они находятся в почве в обменном состоянии и в почве нет непрореагировавшей с поглощающим комплексом растворимой соли взятого катиона; только в этом случае мы будем иметь определенные условия. Когда изучение действия какой-либо соли, например марганца, производится таким образом, что ко взятой почве прибавляют те или другие количества этой соли, то условия опыта, во-первых, получаются совершенно неопределенные: та или другая часть, но всегда неопределимая, введенного в почву катиона поглощается почвой, остальная часть его остается в растворе, совершенно ясно, что соотношение между этими двумя частями зависит от свойств взятой почвы, зависит от количества прибавленной соли, зависит далее от концентрации ее в почвенном растворе, а значит от влажности почвы; далее, при таком способе исследования мы имеем в почвенном растворе кроме изучаемого катиона тот анион, с каким был взят катион в прибавлявшейся соли, а также те катионы, которые

<sup>1</sup> Вегетационные опыты, давшие материалы для настоящей статьи, проведены мною на Долгопрудном опытном поле при ближайшем участии В. Г. Тараповской, С. Г. Шедерова и А. Н. Вольской. «Минеральные удобрения» Труды ННУ, вып. 10<sup>3</sup>, 1932 г.

<sup>2</sup> Не исключена возможность того, что так называемые «стимулянты» в очень малых количествах также необходимы растению, как и так называемые «питательные элементы».

были вытеснены из почвы изучаемым катионом, и в результате опыт с почвой может только показать общий эффект на растение всей совокупности этих сложных условий. Для проведения опыта в возможно чистом виде очевидно надо расчленить изучение таким образом, как я указал выше; это два совершенно отдельных вопроса.

Особое значение изучение действия на растения различных катионов, введенных в почвенный поглощающий комплекс, имеет в областях достаточного увлажнения (естественного и искусственного), в которых непрореагировавшая соль, а также продукты замещения, рано или поздно будут вымыты из почвы, и в почве таким образом исследуемый катион останется лишь в поглощенном состоянии, а содержание его в почвенном растворе будет тогда производным от содержания его в поглощающем комплексе.

В своей предшествующей статье я показал действие на овес ряда катионов, когда каждый из них полностью насыщал всю емкость обмена исследовавшегося чернозема. Некоторые из этих катионов при полном ими насыщении почвы и при полной обеспеченности азотом, фосфором и калием как в присутствии, так и без  $\text{CaCO}_3$  создавали среду, совершенно не пригодную для овса; овес или не всходил вовсе или показавшиеся всходы гибли. При других катионах внесение углекислого кальция несколько исправляло среду, но урожай и в этом случае были низкие. Это мое исследование по намеченной мною программе являлось лишь первым этапом. Следующим этапом я наметил изучение действия различных катионов, когда они насыщают поглощающий комплекс не полностью, а лишь частично, причем я остановился в первую очередь на марганце и алюминии, во-первых, ввиду соображений, приведенных в начале этой статьи, а затем в очень большой степени считаясь с теми возможностями, какие у меня имелись на Долгопрудном опытном поле. Должен отметить, что выполнить все, что следовало бы и что намечалось мною даже в отношении двух указанных катионов, я не имел возможности вследствие неполучения необходимых количеств солей марганца и алюминия, которых для приготовления нужных количеств почвы под вегетационные опыты требуется много и своевременно, ибо приготовление почв — операция очень длительная и при массовых опытах требует около годичной непрерывной работы.

В действии различных стимулирующих катионов, находящихся в почвенном поглощающем комплексе, должно иметь значение не только количество данного катиона, введенное в комплексе, но и величина емкости обмена почвы, состав остальных обменных катионов и соотношение между веществами, получающимися в почвенном растворе; только в таком разрезе можно толковать приводимые мною ниже результаты. С этой точки зрения на них надо смотреть лишь как на первые шаги к выяснению роли тех или других обменных катионов.

Опыты 1930 г. Эти опыты носили ориентировочный характер. Почва (пахотный гор. тучного чернозема Каменной степи) обрабатывалась 0,001, 0,005 и 0,01N растворами (при отношении веса почвы к объему раствора как 1:1) хлоридов следующих катионов: Rb, Cd, Ba, Mn, Co и Ni и кроме того 0,01N раствором смеси хлоридов Rb, Cd, Mn и Co (концентрация каждой соли в смеси была 0,0025N). Взят

тый раствор соли тщательно смешивался с навеской почвы; после полного отстаивания прозрачная жидкость сливалась прочь, и почва промывалась сначала декапацией, а затем на воронках до полного удаления хлор-иона. После такой обработки в почве оставался исследуемый катион только в обменном состоянии.

Какие количества этих катионов остались в почве в поглощенном состоянии, мы не определяли и вот почему: при наивысшей взятой нами концентрации солей (0,01N) в 100 см<sup>3</sup> раствора содержалось всего 1 мг-экв. исследуемого катиона; так как все внесенное количество катиона не могло поглотиться почвой, то ясно, что после промывания почв водой могло остаться в поглощенном состоянии на 100 г почвы меньше 1 мг-экв.; такие величины даже с очень приблизительной точностью определить нельзя. Нельзя было бы их определить и по количеству Ca и Mg, вытесненных из почвы этими катионами, так как уже чистая вода извлекает из взятого нами чернозема около 0,5 мг-экв. кальция, т. е. этим способом мы получили бы ошибку по крайней мере в 100%. Мы можем сказать про полученные нами почвы, что при концентрации 0,01N взятых солей они содержали исследованных катионов в поглощенном состоянии меньше 1 мг-экв. на 100 г почвы; при концентрации 0,005N — меньше 0,5 мг-экв., а при концентрации 0,001N — меньше 0,1 мг-экв. Опыт велся в маленьких цинковых сосудах на 600 г почвы при полном удобрении (0,1 г N, 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,05 г K<sub>2</sub>O). В 1930 г. опыт ставился с овсом; в 1931 г. сосуды были перебиты, и снова засеян овес, после которого была высеяна горчица (последний столбец таблицы); так как овес в этом году был высеян поздно, то горчицу пришлось убрать в начале цветения; урожай получились ничтожные, и параллельные сосуды плохо сошлись. В табл. 1 мы приводим данные урожая, причем для горчицы приводим лишь те опыты, результаты которых не возбуждают каких-либо сомнений. Отметим, что все приводимые результаты вполне согласны с теми наблюдениями, какие велись за этими опытами во время всей вегетации.

Как видно из этих данных, введение взятых металлов в поглощенный комплекс чернозема в очень ничтожных количествах почти без исключения отразилось на величине урожая и по большей части положительно; в большинстве случаев три взятые концентрации давали неодинаковый эффект, и в большинстве случаев эффект (как положительный, так и отрицательный) был на второй год выше, чем в первом году.

*Рубидий* в оба года при концентрации 0,001N бравшейся его соли для обработки почвы дал заметное повышение урожая и соломы и особенно зерна; с повышением же концентрации урожай зерна (особенно в первый год) сильно падал, урожай же соломы, наоборот, все повышался.

*Кадмий* в оба года дал повышение урожая, соломы — слабое, зерна — сильное (особенно на второй год) при наименьшей из исследованных концентраций; с повышением же концентрации действовал отрицательно на второй год; так при концентрации 0,01N раствора CdCl<sub>2</sub>, которым обрабатывалась почва, т. е. в присутствии в поглощающем комплексе во всяком случае меньше 1 мг-экв. Cd зерна не получались вовсе, а урожай соломы унал до 27% от урожая на почве

Средний урожай овса (в г на сосуд) на черепашке, в поглощающий комплекс которого были введены различные металлы в очень небольших количествах

Таблица 3

Контроль	О п к т 1930 г.						О п к т 1931 г.						
	4,7	6,1	10,9	100	100	100	3,5	6,2	9,7	100	100	100	1,9
Rb . . . . .	5,8	7,1	12,9	123,40	114,52	118,34	5,4	7,3	12,7	154,28	117,74	130,93	—
{ 0,001N . . . . . 0,005N . . . . . 0,010N . . . . .	3,9	7,3	11,2	85,40	117,74	102,75	6,1	8,4	14,5	174,28	135,48	149,48	—
	1,6	4,3	11,9	34,04	166,12	118,34	3,4	10,2	13,6	97,14	164,51	140,20	—
	5,4	6,5	11,9	114,80	104,84	118,34	5,6	7,4	13,0	160,0	119,35	134,02	1,2
{ 0,005N . . . . . 0,010N . . . . .	4,2	6,5	10,7	89,36	104,84	98,16	0,1	4,4	4,5	2,85	70,97	66,39	0,3
	2,1	5,1	7,2	44,68	82,25	65,05	0	2,6	2,6	—	41,93	26,80	0,2
	6,5	7,0	13,5	138,29	112,90	125,85	5,5	7,9	13,4	157,14	127,41	138,14	—
{ 0,005N . . . . . 0,010N . . . . .	6,2	6,4	12,6	131,91	103,22	115,59	5,3	6,7	12,0	151,42	108,06	123,71	—
	6,1	6,1	12,2	129,78	98,39	111,93	4,8	7,5	12,3	137,14	120,96	126,80	—
	6,3	7,1	13,4	134,04	114,52	122,93	5,2	7,4	12,6	148,47	119,35	129,89	—
{ 0,005N . . . . . 0,010N . . . . .	6,7	6,6	13,3	142,55	106,45	122,02	6,3	7,4	13,7	180,0	119,35	141,20	—
	6,1	6,5	12,6	129,79	104,84	115,59	5,9	7,1	13,0	168,57	114,51	134,02	—
	5,5	7,3	12,8	117,02	117,74	117,43	4,0	6,1	10,1	114,28	98,38	104,12	1,9
{ 0,005N . . . . . 0,010N . . . . .	6,4	7,1	13,5	136,17	114,51	123,85	2,6	7,1	9,7	74,28	114,51	100	1,6
	4,4	6,5	10,9	93,62	104,84	100,0	3,3	8,2	11,6	94,28	132,25	119,58	0,5
	4,7	5,9	10,6	100,0	95,1	97,25	5,8	7,7	13,4	165,71	124,19	138,15	1,3
{ 0,005N . . . . . 0,010N . . . . .	5,7	6,6	12,3	121,28	105,45	112,84	5,7	7,0	12,7	162,85	112,90	130,93	1,9
	5,5	7,1	12,6	117,02	114,52	115,59	5,4	7,1	12,5	154,28	114,51	128,86	1,4
	6,0	7,1	13,1	127,66	114,52	120,18	6,6	7,4	13,9	188,57	119,35	143,29	—
Смесь Rb., Cd, Mn и Co . . . . .	6,0	7,1	13,1	127,66	114,52	120,18	6,6	7,4	13,9	188,57	119,35	143,29	—

без Cd. Овес и горчица в этом опыте на концентрациях 0,005 и 0,01 пачинали страдать уже вскоре после всхода.

Барий в оба года при всех трех испытанных концентрациях дал заметное повышение зерна, на солому же наиболее благоприятно подействовало наименьшее его количество.

Марганец при всех концентрациях в оба года дал сильное повышение урожая зерна (до 80%) и сравнительно слабое повышение урожая соломы.

Кобальт в первом году дал положительный эффект при первых двух концентрациях, а при высшей не оказывал действия (но растения во время вегетации заметно страдали, во второй же год и под овсом и под горчицей концентрации 0,005N и 0,01N дали резкое падение урожая зерна, повышая однако урожай соломы.

Никель в первом году при низшей концентрации не действовал вовсе, а при следующих двух давал небольшой положительный эффект, тогда как на следующий год сильно повышал урожай, особенно зерна, при всех испытанных концентрациях.

Смесь катионов Rb, Cd, Mn и Co действовала положительно, особенно на урожай зерна и на второй год. В общем действие ее было очень сходно с действием Mn.

Прежде чем перейти к опытам 1931 г. с марганцем и алюминием, остановлюсь несколько на результатах небольшого опыта, проведенного нами в прошлом году с тем же черноземом, обработанным растворами хлористого кадмия и хлористого никеля, имевшего целью один методологический вопрос, о котором я сообщу отдельно; опыт этот дает некоторый материал и по трактуемому здесь вопросу. В почву было введено раньше описанным способом 3,4; 7,2, и 13,5 мг-экв. Cd, 2,7; 6,1 и 13,5 мг-экв. Ni<sup>1</sup>; выращивался овес, а за ним горчица. Результат показал, что уже 3,4 мг-экв. обменного кадмия в 100 г почвы почти совершенно прекращают развитие обеих растений; что касается никеля, то при 2,7 мг-экв. оба растения росли, но сильно страдали, при 6,1 же мг-экв. совершенно погибали.

Перехожу теперь к изложению более детальных опытов с поглощенными Mn и Al, произведенных мною в 1931 г.

Для настоящей темы мне удалось в течение 1930—1931 гг. к началу вегетационной кампании изготовить из тучного чернозема (гор. 0—20 см каменностного чернозема) по 10 кг следующих почв<sup>2</sup>.

Опыты на почвах с обменным марганцем. Опыт на всех семи приготовленных почвах был поставлен с овсом, гречихой, горчицей, льном и клевером в маленьких одноклассовых сосудах на 500 г почвы, в почву сосуда вносилось по 0,1 г N в виде

<sup>1</sup> Количество обменных Cd и Ni определялись по количеству вытесненных ими Ca и Mg при обработке почвы хлоридами этих катионов. Анализ принадлежит А. Н. Вольской.

<sup>2</sup> Обработка первоначального чернозема хлористым марганцем и алюминием велась, как описано раньше; почвы, полностью насыщенные Mn и Al, получались многократной обработкой первоначального чернозема 1,0N растворами до прекращения реакции в промывных водах на Ca. Количество поглощенных почвой Mn и Al определялось по количеству вытесненных Ca и Mg; первые три данных для Mn и Al несомненно значительно выше действительных, а начиная с 4 данные близки к действительным. Определение Ca и Mg, вытесненных Mn, произведено А. Н. Вольской, а алюминия — С. Г. Шедергим.

Таблица 4

№ опыта	Почвы, содержащие обменный Mn в мг-экв. на 100 г почвы	№ опыта	Почвы, содержащие обменный Al в мг-экв. на 100 г почвы
I	0,51 (обработка 0,001N MnCl <sub>2</sub> )	I	0,53
II	0,91 ( » 0,005N » )	II	0,75
III	1,45 ( » 0,010N » )	III	1,12
IV	4,38 ( » 0,050N » )	IV	5,27
V	7,36 ( » 0,100N » )	V	9,18
VI	18,59 ( » 0,500N » )	VI	23,66
VII	Полностью насыщенная Mn	VII	Полностью насыщенная Al

Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KН<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> и 0,05 г MgO в MgSO<sub>4</sub>. Для возможного уравнения условий в почвах, обработанных растворами MnCl<sub>2</sub>, и в первоначальном черноземе почва для контрольных сосудов несколько раз промывалась водой и затем высушивалась на воздухе так же, как и почвы, промытые растворами хлористого марганца. Клевер был убран до цветения, а остальные растения — в зрелом состоянии.

Таблица 5

Действие поглощенного марганца на урожай  
(средний урожай в г на сосуд и в %)

Почва \ Растение	Контроль		I		II		III		IV		V		VI		VII	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Клевер	5,8	100	8,3	148	6,0	107	7,0	125	7,0	125	6,3	122,5	0	0	0	0
Овес																
Зерно . . .	4,3	100	5,2	121	6,2	144	5,9	137	6,3	147	5,2	121	4,2	98	0	0
Солома . .	7,4	100	10,9	147	10,5	142	9,5	128	9,8	132	9,3	132	10,6	143	0,2	0,2
Гречиха																
Зерно . . .	5,0	100	5,2	104	5,8	116	5,5	110	5,2	106	4,8	96	0	0	0	0
Солома . .	6,0	100	8,6	125	8,8	127	8,6	125	8,6	125	7,8	113	0,5	7	0,1	0,1
Горчица																
Зерно . . .	0,3	100	2,0	667	1,9	633	1,6	533	1,9	633	1,8	600	0	0	0	0
Солома . .	3,2	100	5,6	175	6,1	191	5,3	166	5,6	175	3,2	100	0	0	0	0
Лен																
Зерно . . .	1,5	100	2,6	173	1,9	127	2,2	147	2,5	167	1,6	107	0	0	0	0
Солома . .	9,8	100	11,6	118	11,0	112	11,1	113	10,0	102	6,9	70	0	0	0	0

Из табл. 5 мы видим, что обработка почвы растворами хлористого марганца с дальнейшим удалением всего хлора и непоглощенной почвой части марганца, совершенно определенно оказывало влияние на урожай и зерна и соломы всех исследованных растений: Уже обработка почвы раствором MnCl<sub>2</sub> самой низкой из исследованных концентраций (0,001N), т. е. когда в поглощающий комплекс могло

вступать меньше 0,1 мг-экв. Mn, вызвала заметное повышение урожая и зерна и соломы у всех растений, а у некоторых даже очень сильное (например урожай зерна у льна и особенно у горчицы)<sup>1</sup>.

С дальнейшим повышением количества обменного Mn в почве до 4 мг-экв. (почва IV) включительно урожай у овса почти не изменялись, в некоторых случаях несколько понижаясь, в других несколько повышаясь; на почве V при 7 мг-экв. обменного Mn урожай всех растений кроме овса стали уже заметно ниже максимального и в некоторых случаях и контрольного. При 18 мг-экв. обменного марганца все растения кроме овса погибли; овес же дал и при этом содержании Mn заметное повышение урожая соломы при том же количестве зерна, как и в контрольных сосудах. Наконец на почве, полностью насыщенной Mn, погиб и овес.

Напомним, что в ранее опубликованных наших опытах с овсом на почве, насыщенной марганцем, по полному удобрению без углекислого кальция растения гибли полностью; на почве же с углекислым кальцием овес давал урожай, хотя и значительно пониженный. В настоящем опыте кальций как питательный элемент вносился в сосуды в избытке в виде  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , но овес все-таки погибал. Совершенно ясно, что углекислый кальций помимо источника кальциевого питания играл еще какую-то другую роль; предполагать, что дело тут в pH среды нельзя, так как у нас в сосудах с почвой, насыщенной марганцем без  $\text{CaCO}_3$ , pH было 5,6, а в наших опытах с известкованием того же чернозема, полностью насыщенного водородом, при этой концентрации водородного иона овес развивался великолепно.

Отметим, что в наших почвах, обработанных растворами  $\text{MnCl}_2$ , наряду с обменным марганцем в поглощающий комплекс вошел и обменный водород, как это видно из величины pH этих почв, так как хлористый марганец — гидролитически кислая соль; но конечно количество обменного водорода, вступившего в комплекс, должно быть ничтожно по сравнению с количеством Mn.

Опыты на почвах с обменным алюминием. Они были поставлены так же, как вышеописанные опыты с марганцем на шести неполностью и в разной степени насыщенных и одной полностью насыщенной алюминием почвах, приготовленных из тучного чернозема (см. стр. 75), но под одним только растением — овсом. Целью опыта было кроме констатирования самого действия на овес тех или других количеств поглощенного Al изучение влияния на это действие кальция как питательного вещества, углекислого кальция и усиленной дозы фосфорной кислоты и вот по каким соображениям. Наши прошлые опыты с почвой, полностью насыщенной Al, показали то же, что и с почвой, насыщенной Mn, — овес погиб в сосудах без  $\text{CaCO}_3$  и рос, хотя и плохо, в сосудах с 10 г  $\text{CaCO}_3$  на сосуд; представ-

<sup>1</sup> Относительно горчицы надо заметить, что на исследованном черноземе она развивалась вообще очень плохо, несмотря на сильное удобрение; было что-то в этом черноземе, сильно ограничивающее рост этого растения; влияние этого ограничивающего фактора не понижалось промыванием почвы водой; так в одном нашем опыте этот чернозем по НРК дал 0,25 г зерна и 3,8 г соломы горчицы, а промывтый водой с последующим полным удобрением — соответственно 0,29 и 3,2 г. Почва почти нейтральная, pH по полному удобрению 6,8; большие дозы углекислого кальция заметно улучшали рост горчицы (например по 30 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на 100 г мы получили 1,1 и 5,4 г зерна и соломы).

лялось интересным исследовать, действовал ли углекислый кальций только как источник питания кальцием или и сам по себе и не будут ли большие дозы его сильнее понижать вредное действие обменного алюминия; затем, так как по нашим исследованиям определенно получилось, что почва, насыщенная Al, значительно сильнее поглощает  $P_2O_5$  из растворов фосфорнокислого натрия, то было интересно установить, насколько вредное действие поглощенного алюминия обусловливается этим фактором. Поэтому на всех исследовавшихся семи почвах были поставлены сосуды с  $PKNaNO_3$  и  $PKCa(NO_3)$ , далее, с разными количествами  $CaCO_3$ : в количестве, эквивалентном поглощенному алюминию в данной почве, с половинным и двойным количествами его (на почве, полностью насыщенной Al, применялась только первая доза из-за недостатка почвы) и с увеличенным количеством фосфорной кислоты (кроме 0,1 г  $P_2O_5$ , вносившихся во все сосуды, давалось добавочное количество: на почвах I—V — эквивалентные содержащемуся в данной почве поглощенному алюминию, а на почвах VI и VII — то же количество, какое вносилось на V почве). Результаты опыта показали, что на почвах I—V все комбинации в пределах каждой почвы дали одинаковые урожаи (в пределах ошибки опыта); на VI почве одинаковые результаты получились во всех сосудах кроме тех, где вносилась повышенная доза  $P_2O_5$ , поэтому в нижеследующей таблице мы даем средние данные урожаев из всех сосудов, бывших под почвами I—V (по 14 для каждой) и из 10 сосудов для почвы VI; о данных же остальных двух пар сосудов почвы VI и всех комбинаций почвы VII скажем после отдельно.

Таблица 6

Действие поглощенного алюминия на урожай овса  
(средний урожай в г на сосуд и в %)

Почва \ Урожай	Контроль		I		II		III		IV		V		VI	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Зерна . . . . .	4,1	100	5,9	144	5,9	144	5,9	144	5,7	139	5,2	127	4,4	107
Соломы . . . . .	7,2	100	9,3	129	9,4	130	8,5	132	8,6	119	8,0	111	6,1	83

Приведенные результаты показывают, что введение в поглощающий комплекс чернозема очень ничтожного количества обменного алюминия — меньше 0,1 мг-экв.<sup>1</sup> на 100 г почвы — вызывает совершенно определенный положительный эффект на урожай соломы и особенно на урожай зерна.

Дальнейшее повышение этого содержания сначала не изменяет эффекта (до 1 мг-экв.), а начиная с 5 мг-экв. эффект понижается и при 23 мг-экв. сходит на-нет, а на урожае соломы становится отрицательным.

Интересно ближе подойти к вопросу, что является в этих опытах стимулянт — поглощенный ли алюминий или вошедший вместе

<sup>1</sup> 0,05 мг-экв. Al на 100 г почвы по перечислению на слой в 20 см на 1 га равняется 11,25 кг Al.

с ним в поглощающий комплекс водородный ион. С этой целью, как выше уже указывалось, на всех почвах с разным содержанием обменного Al были поставлены сосуды с углекислым кальцием; на почвах I—VI CaCO<sub>3</sub> вносился в трех дозах: 1) в эквивалентном количестве содержащегося в них обменного Al, 2) в половинном количестве и 3) в двойном количестве; после уборки растений в почвах сосудов определялось рН. Ни одна из доз извести на этих шести почвах действия не оказала, а величина рН оказалась следующей<sup>1</sup>:

Таблица 7

Почва	Нормальность	I	II	III	IV	V	VI	VI	VI	VI
						без CaCO <sub>3</sub>		+ 2,96 г CaCO <sub>3</sub>	+ 5,91 г CaCO <sub>3</sub>	+ 11,83 г
рН . . . . .	6,5	6,8	6,8	6,8	6,4	6,1	5,0	5,7	6,5	8,0

Мы видим, что введение Al в исследованный чернозем в первых трех количествах даже повысило немного величину рН; повидимому здесь проявилось свое действие само промывание почвы, так как и первоначальный чернозем после промывания его дистиллированной водой дал в сосудах после уборки овса рН 7,5; вода удаляла из чернозема какие-то кислые воднорастворимые продукты. Только, начиная с почвы IV, вступление Al в комплекс проявилось повышением концентрации водородного иона, т. е. начиная с этой почвы, можно предполагать уже вступление водородного иона в поглощающий комплекс; говорю — предполагать, так как конечно и одно присутствие в этом комплексе поглощенного Al должно было дать понижение рН. Во всяком случае величина рН указывает, с одной стороны, на возможность того, что в наших почвах наряду с обменным Al был и обменный водород, а с другой стороны, на то, что в почвенном растворе, по крайней мере начиная с почвы IV, несомненно водородный ион имелся. Но так как ни на одной из почв до VI включительно ни одна из применявшихся доз извести не изменила полученного увеличения урожая в отсутствии извести, то приходится заключить, что полученный нами эффект обязан содержанию в поглощающем комплексе именно алюминия.

На почве, полностью насыщенной Al, мы получили такой же результат, как и в ранее опубликованных опытах, т. е. овес на такой почве совершенно погибал; прибавление к почве кроме азота фосфора и калия еще кальция [в Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] и магния в (MgSO<sub>4</sub>) как питательных веществ несколько не улучшало положения дела.

Эта почва имела рН 4,2; поэтому вредное действие введения в поглощающий комплекс Al до полного вытеснения первоначальных обменных катионов чернозема могло обуславливаться и сильно кислой реакцией почвенного раствора и самим алюминием. К сожалению невозможность приготовить достаточное количество такой почвы вследствие отсутствия солей алюминия не позволило нам поставить необходимое количество сосудов для прямого выяснения этого вопроса;

<sup>1</sup> Все определения рН, приводимые в этой статье, принадлежат А. Н. Вольской.

были поставлены лишь сосуды с 14 г  $\text{CaCO}_3$  (эквивалентное количество по содержанию обменного алюминия); в среднем из 4 таких сосудов мы получили 4,1 г зерна и 6,6 г соломы, на первоначальной же почве (без алюминия) мы получили 4,1 г зерна и 7,2 г соломы, т. е. внесение 14 г  $\text{CaCO}_3$  на 460 г сухой почвы совершенно уничтожило вредное действие; в этих условиях введенный в поглощающий комплекс алюминия не дал на овсе ни положительного ни отрицательного эффекта. Остановимся на этом очень существенном, по моему мнению, результате.

В опубликованном ранее опыте 1929 г. с овсом на черноземе, насыщенном полностью алюминием<sup>1</sup>, в отсутствие  $\text{CaCO}_3$  мы не получили вовсе урожая (всего 0,24 г), а в присутствии 10 г  $\text{CaCO}_3$  — всего 0,8 г зерна и 1,6 г соломы, при урожае контрольных сосудов — 1,4 г зерна и 4,5 г соломы; опыт был повторен в 1930 г. в тех же сосудах с прибавлением в сосуды по  $\text{CaCO}_3$  половинной порции N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$ ; в контрольных сосудах было получено 2,9 г зерна и 3,1 г соломы; по алюминию же без  $\text{CaCO}_3$  — 0,8 г зерна и 1,3 г соломы, а по алюминию с 10 г  $\text{CaCO}_3$  — 2,4 г зерна и 5,8 г соломы; таким образом и в этом опыте резко вредное действие алюминия, полностью насыщающего почву, было уничтожено взятым количеством  $\text{CaCO}_3$ , но только на следующий год; pH в этих сосудах было без  $\text{CaCO}_3$  — 3,7, а по 10 г  $\text{CaCO}_3$  — 5,2. Отметим, что в наших опытах с почвой, насыщенной целиком водородным ионом, овес по различным дозам  $\text{CaCO}_3$  начинал расти, хотя и очень плохо, уже при 2,5 г  $\text{CaCO}_3$  (pH 3,5), а при 5 г  $\text{CaCO}_3$  (pH 4,1) овес развивался великолепно и дал урожай больший, чем в контрольных сосудах (первоначальный чернозем); все это говорит за то, что благоприятное действие  $\text{CaCO}_3$  на почве, целиком насыщенной алюминием, вызывалось не только тем, что это соединение являлось источником питания кальцием и не только тем, что оно понижало концентрацию водородного иона в почвенном растворе; повидимому углекислый кальций сам по себе как-то обезвреживает обменный алюминий; это обезвреживание наступает при больших количествах  $\text{CaCO}_3$  раньше, при меньших — позже; можно представить себе например, что алюминий, вытесняемый из поглощающего комплекса кальцием углекислого кальция, постепенно действием избытка углекислого кальция переходит через золь  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в безвредный гель. Это пока лишь мое предположение, тем более, что все вышесказанные результаты требуют еще дальнейшего подтверждения и дальнейшей разработки. Вышеприведенные опыты я рассматриваю лишь как предварительные, ставящие ряд вопросов, исследованию которых должно быть по моему мнению уделено известное внимание агрохимиками; вопросам марганца — потому что повидимому использование в сельском хозяйстве отбросов марганцевой промышленности может повысить урожайность, вопросам алюминия — по той же причине, а главное потому, что вне всякого сомнения этот катион в некоторых почвах (почвы северной половины СССР, красноземы) может быть в заметных уже и вредных растениям количествах в поглощающем комплексе и приемы борьбы с ним необходимо выработать.

Отметим, что наши предположения о причинах положительного действия  $\text{CaCO}_3$  на почву, полностью насыщенную алюминием, под-

<sup>1</sup> «Удобрение и урожай», № 6, стр. 472, 1930 г.

тверждаются и данными ранее приведенных опытов с почвой, полностью насыщенной марганцем. Во-первых, гибель овса на почве, насыщенной Mn, уже совершенно несомненно вызывается не реакцией среды; рН в почвах, насыщенных в разной степени Mn включительно до насыщенной им полностью, после снятия урожая было следующее (обозначение почв то же, что и раньше):

Таблица 8

Почва	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII + 3 г CaCO <sub>3</sub>
рН . . . . .	6,95	6,98	6,86	6,65	6,09	5,73	5,61	7,1

Совершенно ясно, что овес погиб на почве, насыщенной Mn без углекислого кальция, вовсе не вследствие высокой концентрации водородного иона. Во-вторых, и в случае марганца мы имеем то же явление в отношении действия CaCO<sub>3</sub>, как и в случае алюминия: в опытах 1929 г. внесение в почву, полностью насыщенную марганцем, 10 г CaCO<sub>3</sub> только несколько исправило почву, овес не погиб, но дал очень малый урожай — всего 0,18 г зерна и 1,42 г соломы; овес же в тех же сосудах в 1930 г. дал уже 3,3 г зерна и 6,0 г соломы вместо 5,5 г зерна и 5,4 г соломы в контрольных сосудах, т. е. и в случае почвы, насыщенной марганцем, мы видим, что благоприятное действие CaCO<sub>3</sub> на второй год после его внесения оказалось значительно сильнее, чем в первый.

К сожалению опыты с поглощенным алюминием мне удалось провести лишь с овсом; если бы имелись данные для других растений, то сопоставление их с данными по поглощенному марганцу позволило бы сделать более определенные выводы; это — пример того, как существенно для разрешения вопроса иметь возможность поставить исследование сразу в должном объеме.

В заключение считаю необходимым подчеркнуть, что публикуемые мною данные ни в коем случае не считаю решающими вопроса даже в отношении той почвы, которая была в наших опытах. Вся история вопроса о стимулянтах учит нас, что с окончательными, а тем более сколько-нибудь обобщающими выводами тут надо быть очень осторожным; сам вопрос очевидно настолько сложен, что трудно поддается такому экспериментальному исследованию, при котором были бы учтены все привходящие обстоятельства. В моем методе подхода к вопросу о стимулянтах слабой стороной (с точки зрения учета) является несомненно то обстоятельство, что подготовка почвы сопровождается длительным ее промыванием; для учета влияния этой операции я прибегал к промыванию водой и контрольной почвы (первоначальной), но, во-первых, сделать это совершенно идентично для контрольной и опытной почвы невозможно, а затем я считаю теперь, что необходимо детальнее изучить самый эффект промывания, к чему при первой возможности думаю приступить, и думаю, что такое систематическое изучение может дать интересные и теоретические и чисто практические результаты. Должен сказать, что все вышесказанное в связи с боль-

шим эффектом, полученным мною в вышеописанных опытах, удержало бы меня от опубликования в настоящее время этих опытов, если бы не результаты одного небольшого опыта, проведенного мною с почвой, полностью насыщенной алюминием, по одному методологическому вопросу. В этом опыте я к первоначальному чернозему прибавлял различные количества того же чернозема, предварительно полностью насыщенного алюминием, по следующей схеме (количество сухой почвы в г/сосуд).

Таблица 9

Почва	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Чернозем первоначальный	500	494	494	492	461	432	325	250	125	0
Чернозем, насыщенный Al (в скобках мг-экв. Al)	{ 0 (0,0)	{ 4 (2,6)	{ 6 (3,7)	{ 8 (5,2)	{ 39 (24)	{ 68 (42)	{ 175 (108)	{ 250 (154)	{ 375 (231)	{ 500 (308)

Вот результат этого опыта под овсом:

Таблица 10

Средний урожай из 2 параллельных сосудов (в г и %)

Почва	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Зерно	5,9	100	6,3	107	6,9	117	7,5	127	6,4	108	6,5	111	5,1	86	5,9	100	4,9	79
Солома	10,0	100	12,3	123	11,4	114	11,1	111	11,0	110	9,6	96	10,6	106	0,1	91	6,5	65

На почве X, полностью насыщенной алюминием, урожай 0.

Мы видим и в этой серии опытов совершенно ясное стимулирующее действие обменного алюминия, которое обнаружено уже при самом малом количестве внесенной в сосуды почвы, насыщенной алюминием (4 г на 496 г первоначального чернозема); в этой дозе стимулирующий эффект сказался главным образом на соломе; с дальнейшим повышением количества почвы, насыщенной алюминием, вносимой в сосуд, эффект повышался включительно до почвы IV (8 г почвы, насыщенной алюминием + 492 г первоначальной), причем особенно сильно выявлялся на зерне. Начиная с почвы V (39 г почвы, насыщенной алюминием + 461 г почвы первоначальной) и дальше с повышенным количеством почвы, насыщенной алюминием, вносимого на сосуд, эффект постепенно падает, и на почве IX (375 г почвы, насыщенной алюминием + 125 г первоначальной) мы уже имеем сильное отрицательное действие обменного алюминия.

Этот опыт для нас сейчас представляет тот интерес, что по крайней мере для первых четырех почв совершенно исключается тот момент,

о котором мы только что говорили (промывание почвы) и который может оказывать сам по себе тот или другой эффект, причем очень трудно учитываемый: несомненно прибавка к 492 г первоначального непромывавшегося чернозема 8 г (и меньше) чернозема, промывавшегося раствором  $AlCl_3$ , а затем водой, не могла внести в опыт какого-либо влияния от самого этого промывания; таким образом стимулирующий эффект, полученный в этом опыте, может быть приписан только обмену алюминию, внесенному в почву сосудов в виде почвы, насыщенной полностью этим катионом; а так как в рассматриваемом опыте влияние алюминия оказалось того же порядка, как и в ранее приведенных опытах, где почва сосуда для введения в нее того или другого количества алюминия целиком обрабатывалась раствором хлористого алюминия, а затем водой, то очевидно с очень большой вероятностью можно утверждать, что во всех вышеприведенных опытах мы действительно учитываем величиной урожая действие введенного в почву катиона и что влияние самого промывания почвы, если оно и имеется, отступает на задний план по сравнению с действием введенного катиона.

Относительно алюминия может явиться вопрос, зачем его вводить в почву, когда все почвы содержат его очень много; ответ такой же, как и в отношении питательных элементов почвы и необходимости удобрения: дело в форме соединений алюминия в почве; в почвах, насыщенных основаниями, в отсутствие явлений деградации алюминия в поглощенном состоянии не имеется; весь он содержится в этих почвах в очень трудно подвижных соединениях; введение его в поглощающий комплекс дает подвижную, доступную действию воды форму. В почвах оподзоленных и латеритных обменный алюминий может быть; тогда несомненно он влияет на урожайность; но в этих случаях тем более важно изучить влияние алюминия на растение в этой его форме. Сказанное относится также и к марганцу.

В отношении последнего нужно сказать, что внесение его в почву представляет теперь вполне реальную по своей возможности проблему ввиду наличия у нас марганецсодержащих рудных отбросов. Очень возможно, что в этих отбросах марганец находится в недействительной форме и потому отбросы эти не будут действовать или будут слабо действовать на урожай. Надо будет поднять активность марганца в них; наиболее рациональным приемом будет переведение марганца в обменное состояние, для чего эти отбросы надо превратить в поглощающий комплекс, т. е. раздробить их до коллоидального состояния с помощью коллоидальных мельниц.

Долгопрудное, февраль, 1932 г.

#### 4. ПОГЛОЩЕННЫЙ АММОНИЙ КАК ИСТОЧНИК АЗОТА ДЛЯ РАСТЕНИЙ И ДЕЙСТВИЕ ЕГО НА ПОЧВУ<sup>1</sup>

Всестороннее изучение влияния на растения любых обменных катионов, как естественно имеющих в поглощающем комплексе почв,

<sup>1</sup> Описанные в настоящей статье вегетационные опыты проведены при непосредственном участии научных сотрудников В. Г. Тараповской, Л. Н. Вольской и С. Г. Шадрова. «Насыщенность почв различными катионами» выполнял старший техник А. С. Фомичев. «Минеральные удобрения» Тр. НИУ, вып. 113, 1933 г.

так и не встречающихся там, а искусственно вводимых туда, представляет колоссальный практический интерес, так как открывает целую область возможного воздействия химией на почву для повышения количества и качества урожая; степень эффективности этого воздействия с совместным применением конечно других мероприятий (например соответствующим снабжением водой и воздухом и т. д.) в настоящее время даже трудно учесть. Само собой разумеется, что такое изучение для получения подлежащих результатов должно быть достаточно глубоко и многосторонне; нельзя например ограничиться изучением действия только одиночных обменных катионов даже с учетом влияния различных их количеств; необходимо изучение их различных комбинаций под различными растениями на почвах с различными свойствами вообще и в частности с различной емкостью обмена, так как несомненно, что например 10 мг-экв. какого-нибудь обменного катиона при емкости обмена почвы в 20 мг-экв. будут действовать на растение иначе, чем на почве с емкостью обмена в 50 мг-экв., и на одно растение иначе, чем на другое; несомненно также, что 10 мг-экв. данного катиона при одной и той же емкости обмена будут влиять на одно и то же растение неодинаково, если остальная часть емкости обмена насыщена различной комбинацией других обменных катионов.

Несомненно также, что влияние того или другого обменного катиона на количество и качество урожая при всех прочих равных условиях будет находиться в зависимости от топографических условий залегания почвы и метеорологических условий места и что таким образом при изучении поставленного вопроса кроме общего подхода для нащупывания общих руководящих зависимостей и вопросов необходимо будет подходить чисто конкретно в связи со всей естественно-исторической и хозяйственно-экономической обстановкой. Изучение должно вестись и лабораторными методами для учета например изменения физических свойств почв под влиянием введения в них тех или других обменных катионов и биологическими для учета влияния на растение и микрофлору. Вопрос в общем очень большой и требует для своего разрешения и практического использования соответственно большой и обязательно массовой работы.

В настоящей статье я остановлюсь на обменном аммонии; этот обменный катион в почвах всегда имеется, правда, в очень небольших количествах; так например, если методом вытеснения мы получим, что в 1 000 г почвы содержится 20 мг  $\text{NH}_3$  (количество очень большое, редко встречаемое в почвах), то, принимая даже, что все это количество аммиака будет в обменном состоянии (на самом деле этого никогда не будет), мы найдем, что в этой почве имеется лишь около 0,1 мг-экв. на 100 г почвы.

Постоянно образующийся в почве под влиянием аммонифицирующих микроорганизмов в небольших количествах аммиак частью окисляется в азотную кислоту, частью поглощается почвой; так как образующийся аммиак в почвенном растворе находится в виде углекислого, то он очень легко и достаточно полно поглощается почвами, богатыми обменным кальцием (вследствие трудной растворимости продукта обмена —  $\text{CaCO}_3$ ), и особенно полно почвами кислыми (вследствие летучести углекислоты). Таким образом, несмотря на процессы нитрификации и несмотря на то, что в каждый момент аммонификация дает

очень немного аммиака, катион этот постепенно может накапливаться в почве в обменном состоянии до известного предела, величина которого зависит от свойств почвы, хода микробиологических процессов, метеорологических условий, состояния растительности и т. д. Аммоний вносится в почву и с атмосферными осадками и человеком в виде органических удобрений и аммонийных солей; каждое отдельное внесение в почву аммонийной соли как азотистого удобрения может дать конечно очень мало обменного аммония; так, чтобы обогатить только одним миллиэквивалентом обменного аммония слой почвы в 20 см на площади, 1 га даже при допущении, что весь внесенный аммоний поглотится почвой, чего конечно никогда не может быть, нужно дать 350 кг/га азота в виде аммонийной соли.

Таким образом однократным внесением обычных доз аммонийных солей в почву почвенный поглощающий комплекс лишь очень ничтожно может обогатиться обменным аммонием; но если такое удобрение применяется систематически и продолжительное время, то результат может получиться очень заметный. А затем, если изучение вопроса покажет, что обменный аммоний как источник азота для растений представляет известные преимущества перед другими источниками азота в практике сельского хозяйства, то может оказаться целесообразным обогащать им почвы усиленным внесением таких подходящих аммонийных солей, из которых аммоний возможно полнее поглощается почвой, например углекислого аммония.

Если кроме того принять во внимание, что из двух форм азота, непосредственно одинаково по видимому доступных растениям, а именно аммиачной и нитратной, последняя поглощается в почве только биологически, почему всегда возможны потери азота в этой форме вымыванием, вследствие чего свободное оперирование азотистыми удобрениями в нитратной форме всегда затруднено и всегда приходится изыскивать способы внесения селитры в почву, обеспечивающие от возможных потерь и вымыванием и денитрификацией, то будет совершенно ясно, что вопрос о поглощенном аммонии в почве, о влиянии его на свойства почвы и о взаимоотношении его с с.-х. растениями заслуживает изучения. Если даже окажется, что аммиачный азот как таковой уступает в своем действии селитре под теми или другими растениями, то и это обстоятельство несколько не умаляет важности изучения вопроса об обменном аммонии, так как последний, постепенно переходя из обменного состояния в раствор, будет конечно нитрифицироваться, поскольку в почве имеются условия для этого процесса. С другой стороны, знание влияния обменного  $\text{NH}_4$  на почву и растение важно и в том отношении, что в зависимости от этого влияния можно и нужно будет соответствующим образом планировать химическую промышленность.

Собственно говоря, основной вопрос во всей проблеме обменного аммония теоретически с качественной стороны можно считать до известной степени разрешенным на основании общих соображений, известных нам уже вообще о поглощенных катионах, а именно вопрос о возможности использовать растением обменный аммоний. Мы знаем, что раз в почвенном поглощающем комплексе имеется данный катион в обменном состоянии, то этот катион вследствие реакций взаимного обмена с всегда имеющимися в почвенном растворе другими катионами (во всяком случае с водородным ионом) непременно также будет в той

или иной концентрации и в почвенном растворе; так, если почву, содержащую обменный аммоний, мы промоем спиртом до полного вымывания из нее всех солей аммония, высушим до полного удаления спирта и увлажним, то ион аммония снова появится в почвенном растворе и может служить источником нитрификации и питания растений. Конечно знания этого еще недостаточно; необходимо изучение количественной стороны явления в зависимости от количества обменного аммония в почве, от степени насыщения им почвы и т. д. В отношении обменного аммония, как и всякого другого обменного катиона, необходимо изучение и другой стороны этого явления.

Повидимому про каждый катион можно сказать, что введением его в почвенный поглощающий комплекс мы создаем в почве известный комплекс биологических свойств как благоприятных, так и неблагоприятных для жизни высших растений и микрофлоры. Растением мы учитываем общий результат тех и других изменений; по крайней мере так дело обстоит со всеми исследовавшимися металлами, вводимыми нами в почву в обменное состояние; даже такой наиболее благоприятный в биологическом отношении обменный катион, как кальций, занимая в почве слишком большую часть обменной емкости, сам по себе, а также вследствие нарушения благоприятного для растений соотношения между составом обменных катионов в поглощающем комплексе, дающем неблагоприятное соотношение между катионами в почвенном растворе, влияет уже понижаяще на урожай.

Различные катионы при различной степени насыщения ими почвы дают в сумме своего положительного и отрицательного действия на биологические свойства почвы оптимальный эффект, который кроме того зависит и от других условий, как то: состава всего комплекса обменных катионов, метеорологических условий и др.

Из естественно встречающихся в почве обменных катионов, поскольку можно судить по имеющимся уже у нас данным, указанный оптимум раньше всего достигается натрием; при постепенно увеличивающемся его количестве в поглощающем комплексе, иначе говоря, по мере возрастания его коэффициента насыщения почвы, неблагоприятное действие его на биологические свойства почвы уже очень скоро начинает брать верх над благоприятным влиянием, и уже при сравнительно очень малом коэффициенте насыщения катион этот дает отрицательный эффект на урожае (величина соответствующего этой точке коэффициента насыщения неодинакова для различных растений, изменяется с изменением свойств почвы и находится в зависимости от климата).

Другое крайнее положение в ряду обменных катионов (притом не только среди естественно встречающихся в почве, но и вообще всех катионов) занимает кальций<sup>1</sup>: неблагоприятные влияния на биологические свойства почвы, вызываемые в почве этим обменным катионом, начинают преобладать над положительными лишь при очень высоком коэффициенте насыщения им почвы, причем повидимому этот оптимальный коэффициент насыщения может быть еще повышен соответствующим составом остальных обменных катионов в почве. Остальные естественно встречающиеся в почве обменные катионы К, NH<sub>4</sub>, Н и Mg

<sup>1</sup> См. статью первую данного сборника. Ред.

в отношении величины критического коэффициента насыщения располагаются между натрием и кальцием, причем в порядке возрастания этого коэффициента они располагаются примерно так, как выше написано; говорю — примерно, потому что нет еще достаточных данных для точного установления этого порядка. Но как бы то ни было совершенно ясно, что аммоний как обменный катион уже при сравнительно небольшом участии в емкости поглощения кроме положительного действия на рост растений как источник азотистого питания должен оказывать и отрицательное действие как в биологическом отношении (возможное подавление деятельности нитрифицирующих бактерий вследствие избытка в почвенном растворе аммиака, увеличение коллоидальности почвы вследствие усиления распыляющего действия воды, ухудшения физических свойств почвы и связанных с ними водного и воздушного режимов), так и в отношении разрушения почвенного комплекса; поэтому наряду с изучением действия на растения обменного аммония как источника азотистого питания растений необходимо и не в меньшей степени изучение действия его на почву вообще и в частности на те ее свойства, которые так или иначе влияют на урожай.

В ранее опубликованных работах я приводил полученные мною результаты исследования сравнительной энергии поглощения почвой аммония и сравнительного действия его при полном насыщении почвы на дисперсность ее; теперь я остановлюсь, раньше чем перейти к вопросу о действии обменного аммония на растение, на сравнительной роли его в растворяющем и разрушающем действии воды на почвенный поглощающий комплекс, насыщенный этим катионом.

Роль обменного аммония в означенном отношении изучалась мною параллельно с изучением этой роли лития, натрия, калия, магния, водорода и первоначально присутствующих в почве обменных кальция и магния (каменностепной тучный чернозем, гор. 0—20 см; 10% гумуса; рН—6,8; обменного кальция—47,8 мг-экв. и обменного магния—8,4 мг-экв.).

Навески чернозема по 10 г каждая обрабатывались 10N растворами одного из нижеследующих хлоридов; LiCl, NH<sub>4</sub>Cl, NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> и 0,05N HCl; обработка (на воронках) продолжалась до полного вытеснения из почвы кальция; после этого избыток оставшейся в почве соли удалялся небольшим количеством воды, а окончательно—промывкой почв 80-процентным спиртом до полного удаления хлориона. После полного высыхания почв на воронках и полного улетучивания спирта почва с фильтра переносилась в мерные литровые цилиндры с притертыми пробками; туда же тщательно смывалась водой почва, приставшая к фильтру; цилиндры наполнялись дистиллированной водой до литра, взбалтывались и оставались на двое суток при взбалтывании время от времени.

В целях изучения влияния CaCO<sub>3</sub> на растворяющее и разрушающее действие воды на почву, насыщенную означенными выше катионами, подобный же опыт был поставлен с прибавлением в каждый цилиндр по 2 г CaCO<sub>3</sub>. Через двое суток содержимое цилиндров отфильтровывалось через двойной фильтр из бумаги № 602 extra hart, и собранные фильтраты поступали в анализ. Фильтраты получились из почв, насыщенных различными катионами, в различной степени окрашенными органическими веществами; степень окраски видна из приводимых

данных содержания растворившегося гумуса. Все фильтраты независимо от окраски были совершенно прозрачны. Определение гумуса производилось не только в фильтрате первого литра вытяжки; почва, собранная на фильтре, и остаток ее в цилиндрах промывались еще литром воды, и в собранном втором литре фильтрата определялся гумус; дальнейшее промывание почвы водой не давало уже заметного количества воднорастворимого гумуса. В первом литре фильтрата кроме гумуса определялись: общая сумма извлекаемых водой веществ, протрушенная и прокаленная кремнекислота, сумма полуторных окислов. Все означенные данные привожу в нижеследующей таблице в процентах на воздушносухую почву.

Таблица 11

Вода в условиях опыта навлекала (анализ принадлежит автору)

Катион, насыщающий почву	Остаток водной вытяжки		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Воднорастворимый гумус <sup>1</sup>		Всего гумуса в % от веса почвы
	протрушенный	прокаленный			в см <sup>3</sup> 0,05N KMnO <sub>4</sub>		
					по 1-м л	по 2-м л	
Литий . . . . .	9,41	5,41	2,852	1,980	7 080	1 000	2,09
» + CaCO <sub>3</sub> . . . . .	8,72	4,80	1,270	1,600	6 720	820	1,95
Аммоний . . . . .	2,10	1,09	0,596	0,448	2 100	840	0,76
» + CaCO <sub>3</sub> . . . . .	0,66	0,23	0,080	0,024	1 560	629	0,56
Натрий . . . . .	9,52	6,02	2,580	2,032	6 800	1 380	1,87
» + CaCO <sub>3</sub> . . . . .	7,57	4,42	1,900	1,388	5 769	1 180	1,79
Калий . . . . .	3,95	1,45	0,412	0,320	6 420	1 080	1,85
» + CaCO <sub>3</sub> . . . . .	3,76	1,86	0,140	0,148	4 080	740	1,35
Магний . . . . .	0,76	0,34	0,072	—	620	—	0,16
» + CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1,20	0,80	0,036	—	310	—	0,08
Водород . . . . .	0,35	0,18	—	—	560	—	0,14
Первоначальная почва . . . . .	0,28	0,11	0,016	—	440	—	0,014

Приведенные данные показывают, что растворяющее (гумус) и разрушающее (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) действие воды в том случае, когда обменная емкость почвы, насыщенной одним из щелочных катионов, колоссальна по сравнению с таковым действием на первоначальный чернозем; из исследованных щелочных металлов наименее сильно в рассматриваемом отношении действует аммоний, но и он усиливает растворимость гумуса почвы с 0,014 (первоначальный чернозем) до 0,76%, т. е. в 54 раза, количество извлекаемой SiO<sub>2</sub>—с 0,016 до 0,596%, т. е. в 37 раз, и количество полуторных окислов от следов (первоначальный чернозем) до 0,448%. Наиболее сильное влияние на действие воды оказывает литий; из почвы, насыщенной этим катионом, вода извлекает почти 10% от веса воздушносухой почвы органических и минеральных веществ, в том числе около 3% SiO<sub>2</sub>, около 2% полуторных окислов и гумуса (по вычислению из данных титрования марганцевокислым калием) — 2% с лишком.

Действия натрия лишь немногим слабее действия лития и главным образом в отношении растворимости гумуса, в отношении же полутор-

ных окислов оба эти катиона оказались равнозначными; по величине сухого остатка водной вытяжки получилось даже обратное: общая сумма воднорастворимых веществ (и просушенных и прокаленных) в почве, насыщенной натрием, оказалась выше, чем в почве, насыщенной литием, что вызвано несомненно более высоким атомным весом натрия, составляющим поэтому большую процент от веса остатков, нежели литий в остатках водной вытяжки из почвы, насыщенной литием. Интересно сравнительное действие калия и аммония; в то время как калий значительно больше, нежели аммоний, увеличил растворимость органических веществ (по калию 1,85%, а по аммоний 0,76%), кремнекислоты и полуторных окислов, вода из почвы, насыщенной аммонием, извлекла больше, чем из почвы, насыщенной калием. В своих исследованиях сравнительного действия катионов калия и аммония на различные свойства почвы нам не раз приходилось уже отмечать такое непостоянство места этих двух катионов; на некоторые свойства сильнее влияет поглощенный калий, на другие же — поглощенный аммоний, причем и для одного и того же свойства места этих катионов не всегда бывают одинаковыми у различных почв.

Влияние поглощенного магния на растворяющее и разрушающее действие воды хотя и значительно слабее, чем вышеупомянутых четырех щелочных катионов, но все-таки по сравнению с поглощенным водородом и особенно с поглощенным кальцием это влияние надо признать очень сильным; так гумуса вода растворяет из почвы, насыщенной магнием, примерно в 10 раз больше, чем из почвы, насыщенной кальцием, а минеральных веществ в три раза больше.

Присутствие углекислого кальция в почве при всех исследованных обменных катионах понижает и растворяющее и разлагающее действие воды: относительно такое влияние углекислого кальция слабее при поглощенных Li, Na и K и очень сильно при поглощенном аммонии, особенно в отношении разрушения водой алюмосиликатной части; так из почвы, насыщенной этим катионом, вода в отсутствие  $\text{CaCO}_3$  извлекала 0,596%  $\text{SiO}_2$  и 0,448%  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , а в присутствии  $\text{CaCO}_3$  всего соответственно 0,080 и 0,024%.

Уже из приведенных выше данных мы видим, что почва, содержащая обменный аммоний, должна существенно отличаться по многим своим свойствам от почв, содержащих обменный калий, магний и водород, и в том числе по составу своего почвенного раствора; совершенно ясно, что отношение растений к такой почве должно быть иным и что это отношение будет изменяться в зависимости от коэффициента насыщения почвы аммонием и величины емкости обмена данной почвы.

Изучать действие на растение того или другого обменного катиона при частичном насыщении им почвы можно двояким путем. Можно, во-первых, насытить достаточное количество исследуемой почвы полностью изучаемым катионом и к первоначальной почве примешивать то или другое количество этой полностью насыщенной почвы до желаемого содержания в почве этого обменного катиона. Во-вторых, можно в первоначальную почву прямо вводить обработкой соответствующей солью то или другое количество исследуемого катиона. Несомненно, что эти два способа не равнозначны и один другого заменить не могут. Для тех целей, которые я преследую своими исследо-

ваниями — изучение влияния на рост растений присутствия в почве того или другого количества обменного катиона, необходим второй из указанных способов. Когда мы имеем две системы, например: 1) 0,9 первоначальной почвы +0,1 целиком насыщенной  $\text{NH}_4$  и 2) первоначальная почва, в которую введен  $\text{NH}_4$  в количестве, равном 0,1 ее емкости обмена, в обоих случаях количество обменного  $\text{NH}_4$  будет конечно одинаково, но состояние той или другой системы и состояние почвенного раствора в сосудах, наполненных этими почвами и находящихся при одной и той же влажности, будет различное, пока первая система не придет в равновесие. Аммоний, извлекаемый водой из почвы, целиком насыщенной  $\text{NH}_4$ , будет постепенно поглощаться смешанной с нею первоначальной почвой, пока во всей массе почвы не получится одна и та же степень насыщения этим катионом, на что в условиях сосуда (отсутствие перемешивания, малое содержание воды и т. д.) потребуется значительное время; между прочим в первой системе до наступления этого равновесия вследствие медленности диффузии и сильной транспирации растений распределение  $\text{NH}_4$  в почвенном растворе сосуда будет пространственно очень неравномерным: будут участки (возле частиц почвы, целиком насыщенных аммонием) с высокой концентрацией в растворе  $\text{NH}_4$  и со средой, обладающей всеми особенностями почвы, целиком насыщенной аммонием, и участки (первоначальная почва) со сравнительно низкой концентрацией  $\text{NH}_4$  и слабо выраженными щелочными свойствами. Корни растений могут выбирать, смотря по своим потребностям, соответствующие места.

Во второй же системе мы будем иметь во всем объеме сосуда однородную среду. Очевидно условия для развития растений будут в этих двух случаях неодинаковыми (для различно чувствительных растений различно неодинаковыми) и притом при различных количествах обменного аммония в разной степени неодинаковыми; очевидно также, что в том случае, когда ставится вопрос о действии на растение того или другого количества данного катиона в поглощенном состоянии, нужно применять метод введения изучаемого катиона в нужном количестве во весь поглощающий комплекс сосуда.

В целях опытной проверки этих теоретических соображений нами был поставлен в 1931 г. небольшой вегетационный опыт с небольшими, но заведомо уже вредными количествами обменных кадмия и никеля под овсом, а после уборки овса — под горчицей. Для этого из каменно-степного тучного чернозема было приготовлено восемь почв:

Таблица 12

I	Насыщенная 3,45 мг.-экв.	Cd	V	Насыщенная 2,71 мг.-экв.	Ni
II	» 7,22 » »	Cd	VI	» 6,11 » »	Ni
III	» 13,32 » »	Cd	VII	» 113,5 » »	Ni
IV	Полностью насыщенная	Cd	VIII	Полностью насыщенная	Ni

Почвами I, II, III, V, VI, VII были набиты каждой по два сосуда (на 500 г почвы каждый), а почвы IV и VIII примешивались к первоначальному чернозему в таких количествах, что в почве сосуда получа-

лось в такой смеси столько же поглощенных Cd или Ni, сколько каждого из них в сосудах, набитых почвами I, II, III, V, VI и VII (почвы Ia, IIa, IIIa с обменным кадмием и почвы Va, VIa, VIIa с обменным никелем).

Результат опыта виден из нижеследующей таблицы опыта с овсом и горчицей при обменном кадмии.

Таблица 13

Урожай овса и горчицы (в г на сосуд)

№ опыта	Виды почвы	Овсо	Горчица
I	Почва I (17,26 мг-экв. Cd на сосуд) . . . . .	0,54	0,33
Ia	» первон. IV (17,25 мг-экв. Cd на сосуд) . . . . .	1,03	0,35
II	Почва II (36,1 мг-экв. Cd на сосуд) . . . . .	0,07	0,16
IIa	» первон. IV (36,1 мг-экв. Cd на сосуд) . . . . .	0,19	0,33
III	Почва III (67,6 мг-экв. Cd на сосуд) . . . . .	0,06	0
IIIa	» первон. IV (67,6 мг-экв. Cd на сосуд) . . . . .	0,08	0,05
V	Почва V (13,53 мг-экв. Ni на сосуд) . . . . .	3,32	0,26
Va	» первон. VIII (18,55 мг-экв. Ni на сосуд) . . . . .	3,60	0,39
VI	Почва VI (30,55 мг-экв. Ni на сосуд) . . . . .	0,08	0
VIa	» первон. VIII (30,55 мг-экв. Ni на сосуд) . . . . .	0,21	0
VII	Почва VII (67,6 мг-экв. Ni на сосуд) . . . . .	0	0
VIIa	» первон. VIII (67,6 мг-экв. Ni на сосуд) . . . . .	0,03	0

Во всех сосудах растения страдали; страдание начиналось тем раньше и тем сильнее, чем больше введено было Cd и Ni в почву, но вместе с тем всюду и то и другое резко выражалось в сосудах, в которых вся почва содержала обменные Cd и Ni, чем в тех сосудах, почва которых доводилась до того же содержания этих катионов прибавлением к первоначальному чернозему соответствующих количеств этой же почвы, насыщенной целиком этими катионами. То же полностью подтверждается весом собранного в этом опыте воздушносухого растительного вещества.

Таким образом совершенно определенно можно утверждать, что рассматриваемые здесь два способа изучения влияния обменных катионов на растение для случая отрицательного их действия дают неодинаковые результаты. Мы думаем, что то же должно быть при продолжительном влиянии поглощенных катионов и может быть распространено и на действие всяких других вводимых в почву веществ, вступающих с почвой во взаимодействие: действие на растение должно быть неодинаково в зависимости от того, будет ли испытуемое вещество (например фосфорнокислородобрение, известь и т. п.) смешано сразу со всей почвой или с большими ее объемами или же сначала с небольшим сравнительно количеством почвы, а затем эта полученная смесь смешана уже с остальной почвой; вопрос может заключаться в количественной стороне, так как несомненно в каждом отдельном случае степень различия, степень выраженности в результатах этих двух способов будет обуславливаться конкретными условиями (характером испытуемого вещества и исследуемой почвы, степенью закрепления этого вещества почвой, отношением его и продукта закрепления поч-

вой к воде, соотношением между количествами почвы и этого вещества и т. д.).

Сосуды с вышеописанным опытом были оставлены на следующий год, и весной 1932 г. засеяны льном. Вредность обменных кадмия и никеля на этом растении проявилась еще сильнее, чем в прошлом году на горчице, и лен вскоре во всех сосудах погиб. После льна был посеян овес. Оба растения вполне подтвердили высказанные выше соображения об уравнении с течением времени в различии действия на растения применявшихся двух способов внесения в почву того или другого количества обменного катиона и о длительности этого уравнительного процесса: различие в действии сохранилось еще и в нынешнем году, но уже в меньшей степени; затем опыты обоих лет в совокупности показывают, что указанное различие в действии обменных катионов, когда это действие вредное, проявляется тем сильнее, чем менее чувствительно к нему испытываемое растение.

Общий вывод из этого опыта тот, что рассмотренные два метода введения в почву обменных катионов в отношении взаимодействия полученной почвы с растением дают различные результаты и что в зависимости от поставленной цели исследования должен применяться или тот или другой метод, а не безразлично какой.

С влиянием на рост растения поглощенного аммония мы провели пока лишь предварительные двухлетние опыты в очень небольшом масштабе; ограниченность опыта была вызвана затруднениями в приготовлении нужных количеств соответствующих почв; необходимость в данном случае промывки почвы после обработки ее хлористым аммонием 80-процентным спиртом для полного удаления хлористого аммония (что в этих опытах особенно существенно) особенно усложняет это исследование (большие количества потребного спирта и очень длительная промывка вследствие малой растворимости хлористого аммония в спирте).

Из каменистолиственного чернозема мы приготовили три почвы: три навески его по 2 кг каждая обрабатывались одна 2 л дистиллированной воды, вторая 2 л 0,01N раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , а третья 2 л 0,05N раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . После суточного стояния при частом перемешивании смеси были отфильтрованы; воронки с почвами, обработанными раствором хлористого аммония, промывались 80-процентным спиртом до исчезновения реакции на хлор, после чего все почвы были доведены до воздушносухого состояния и ими были набиты маленькие сосуды на 500 г сухой почвы каждый. На каждой почве были поставлены сосуды с РК (0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 г  $\text{K}_2\text{O}$  в  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), а на почве, промытой только дистиллированной водой, кроме того сосуды без удобрения и по NPK (0,1 г N в  $\text{NaNO}_3$ ).

Опыт был поставлен в 1930 г., а в 1931 г. перезимовавшие сосуды были перебиты с внесением тех же удобрений и в тех же количествах и снова засеяны; в оба года опытным растением служил овес. Вот результат этого опыта (табл. 14).

Мы видим, что в первый год опыта поглощенный аммоний в меньшей своей норме повысил урожай и зерна и соломы до той же величины, что и 0,1 г N в  $\text{NaNO}_3$  (по поглощенному  $\text{NH}_4$  имеем 6,1 г зерна и 5,7 г соломы, по азотнокислому натрию соответственно 6,0 и 6,2 г); по второй же большей норме поглощенного аммония общий урожай овса

## Урожай овса (в г на сосуд)

Виды почв	Удоб- решие	Опыт 1930 г.			Опыт 1931 г.		
		Зерно	Солома	Всего	Зерно	Солома	Всего
Почва, обработанная дистиллированной водой . . . . .	{ О РК НРК	1,3	1,8	3,2	0,3	1,1	1,4
		3,4	4,4	7,4	1,9	3,7	5,6
		6,0	6,2	12,2	5,8	9,1	14,9
Почва, обработанная 0,01N NH <sub>4</sub> Cl (7,5 мг-экв. или 0,105 г поглощ. N на сосуд) . . . . .	РК	6,1	5,7	11,8	2,1	4,3	6,4
Почва, обработанная 0,05N NH <sub>4</sub> Cl (20,5 мг-экв. или 0,28 г поглощ. N на сосуд) . . . . .	РК	6,2	7,7	13,9	4,9	5,7	10,6

получился даже выше, чем по азотнокислому натрию (13,9 г вместо 12,2 г по азотнокислому аммонiu), причем оба эти источника азота повысили урожай зерна совершенно одинаково, а более сильное действие поглощенного аммония оказалось лишь на урожае соломы (во второй дозе поглощенного аммония получилось на 24% больше соломы) — явный признак избытка азота. На второй год урожай овса по первой дозе поглощенного аммония упал до величины урожая на почве, не получившей азотистого удобрения; таким образом поглощенный аммоний в этом случае последствием не оказал. На второй (высшей) дозе поглощенного аммония последствие было очень сильно, овес дал 10,6 г на сосуд, т. е. почти вдвое больше, чем в сосудах, не получивших азота, но меньше, чем в сосудах, получивших в первом и во втором годах по 0,1 г азота в азотнокислом натрии.

Первая (низшая) доза обменного аммония соответствовала 0,105 г N на сосуд, т. е. почва в этих сосудах получила столько же азота в форме поглощенного аммония, сколько было внесено его в сосуды с первоначальным черноземом в форме азотнокислого натрия и, как мы видели, урожай овса в обоих случаях получился в первом году одинаковый (т. е. азот в форме поглощенного аммония оказался в такой же степени доступным растению, как и азот селитры).

Во второй дозе поглощенного аммония в почву было внесено 0,287 г азота, т. е. почти втрое больше, чем в первый год в виде селитры, и урожай овса по поглощенному аммонiu получился больше, чем по селитре; на второй год в сосудах с селитрой общее количество (за оба года) внесенного азота составляло 0,2 г, но урожай овса на второй год был выше, чем по поглощенному аммонiu, так что в этом случае поглощенный аммоний оказался менее эффективным, чем селитра. Опыт не дает возможности выявить причину этого.

Во всяком случае приведенные данные определенно показывают, что поглощенный аммоний является хорошим источником азотистого питания растений и даже в такой большой дозе, как 0,574 г N на 1 кг почвы (или 4,1 мг-экв. на 100 г почвы) не создает в исследовавшейся почве неблагоприятных физических и химических свойств для овса. Последний вывод относится конечно только к бывшей в этом опыте

почве; на другой почве с иным механическим составом, с иной буферностью и иной емкостью обмена такое количество поглощенного аммония могло создать для того же овса и иные свойства. Совершенно так же описанный опыт не предвещает вопроса об отношении других растений к обменному аммонiu. Вопрос о поглощенном аммонии должен быть подвергнут всестороннему исследованию; здесь целый ряд моментов должен быть изучен: влияние различных его количеств на физические свойства почвы в зависимости от ее свойства, влияние на химические свойства (получение в почвенном растворе вредного для растений углекислого аммония), ход нитрификации и т. д. Главное значение вышеприведенного предварительного опыта заключается в том, что определенно показывает, что такое углубленное и всестороннее изучение этого вопроса имеет определенный практический смысл: поглощенный аммоний как источник азота, поскольку его количество в почве не создает еще плохих условий для жизни растений, имеет громадные преимущества перед другими источниками азота для растений; он чрезвычайно слабо вымывается из почвы (во всяком случае медленнее, чем любой другой источник азота), а вместе с тем он в достаточной степени мобилизуется даже для очень высоких урожаев (10 г урожая овса в сосудах, в которых велись вышеописанные опыты, соответствуют 32 000 кг/га) и не создает даже при громадном содержании его в почве вредной концентрации.

В нашем опыте содержание в почве сосуда 0,287 г N в виде  $NH_4$  не создавало вредных условий, а такое большое содержание обменного аммония может получиться в почве при воздействии на нее лишь колоссального количества аммонийной соли — от 10 до 40 т на 1 га. Таким образом наш опыт дает полное основание предполагать, что даже усиленное и многолетнее удобрение почв аммонийными солями не грозит такими неприятными последствиями, как удобрение например натриевой селитрой (приведенные в этой статье данные распыляющего действия щелочных катионов вполне объясняют это распыляющее действие обменного аммония, и растворимость гуматов аммония значительно слабее, чем обменного натрия). О возможном накоплении при таком удобрении в почве аниона аммонийной соли и о влиянии этого обстоятельства на рост растений, равно как последствий усиленной утилизации растениями азота поглощенного аммония (в виде лиг аммиака и продуктов нитрификации), мы здесь вовсе не касаемся. Это очень существенный, но совершенно особый вопрос.

Долгопрудное опытное поле, август 1932 г.

## 5. ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ УГЛЕСОЛЕЙ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ \*

В целях подойти к разрешению означенного вопроса был поставлен ряд вегетационных опытов, заключающий в себе несколько самостоя-

\* Эта статья начата была акад. К. К. Гедройцем незадолго до его смерти, и он предполагал закончить ее во время своего отпуска в Сочи. В этой статье акад. К. К. Гедройц намечал подвести итоги своим исследованиям по вопросу о значении для растений соотношения Ca: Mg в почвенном поглощающем комплексе. Материалы по этому вопросу приведены в статьях Ф. Н. Германова «Работы акад. К. К. Гедройца в Московском научно-исследовательском институте удобрений» и А. Н. Вольской и Шедерова «Почвенные обменные катионы и растения» (материалы по вегетационным опытам акад. К. К. Гедройца). *Ред.*

тельных серий. Все эти опыты велись в маленьких одинакового железа сосудах, вмещающих 500—600 г почвы. Мы остановились на таких сосудах по следующим соображениям.

Основной опыт велся нами на почве, целиком насыщенной водородом; для резкого выявления агрономических особенностей такой почвы и действия известки на таковой желательнее было иметь почву с возможно большой емкостью обмена, т. е. с возможно большим содержанием обменного водорода, а приготовление из почвы с большой емкостью обмена почвы, полностью насыщенной водородом, — операция очень длительная, принимая же во внимание, что с приготовленной таким образом почвой нужно было поставить по крайней мере 160 сосудов, т. е. даже при 500 г почвы на сосуд изготовить около 90 кг такой почвы мы не могли, нам было совершенно ясно, что при большой величине сосудов при имевшихся условиях работы зимой 1930/31 г. на Долгопрудном опытном поле с поставленной задачей мы справиться бы не могли. Если нам удалось приготовить и эти 90 кг почвы, то лишь благодаря тому, что еще в бытность свою в Ленинграде весной 1930 г. я наладил в Почвенном институте Академии наук изготовление около 40 кг почвы, насыщенной водородом, а само изготовление ее было произведено там моими сотрудниками.

К тому же меня побуждало и стремление к экономии места в вегетационном домике, так как на весь ряд опытов по рассматриваемой теме пришлось заложить известное число сосудов.

Конечно маленькие сосуды имеют свои неудобства; главное из них то, что растения в таких сосудах требуют большого ухода: чаще необходимо поливать вследствие малого запаса воды в сосуде, а главное — всякая потеря (повреждение различными вредителями, поломки, осыпание) сказывается гораздо сильнее на величине урожая, а значит и точности опыта, нежели при большей величине сосудов, но последнее обстоятельство особой роли в данном случае не могло играть, так как в этом предварительном опыте важна была общая картина и скорее качественная, а не количественная сторона.

Мы сейчас опишем в отдельности каждую серию опытов.

**Опыт с  $\text{CaCO}_3$ .** Опыт проводится в маленьких сосудах одинакового железа вместимостью в 1 кг песка. Средой служил стерильный белый кварцевый песок, полученный на осуд: 1 г N в  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 0,066 г  $\text{K}_2\text{O}$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 г  $\text{MgO}$  в  $\text{MgSO}_4$ . Высаженные в сосуды овес и горчица по различным количествам осажденного углекислого кальция развивались всюду вполне нормально и были убраны в зеленом состоянии. Дозы внесенного углекислого кальция и полученный урожай видны из нижеследующей таблицы 15.

Полученные данные показывают, что в песчаной культуре углекислый кальций не оказывал в сколько-нибудь заметной степени вредного действия на овес и горчицу, во всяком случае об углубительном действии даже таких доз, как 25 г  $\text{CaCO}_3$  на 1 кг песка, говорить не приходится. В моих прежних опытах, которые я ставил в б. Сельскохозяйственной химической лаборатории в С.-Петербурге в есчаных же культурах с этими растениями, при пропускании в течение  $1\frac{1}{2}$  месяца через день тока углекислоты через сосуд по 2 часа в день вредного действия углекислого кальция также не обнаружилось. Таким образом углекислый кальций сам по себе растениям в заметной степени не вредит.

Таблица 15

Средний урожай из 2 параллельных сосудов (в г на сосуд)

Количество СаСО <sub>3</sub>	Овес	Горчица	Количество СаСО <sub>3</sub>	Овес	Горчица
	Полное удобрение			Полное удобрение	
0	2,11	1,55	10,000	1,76	1,19
0,625	2,10	1,25	12,500	2,48	1,05
1,250	1,92	1,13	15,000	2,14	1,05
2,500	1,98	1,17	17,500	2,08	1,15
5,000	2,29	1,24	20,000	1,96	1,35
7,500	1,99	1,09	25,000	1,81	1,15

Опыт с осажденным углекислым магнием. Опыт был поставлен так же, как вышеописанный, но в сосуды не давался серпокислый магний, и состав полного удобрения был следующий (на сосуд в 1 кг песка): 0,1 г N в Са(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,066 г K<sub>2</sub>O в K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Опытным растениям служили овес, горчица и лен после горчицы. Растения были убраны в зеленом состоянии, когда результат уже определился. Данные этого опыта и количества внесившегося углекислого магния привожу в нижеследующей таблице.

Таблица 16

Урожай растений по осажденному углекислому магнию (в г на сосуд)

Количество MgCO <sub>3</sub>	Овес	Горчица	Количество MgCO <sub>3</sub>	Овес	Горчица
0	3,86	1,90	4,200	0,78	0
1,525	2,83	0,53	8,400	0,63	0
1,050	1,22	0,20	16,800	0,44	0
2,100	0,92	0,20			

Как видно из этой таблицы, уже самая малая доза углекислого магния (0,525 г MgCO<sub>3</sub> на сосуд) вызвала понижение урожая овса и горчицы. С дальнейшим увеличением количества углекислого магния урожай растений все понижался, причем овес рос и на самой большой дозе MgCO<sub>3</sub> (16,8 г на сосуд), хотя и дал очень небольшой урожай (0,44 г надземной массы на сосуд вместо 3,56 г без MgCO<sub>3</sub>), горчица же уже на дозе 4,21 г MgCO<sub>3</sub> отказывалась совершенно расти: начиная с этой дозы и дальше горчица вовсе не развивалась.

После горчицы в те же сосуды был высевлен лен; он оказался еще более, нежели горчица, чувствительным к углекислому магнию; уже на первой самой малой дозе (0,525 г MgCO<sub>3</sub> на сосуд) лен вовсе не развивался; таким образом в описанном опыте лен рос только в сосудах с полным удобрением без MgCO<sub>3</sub>, остальные же никакого урожая не дали.

Опыт с доломитом и магнезитом. Опыт был

поставлен совершенно так же, как и с углекислым кальцием и углекислым магнием; опытным растением служила горчица, убранная в зеленом состоянии. Урожай и дозировка доломита и магнезита видны из нижеследующей таблицы.

Таблица 17

По доломиту		По магнезиту	
Количество доломита на сосуд в г	Урожай	Количество магнезита на сосуд в г	Урожай
0	1,90	0	2,07
0,6	2,53	0,55	2,13
1,2	2,15	1,10	2,19
2,4	2,93	2,20	2,05
4,8	3,03	4,40	2,00
9,6	3,00	8,80	2,00
19,3	2,35	17,60	1,00

Опыт показывает, что ни доломит, ни магнезит даже в очень высоких дозах не оказывали вредного действия на горчицу в песчаных культурах.

Подводя итоги описанным выше опытам с овсом, горчицей и льном в песчаных культурах по выяснению отношения этих растений к различным дозам углекислого кальция, углекислого магния (осажденного), доломита и магнезита, мы должны прийти к заключению, что углекислый кальций, доломит и магнезит в условиях опыта оказались совершенно безвредными для исследовавшихся растений даже в очень больших дозах (400 мг-экв. на 1 000 г песка), углекислый же магний, наоборот, обнаружил сильное ядовитое действие в отношении всех трех испытанных растений: растения сильно страдали уже от первой самой малой дозы  $MgCO_3$  (0,525 г  $MgCO_3$  на сосуд или 12,5 мг-экв. на 1 000 г. песка).

Таким образом в такой инертной среде, какой является кварцевый песок в отношении исследовавшихся углесолей кальция и магния (в этой среде возможно допустить лишь проявление физического поглощения, да и то в ничтожной степени, так как песок представляет крупнозернистую среду, в которой почти отсутствовали частицы меньше 0,25 мм), кальций как в виде углекислого, так в виде двойной углекислой соли кальция и магния переносится растениями в очень больших дозах, магний же в виде природной углекислой соли магнезита также безвреден, как  $CaCO_3$  и доломит, а в виде осажденного искусственно приготовленного  $MgCO_3$  сильно ядовит. Совершенно ясно в данном случае той реакцией между средой (песок) и внесенными углесолями, вследствие которой могло быть вредное действие, должно было быть почти исключительно растворение этих углесолей в жидкости сосудов. Чтобы подойти ближе к причине рассматриваемого явления, я произвел исследование результата взаимодействия между дистиллированной водой и бывшими в настоящих опытах углесолями: 10 г  $CaCO_3$  и эквивалентные количества доломита, осажденного углекислого магния и магнезита взбалтывались время от времени в сосудах,

герметически закрытых пробками, с 2 л воды в течение 6 дней. Анализ полученных растворов, насыщенных взятыми углесолями, приводим в нижеследующей таблице (в г на 1 л).

Т а б л и ц а 18

Исследовавшаяся соль	Сухой остаток	Щелочность в куб. см 0,02N		Са	Mg	рН
		фен.-фт.	метил-ор.			
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	0,0914	0	96	0,033	0,002	7,2
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	0,3374	100	364	0	0,095	9,0
Доломит . . . . .	0,0826	0	96	0,024	0,006	7,5
Магнезит . . . . .	0,0616	0	84	0,005	0,014	7,3

Как мы видим из приведенных данных, углекислый магний (лабораторный) значительно более растворим в чистой воде, нежели остальные три углесоли, особенно магнезит, причем только он один дал раствор сильно щелочной в отношении фенол-фталеина; рН у раствора, насыщенного этой солью, оказался равным 9,0, тогда как остальные три углесоли дали рН не выше 7,5. Таким образом совершенно ясно, что условия растворимости испытывавшихся в этих опытах углесолей таковы, что именно лабораторный углекислый магний мог быть ядовитым для растений, остальные же три соли должны были быть сами по себе безвредными. Говорю, что углекислый магний, судя по его отношению к воде, мог быть ядовитым, так как он таковым мог бы и не оказаться, если бы взятая для опыта среда, в которую вносился углекислый магний, соответственно изменяла продукт его растворения. Мы в дальнейшем будем иметь такой случай. В описанных же опытах песчаная среда была слишком мало активной для изменения в сколькинибудь заметном размере отрицательного влияния на растение внесенного в нее MgCO<sub>3</sub>. Что в данном случае в действительности водный насыщенный раствор, полученный нами при воздействии воды на исследовавшиеся углесоли, был в общем аналогичен (в отношении продуктов растворения этих углесолей) раствору в сосудах с песком вышеописанных опытов, показывает величина рН в песке этих сосудов. Мы сейчас остановимся на этой величине. У нас имеется величина рН в сосудах из-под опыта на песке с различными дозами углекислого кальция, рН определялось после уборки горчицы в водной суспензии (1 : 1). Определение производилось во всех сосудах. Вот полученные результаты (табл. 19).

Как видим из этой таблицы, рН в сосудах оказалось выше, чем в насыщенном растворе углекислого кальция в дистиллированной воде, так как в сосудах висевшийся КН<sub>2</sub>Р<sub>0</sub><sub>4</sub> давал с углекислым кальцием углекислый калий, а углекислота, выделяемая корнями растений, усиливала растворимость СаСО<sub>3</sub>. Во всяком случае рН в сосудах с песком по СаСО<sub>3</sub> нигде не поднималось выше 8,5.

В следующей таблице мы приводим величину рН, найденную в сосудах вышеописанных опытов в песчаных культурах с лабораторным

Внесение в сосуд удобрения	Сосуд	pH	Среднее
NPKMg . . . . .	1-й	7,0	7,05
NPKMg . . . . .	2-й	7,10	
NPKMg—0,625 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	7,54	7,54
NPKMg—0,625 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	7,54	
NPKMg—1,25 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	7,86	8,02
NPKMg—1,25 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,19	
NPKMg—2,50 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	7,98	8,12
NPKMg—2,50 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,26	
NPKMg—5,00 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,25	8,32
NPKMg—5,00 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,40	
NPKMg—7,5 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,12	8,22
NPKMg—7,5 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,30	
NPKMg—10,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,45	8,32
NPKMg—10,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,19	
NPKMg—12,5 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,32	8,25
NPKMg—12,5 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,19	
NPKMg—15,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,25	8,32
NPKMg—15,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,30	
NPKMg—17,5 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,35	8,35
NPKMg—17,5 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,38	
NPKMg—20,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,45	8,47
NPKMg—20,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,50	
NPKMg—20,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1-й	8,56	8,53
NPKMg—25,0 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	2-й	8,50	

углекислым магнием, доломитом и магнезитом после снятия урожая. Количества углекислого магния, доломита и магнезита даны в таблице в эквивалентном количестве CaCO<sub>3</sub> (в г на сосуд).

Таблица 20  
pH по полному удобрению с различными количествами  
MgCO<sub>3</sub>, доломита и магнезита

Количество углекислоты	MgCO <sub>3</sub>	Доломит	Магнезит
0	7,35	7,35	7,25
0,625	7,98		7,29
1,25	8,41	7,86	7,42
2,50	8,80	7,80	7,36
5,00	8,93	7,73	7,36
10,00	9,00	7,86	7,50
20,00	9,11	7,87	7,86

Приведенные данные очень интересны: во-первых, мы видим, что доломит и магнезит дали почти одинаковую величину pH, причем эта величина у доломита почти совершенно одинакова при всех его дозах,

а именно около 7,8, у магнетита же она постепенно повышается с увеличением дозы, начиная с 7,3 и кончая при наивысшей дозе 7,8; во-вторых, мы видим, что рН по доломиту и магнетиту ниже, чем по  $\text{CaCO}_3$ , по той же дозе которого рН достигает 8,5, и наконец таблица показывает, что рН по лабораторному углекислому магнию самое высокое; уже по первой, самой малой дозе его (0,625 г), рН достигает и даже переходит максимальную величину его по доломиту и магнетиту (7,98), между второй и третьей его дозами рН достигает максимальной величины, полученной по  $\text{CaCO}_3$ , 8,4 и 8,8, а по  $\text{CaCO}_3$  максимум 8,5, при максимальной же дозе углекислого магния рН достигает 9, 11; величины рН в песчаных культурах по углекислому магнию, доломиту и магнетиту очень близки к ранее приведенным величинам рН в водных вытяжках из этих углесолей. Мы видим из последних данных, что по углекислому магнию в песчаных культурах на высоких его дозах получается такая высокая актуальная щелочность, что страдание и даже гибель растений, которая имела место в наших песчаных культурах и с овсом и с горчицей, может быть вполне объяснена реакцией. Но все-таки все явления, имевшие место в этих опытах, целиком нельзя объяснить реакцией среды: данные урожая по углекислому магнию показывают, что урожай и овса и горчицы понижился в очень сильной степени уже по самой малой дозе углекислого магния (овес без  $\text{MgCO}_3$ —3,6 г, по 0,525 г  $\text{MgCO}_3$ —2,8; горчица без  $\text{MgCO}_3$ —1,9 г, по 0,525 г  $\text{MgCO}_3$ —0,53), когда рН было всего 7,98; по такой величине рН эти растения и по  $\text{CaCO}_3$  и по доломиту и магнетиту урожая не понижали. Мы видим здесь непосредственно вредное действие иона магния, не уравновешенного соответствующим количеством иона Са; мы видели выше, что лабораторный магний сильно растворим; таких больших количеств магния в растворах песчаных культур, какие получались по  $\text{MgCO}_3$ , не могло получиться ни по доломиту, ни по магнетиту; по видимому при большой растворимости углекислого магния в сосудах с этой углесолью было недостаточно того количества иона кальция, какое давалось в этом опыте в виде  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  для создания благоприятного отношения между Са и Mg в растворах, и растения страдали от малой величины Са : Mg.

Переходим теперь к описанию вегетационных опытов с внесением тех же углекислых соединений, но уже в активную среду, в почву, где эти углесоли вступали в реакцию обмена, влияющую на состав почвенного раствора.

Для опыта был взят верхний горизонт (0—20 см) тучного чернозема Каменноостенной опытной станции.

Опыт с  $\text{CaCO}_3$ . Основной опыт состоял в испытании действия на означенные растения различных доз осажженного углекислого кальция. В сосуды с 500 г чернозема вносилось полное удобрение в состав 0,1 г N (в  $\text{NaNO}_3$ ) и 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  (в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) и различные количества  $\text{CaCO}_3$ . Растения были убраны в зрелом состоянии и дали следующий урожай (табл. 19).

Мы видим, что даже громадные количества углекислого  $\text{CaCO}_3$  (25 г  $\text{CaCO}_3$  на сосуд, т. е. 5% от веса почвы, или 100 мг-экв. на 100 г почвы) вовсе не понижали урожая обоих испытанных растений на исследовавшемся черноземе, насыщенном кальцием и магнием, даже наоборот: несмотря на нейтральность чернозема у овса мы наблюдаем

некоторую тенденцию к повышению урожая от внесения извести, выражена она очень слабо и для определенного ее выявления нужны более точные опыты, в отношении же горчицы и на основании полученных результатов можно определенно говорить, что углекислый кальций заметно повышал урожай зерна. Нам сейчас важно подчеркнуть два вывода, вытекающие из приведенного опыта:

1) углекислый кальций, внесенный в исследованный нами нейтральный чернозем, оказался совершенно безвредным даже при очень больших дозах (100 мг.-экв. на 100 г почвы отвечает 125 т на 1 га) и овсу и горчице;

2) под горчицей углекислый кальций не только не действовал вредно, но совершенно определенно вызывал положительный эффект, который не исчезал даже при самой высокой из применявшихся доз. Приписывать это нейтрализации кислотности нельзя, ибо рН у исследовавшегося чернозема было почти 7, положительный эффект действия углекислого кальция на горчицу и почти полное отсутствие такого (или очень слабая, неясная выраженность его) под овсом обуславливался другими причинами, которые станут ясны из дальнейшего изложения.

**Опыт с  $MgCO_3$ .** Когда наметилась из наблюдений над ростом различных растений возможная зависимость неблагоприятного действия больших доз извести от содержания в почвенном растворе магния, представилось желательным изучить действие на растения на первоначальном черноземе углекислого магния (осажденного). Этот опыт был поставлен совершенно так же, как предшествующий, опытными растениями служили овес и горчица. Так как опыт был поставлен поздно и так как результаты его достаточно ясно выразились еще до созревания, то растения были убраны в конце сентября, овес в стадии выхода в трубку, а горчица в стадии окончания цветения. Полученные данные приводим в таблице 21.

Таблица 21

Действие различных доз  $MgCO_3$  по полному удобрению на нейтральном черноземе (урожай в г на сосуд)

Количество $MgCO_3$		Овес	Горчица
в граммах на сосуд	в мг.-экв. на 100 г почвы		
0	0	7,3	5,3
0,525	2,5	6,9	4,9
1,05	5,0	7,6	6,7
2,10	10,0	7,5	6,4
4,20	20,0	7,7	6,1
8,40	40,0	7,9	5,5
16,80	80,0	2,3	0,5

Приведенные данные показывают, что к углекислому магнию на нейтральном черноземе овес и горчица относятся несколько иначе, чем к углекислому кальцию: при углекислом кальции все испытанные дозы включительно до 100 мг.-экв. не оказывали вредного действия,

углекислый же магний уже в дозе 80 мг-экв. сильно вредил овсу и почти губил горчицу.

Опыт с доломитом и магнезитом. Применявшийся в этих опытах доломит (размол  $< 0,17$  мм) имел состав, соответствующий формуле  $\text{CaCO}_3$  0,82 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , а магнезит (аморфный размол  $< 0,25$  мм) содержал кроме углекислого магния 3,5%  $\text{CaCO}_3$ <sup>1</sup>. Опыт ставился с одной только горчицей. Растения при всех дозах доломита развивались очень хорошо и были убраны в полном цвету. Полученный урожай приводим в табл. 22.

Таблица 22

Действие различных доз доломита на полном удобренном на нейтральном черноземе (урожай в г на сосуд)

Количество доломита		Горчица
в граммах на сосуд	в мг-экв. на 100 г почвы	
0	0	5,3
0,6	2,5	5,6
1,2	5,0	5,9
2,4	10,0	5,5
4,8	20,0	5,6
9,6	40,0	5,6
19,2	80,0	5,7

Приведенные данные показывают, что даже при дозе, соответствующей 4% от веса почвы, доломит отрицательного действия на горчицу не оказывал.

Опыт с аморфным магнезитом был поставлен по той же схеме, как и с доломитом, дозы магнезита были эквивалентны (по углекислоте) дозам доломита и дозам углекислого магния (осажденного) в ранее описанном опыте. Испытывалось действие под горчицей. Растения во всех сосудах развивались нормально и были убраны в полном цвету. Вес полученного урожая привожу в табл. 23.

Таблица 23

Урожай в граммах

Количество магнезита		Горчица
в граммах на сосуд	в мг-экв. на 100 г почвы	
0	0	4,8
0,55	2,5	4,9
1,10	5,0	5,1
2,20	10,0	5,3
4,40	20,0	5,1
8,80	40,0	4,9
17,60	80,0	4,8

<sup>1</sup> Анализ А. Н. Вольской. Ред.

Учитывая точность вегетационного опыта в маленьких сосудах приходится считать различия в полученных результатах находящимися в пределах ошибки. Таким образом магнезит, так же как углекислый кальций и доломит, даже при внесении его в самой большой из применявшихся доз вовсе не вредил горчице.

Мы видели выше, что лабораторный углекислый магний в дозе 80 мг-экв. на 100 г почвы вызывал почти полную гибель горчицы и сильно понижал урожай овса на этом же черноземе, природный же углекислый магний — магнезит — вредного действия вовсе не оказывал.

Если мы теперь сравним действие исследовавшихся углесолей на черноземе с действием их на песчаных культурах, то увидим, что углекислый кальций, доломит и магнезит на обеих этих средах под всеми испытанными растениями действовали совершенно одинаково, т. е. отрицательного эффекта эти вещества вовсе не вызывали даже при очень больших дозах, таким образом эти соединения на обеих исследованных средах сами по себе (т. е. продуктом их растворения в почвенном растворе) вовсе не вредили растениям, не вредили они также и теми продуктами, какие могли образоваться в силу взаимодействия этих соединений с черноземом, бывшим в наших опытах, чернозем же этот был насыщен основаниями, а именно кальцием и доломитом, магнезитом и магнием, между углекислым кальцием, доломитом и магнезитом, с одной стороны, и таким черноземом, с другой стороны, могли происходить лишь реакции обмена, а именно: в случае углекислого кальция в почвенный раствор могло переходить избыточное количество магния по сравнению с почвой без  $\text{CaCO}_3$ , в случае магнезита в почвенный раствор могло переходить из почвы больше кальция, в случае же доломита могло переходить больше или кальция или магния в зависимости от свойств доломита, от относительной растворимости его  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . На этих явлениях мы остановимся несколько ниже.

Но если в действии вышеперечисленных трех веществ на почве и на песке мы не видели разницы, то в отношении четвертой испытанной углесоли, а именно лабораторного углекислого магния, проявилось существенное различие.

Таблица 24

Действие  $\text{MgCO}_3$  в песчаных и почвенных культурах  
(урожай в г на сосуд)

Количество $\text{MgCO}_3$ в граммах на сосуд	Овес		Горчица	
	Почва	Песок	Почва	Песок
0	7,3	3,56	5,3	1,9
0,525	6,9	2,83	4,9	0,53
1,050	7,6	1,22	6,7	0,20
2,100	7,5	0,92	6,4	0,20
4,200	7,7	0,73	6,1	0
8,400	7,9	0,63	5,5	0
16,800	2,3	0,44	0,5	0

На почве углекислый магний проявил свое вредное действие на овсе и горчице только в дозе 16,8 г на сосуд (в сосуде 500 г почвы или 1 000 г песка), половинная же доза (8,4 г) была совершенно безвредна обоим растениям, на песке же вредить начинала уже самая малая доза в 0,525 г  $MgCO_3$  на сосуд. Совершенно ясно, что причина этого различия в том, что песчаная среда была индифферентной в отношении углекислого магния, на ней это соединение вредило растениям как таковое, почва же взаимодействовала с углекислым магнием и до известных пределов «обезвреживала» его вредные свойства. Для того чтобы разобраться в вопросе, что происходило между почвой и  $MgCO_3$ , остановимся сначала на величине рН в сосудах с черноземом, получивших различные углесолы и в том числе углекислый магний (см. таблицу). (На этом месте прерывается рукопись акад. К. К. Гедройца, Ред.).

#### 6. РАБОТЫ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОТДЕЛА НИУ ПО ВЗАИМООТНОШЕНИЮ МЕЖДУ ПОЧВЕННЫМ ПОГЛОЩАЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ, РАСТЕНИЕМ И УДОБРЕНИЕМ<sup>1</sup>

Когда мы вносим в почву какое-либо удобрение, то та или другая часть его (в зависимости от свойств почвы и внесенного удобрения, его количества, влажности почвы, степени перемешанности и т. д.) поглощается, закрепляется почвой. Мы знаем, что катионы удобрительных веществ вступают при этом в почвенный поглощающий комплекс, анионы же могут поглощаться, образуя с катионами почвы нерастворимые соли или образуя с гуматами, полуторными окислами, кремнекислотой сложные коллоидальные комплексы. Такой способностью обладает повидимому анион  $PO_4$ , возможно, что и анион  $SO_4$ . Далее, почва закрепляет белковые вещества, дающие с лигнином разлагающихся органических остатков лигнопротеинаты (коллоидальные стойкие вещества, составляющие главную массу гумуса), вступающие таким образом в состав почвенного поглощающего комплекса. Остающиеся незакрепленными почвой питательные элементы удобрения используются растениями и микроорганизмами или вымываются при благоприятных условиях атмосферными осадками. Этот процесс исчезновения из почвы незакрепленных ею питательных элементов удобрения совершается повидимому довольно быстро, на что например указывает слабое последствие минеральных удобрений даже при очень низком проценте использования растением удобрительного тука в первый год внесения.

Совершенно ясно, что в деле химизации земледелия изучение как судьбы вносимых в почву удобрений, так и действия на почву и на растение тех элементов удобрения, которые почвой поглотились, представляет не меньший, а я убежден, что даже значительно больший интерес и значение, особенно в отношении новых, сложных удобрений, нежели изучение той части этих элементов, которые остаются незакрепленными почвой в почвенном растворе или в виде первоначального вещества. С другой стороны, все естественно содержащиеся в почве питательные элементы, дающие в почвенном растворе соединения этих элементов, являющиеся непосредственной пищей растениям, посту-

<sup>1</sup> Статья эта в сокращенном виде помещена в справочнике НИУ.

пают в большей, преобладающей своей части в этот раствор из почвенного поглощающего комплекса. В полной мере это относится к почвам влажных областей, в которых накопление каких-либо простых солей, а в том числе и питательных, не может иметь места; для этих почв почвенный раствор есть производная часть только поглощающего комплекса. Почвенный поглощающий комплекс, находясь во многих отношениях в тесной зависимости от почвенного раствора, реагирует на всякое изменение в качественном и количественном его составе, для рассматриваемых почв является единственным (до вмешательства человека) источником соединений почвенного раствора. До последнего времени трудно было увязать эту точку зрения по отношению доступного растению азота, так как было неясно, из каких почвенных соединений происходит тот азот, который, аммонифицируясь и нитрифицируясь, дает в почвенный раствор доступные растению азотистые соединения (аммоний и азотная кислота). В настоящее же время можно довольно определенно утверждать, что азот гумуса почвы содержится в органической части почвенного поглощающего комплекса, представляющей собою комплексные соединения лигнина и протеина. Из вышесказанного совершенно ясно, что изучение почвенного поглощающего комплекса необходимо не только потому, что он поглощает вносимые в почву удобрительные вещества, но и потому, что именно в нем по преимуществу содержатся те питательные элементы, которые растения получают из почвы.

Общий вопрос о взаимодействии между растением, удобрением и почвенным поглощающим комплексом в настоящее время резко расчленяется на два отдельных вопроса: о взаимодействии в отношении анионов и о взаимодействии в отношении катионов. Первый вопрос находится еще в начальной стадии разработки; мы еще почти ничего не знаем о самой анионной части поглощающего комплекса как таковой; поэтому подходить сколько-нибудь систематически, планомерно к изучению взаимодействия между этой частью поглощающего комплекса, растением и удобрением теперь еще нет возможности. Тут можно иметь результаты, лишь косвенно относящиеся к вопросам этого взаимодействия; на очереди же еще стоит изучение анионной части поглощающего комплекса как таковой и реакций между поглощающим комплексом и анионами солей. В настоящее время такое изучение в широком масштабе ведется Mattson, и по видимому методика, принятая этим исследователем, должна дать положительные результаты. Когда анионная часть почвенного поглощающего комплекса будет в достаточной степени познана, тогда можно будет приступить к планомерному изучению взаимодействия между этой частью поглощающего комплекса, растением и удобрением.

В ином совершенно положении находится вопрос о взаимоотношении между растением и удобрением и катионной частью почвенного поглощающего комплекса. Эта часть поглощающего комплекса значительно более изучена, мы знаем в достаточной степени законы, управляющие этой частью, мы обладаем методикой изучения ее и продуктов взаимодействия ее с растением и удобрением; мы можем по своему желанию изменять состав этой части, вводить в нее элементы, влияние которых на растение желательно нам изучать, и т. д.

Несмотря на указанное выше ограничение возможностей агро-

химического» использования, в настоящее время учения о почвенном поглощающем комплексе имеющиеся уже возможности все-таки очень широки; их необходимо использовать.

Основной задачей, поставленной на разработку руководимой мною группой НИУ, является агрохимическое в указанном выше смысле изучение почвенного поглощающего комплекса (точнее сказать — агрономическое, так как сюда входит и агрофизическое изучение). Такого рода изучение начато мною уже давно; собственно говоря, оно шло параллельно с моим изучением явлений поглощения и почвенного поглощающего комплекса, но достаточно широко оно могло развернуться лишь после того, как я достаточно оформил учение о почвенном поглощающем комплексе (1923/24) и у меня оказалась необходимая обстановка для перенесения моих опытов и исследований из лаборатории в природу. Такую обстановку, достаточную для начала исследований, я получил на Долгопрудном опытном поле НИУ в лице соответствующего персонала и выстроенного в 1931 г. вегетационного павильона на 2 500 сосудов.

Свои исследования вопросов, связанных с взаимодействием между растением и обменными катионами почвы, в расширенном виде я начал на Долгопрудном опытном поле с 1930 г. Программу этих исследований в сколько-нибудь законченном виде, систематическую и детальную в настоящее время нельзя еще дать; вопросы все совершенно новые, каждый дальнейший шаг обуславливается результатами, получающимися в предшествовавшем исследовании, но в самых общих чертах программа эта на основании полученных уже данных с оговоркой, что дальнейшие результаты могут сильно изменить ее, рисуется мне таким образом. Подчеркиваю еще раз, что о более или менее систематических опытах по отысканию взаимоотношений между растением, удобрением и почвенным поглощающим комплексом можно сейчас говорить лишь в отношении катионной части этого комплекса; поэтому в дальнейшем я буду говорить об обменных катионах.

1. Изучение отношения растений к различным (возможно большего числа) катионам при полном насыщении каждым из них емкости обмена почвы, с параллельным лабораторным изучением физических, химических, физико-химических и микробиологических свойств, полученных при таком насыщении почвенных образований. На основании полученных результатов такое же изучение должно быть проведено с наиболее интересными катионами на почвах с различной емкостью обмена, с различным отношением между минеральной и органической частями поглощающего комплекса и с различным механическим составом неколлоидальной части почвы; так как различные растения неодинаково относятся к одному и тому же обменному катиону, то в указанном направлении должны быть изучены различные растения.

Вышеозначенный вопрос я считаю основным вопросом; изучение его должно дать общие указания на взаимоотношения между растением, удобрением и обменными катионами, на основании которых должны появиться дальнейшие конкретные вопросы. Так как этот основной вопрос мною частично уже выявлен, то я могу сейчас уже поставить некоторые другие вопросы.

II. Исследование тех катионов, которые в состоянии, насыщающем емкость обмена, ядовиты растениям, в отношении их стимулирующего действия при частичном содержании их в поглощающем комплексе. Повидимому, чем ядовитее данный катион при большем его содержании в поглощающем комплексе, тем скорее можно ожидать стимулирующего его действия в ничтожных количествах и тем сильнее может быть такое действие. Здесь опять-таки надо иметь в виду зависимость действия на растения взятого катиона от величины емкости обмена, состава обменных катионов и т. д., т. е. вообще от кощкретных условий, в которых находится изучаемая почва.

III. Особое и вместе с тем весьма существенное положение во всей проблеме почвенного поглощающего комплекса занимает вопрос о поднятии естественного плодородия почвы, о повышении подвижности питательных элементов почвы изменением состава обменных катионов почвы. Мы знаем, что обменный Са является наиболее благоприятным катионом для растений в смысле создания наиболее подходящей среды для роста растений, но с другой стороны, он закрепляет азотистые и фосфорнокислые соединения почвы, делает их мало подвижными. Другие естественные обменные катионы почвы, как то: Н, NH<sub>4</sub>, Na, K, Mg, являются, наоборот, начиная с известного количества, ядовитыми, но вместе с тем присутствие их в поглощающем комплексе даже в очень небольших количествах повышает подвижность и азотистых и фосфорнокислых (а также калиевых) соединений. Задача исследования и заключается в том, чтобы найти оптимальное содержание их в поглощающем комплексе в зависимости от свойств почвы и условий залегания ее, причем необходимо считаться с тем, что повышение подвижности азота и фосфора (и калия) связано вместе с тем и с выносом этих веществ из почвы не только растением, но и атмосферными осадками, т. е. что повышение подвижности питательных элементов почвы может при недостаточно осмотрительном отношении повести к бесполезной трате этих элементов.

IV. В связи с целым рядом чисто практических задач, приобретенных особое значение при социалистической реконструкции сельского хозяйства (мелиорация кислых почв, солончаков и солонцов, использование трудно растворимых фосфатов, сложных, новых удобрений, аммонийных солей и т. д.), имеется острая необходимость углубленного и всестороннего изучения действия на почву и на растение таких обменных катионов, как водород, натрий, магний, аммоний, калий.

Целый ряд вопросов связан с содержанием в почве обменного водорода, со степенью ненасыщенности почвы основаниями, но в большинстве случаев мы до сих пор знаем лишь, что те или иные свойства почвы, то или иное отношение растения к ней зависят от содержания в ее поглощающем комплексе обменного водорода, но количественные зависимости остаются еще далеко не изученными. Совершенно то же можно сказать в отношении обменного натра, калия, магния и аммония. Совершенно ясно, что все эти вопросы должны быть систематически исследованы, так как влияние этих катионов на высоту и качество урожая несомненно.

Из многочисленных вопросов, относящихся к этому пункту, для примера укажу в частности на один, а именно на роль указанных выше пяти обменных катионов в доступности растениям трудно растворимых

мых фосфатов; совершенно несомненно, что все эти пять катионов (в различной конечно степени соответственно особенностям каждого), обмениваясь своими местами с катионами трудно растворимого фосфата, будут изменять его растворимость, а значит и доступность растениям, причем ясно также, что это влияние будет находиться в зависимости не только от количества в почве того или другого из этих обменных катионов, но и от целого комплекса других условий, как то: величины емкости обмена, коэффициента насыщения почвы этими катионами, коэффициента насыщения почвы катионами, действующими обратно, т. е. понижающими растворимость этих фосфатов (кальция), и т. д. Познать растворяющее действие почвы на трудно растворимые фосфаты настолько, чтобы мы могли управлять этим свойством почвы и предусматривать его, можно будет только, изучив реакцию взаимодействия между поглощающим комплексом, содержащим означенные катионы, и трудно растворимыми фосфатами при самых разнообразных условиях и сопоставив полученные результаты с результатами соответствующих опытов с растениями. Укажу еще на один частный случай — мелиорацию почв, содержащих обменный натрий. Мы знаем теперь совершенно определенно, что из таких почв надо удалить обменный натрий, если количество последнего превосходит некоторую величину (какую в каждом данном случае, нам еще неизвестно); но здесь в связи с конкретными свойствами каждой почвы возникает целый ряд других вторичных уже вопросов, которые однако очень существенны в отношении стоимости мелиорации и в отношении величины урожая, который будет получаться с мелиорированной площади: нужно ли удалить из почвы продукты обмена и, если нужно, то до какой степени; каково будет соотношение между обменными катионами после удаления обменного натрия (например отношение  $Ca:Mg$ ); в какой мере это соотношение будет благоприятно тому или другому растению; в каком направлении следует изменить это соотношение и т. п.

V. Как указывалось выше, почвенный раствор почв достаточно влажных областей есть производная почвенного поглощающего комплекса; состав обменных катионов этих почв обуславливает состав и концентрацию катионов почвенной влаги.

Чем глубже проникает наука в вопросы питания растений в широком смысле этого слова, тем все очевиднее становится, что развитие растений зависит не только от содержания в почве так называемых необходимых питательных элементов, но и от целого комплекса других условий и между прочим от содержания в почвенном растворе различных других элементов; если последние не являются необходимыми, то во всяком случае их присутствие так или иначе отражается на росте растений; мало того, все яснее становится зависимость развития растений, а значит и величины и качества урожая не только от абсолютного содержания каждого из соединений почвенного раствора, но и от соотношения их между собой; весь ход развития учения о питании растений убеждает нас в этом, и само положение о зависимости развития растений не только от концентрации веществ, входящих в почвенный раствор, но и от величины отношения между этими концентрациями, можно считать твердо установленным; но какова величина этих отношений для оптимального развития растений, между какими элементами отношение играет роль в первую очередь, между

какими оно имеет второстепенное значение, какова величина этих отношений для различных растений, как меняется оптимальная величина тех или других отношений в зависимости от различных факторов вегетации (например от кислотности почв, от влажности почвы, температуры и т. д.), — все это почти не затронутые еще вопросы. Таким образом изучение почвенного поглощающего комплекса с этой стороны, изучение влияния его состава обменных катионов, соотношение между различными этими катионами и влияние их на растение представляет одну из существенных задач агрохимии.

Для примера укажу на вопрос о влиянии отношения между кальцием и магнием в почве на урожай, вопрос, поднятый в начале текущего столетия Левом, который однако до сих пор оставался неиспользованным в агрохимии, пока он не был увязан с почвенным поглощающим комплексом.

VI. Из числа программных вопросов по изучению взаимоотношений между почвенным поглощающим комплексом и растением я выделяю особо один вопрос, хотя он тесно переплетается почти со всеми вышеотмеченными; выделяю его по тому колоссальному его значению, какое он имеет у нас при социалистической реконструкции сельского хозяйства и связанной с нею химизацией нашего земледелия. Я имею в виду повышение максимальной производительности почвы, т. е. величины урожая, которую почва способна давать при обеспеченности ее питательными веществами. Мы знаем, что у различных почв величина эта очень неодинакова и что она несомненно находится в теснейшей зависимости от величины и свойств почвенного поглощающего комплекса и в том числе от состава обменных катионов; изменением этого состава, введением в поглощающий комплекс тех или других новых катионов или увеличением или уменьшением количества содержащихся уже в нем обменных катионов можно повысить максимальную производительность почвы, т. е. усилить отзывчивость почвы на удобрение и повысить использование удобрений растением, а значит и величину урожая. Само собой разумеется, что мы должны использовать эту возможность повысить урожайность наших полей, увеличив отзывчивость их на удобрение изменением состава обменных катионов почвы; но для этого мы должны изучить зависимость максимальной производительности почв от этого состава.

Я указывал ранее, что группа НИУ по изучению взаимодействия между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением возникла лишь летом 1930 г.; некоторые работы были начаты мною раньше в Ленинграде и на Носовской станции; во всяком случае с достаточным числом сотрудников и в подходящих условиях я работаю над этой проблемой всего второй год; но в этой области так много уже назревших вопросов, что даже за этот короткий период времени (собственно говоря период подготовительный, период создания необходимых условий для работы) кое-что уже сделано. Я здесь кратко остановлюсь на полученных результатах.

Изучение отношения овса к почве, насыщенной целиком одним из нижеследующих обменных катионов: H, NH<sub>4</sub>, Na, H, Mg, Ca, Sr, Cd, Ba, Mn, Fe<sup>++</sup>, Co, Ni, Cu, Al, Fe<sup>+++</sup>, показало следующее<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> К. К. Гедройд, Почвенные обменные катионы и растение. I. Доступность растению кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии, к обмену не спо-

1. В использовании овсом кальция почвы, с одной стороны, и калия и магния почвы, с другой стороны, существует резкое различие: овсу доступен только обменный кальций; растение это гибнет, когда в почве весь обменный кальций замещен любым другим катионом и в почву не внесен кальций (например в виде углекислого) как питательное вещество; в отсутствие же обменного калия или обменного магния и каких-либо солей этих металлов овес может развиваться нормально, питаясь необменным калием и магнием.

2. Среди всех исследованных металлов кальций как обменный катион занимает совершенно особое положение в отношении создания в почве условий для жизни растений: на почве, полностью насыщенной кальцием, овес растет и развивается вполне нормально и в присутствии достаточного количества питательных веществ дает максимальный урожай; к кальцию в этом отношении приближается очень сходный с ним химически стронций; все остальные исследованные нами металлы, насыщая полностью емкость обмена почвы, дают такую почву, на которой даже при полной обеспеченности питательными веществами овес или вовсе не растет ( $\text{NH}_4$ , Na, K, Cd, Ba, Ni, Co, Cu) или дает более низкий урожай (Mg, Mn,  $\text{Fe}^{++}$ , Al,  $\text{Fe}^{+++}$ ).

Давно уже мною была доказана зависимость физического состояния почвы от рода насыщающего почву катиона и показана особая роль в этом отношении кальция: из всех обменных катионов, входящих естественно в почвенный поглощающий комплекс, в том случае, когда каждый из них полностью насыщает емкость обмена, именно кальций создает наиболее благоприятные в данной почве для жизни растения физические свойства; то же нужно сказать и в отношении химических свойств; при взаимодействии почвенных вод с почвой, когда она полностью насыщена кальцием, получается наиболее нейтральная реакция и наименьшая концентрация почвенного раствора. Теперь же на основании вышеприведенных вегетационных опытов с овсом на почвах, полностью насыщенных различными катионами, можно сказать, что кальций как обменный катион, полностью насыщающий почву, во всех отношениях и по непосредственному действию на растение и по действию на растение через почву является наиболее благоприятным для растений катионом. Я здесь подчеркиваю, что речь сейчас идет лишь о катионах, из которых каждый полностью насыщает емкость обмена почвы, т. е. о тех условиях, которые создаются в почве для жизни растений, когда ее поглощающий комплекс целиком насыщен одним каким-либо катионом. Вот в таком случае из всех исследованных мною металлов как обменных катионов кальций оказывается наиболее благоприятным для растений; к нему приближается повидимому стронций. Но мы можем теперь утверждать больше, а именно, что даже и кальций, если он только полностью насыщает емкость обмена почвы, не создает еще наиболее благоприятных условий в почве для жизни растения (при том условии даже, если в такую почву вносить необходимые питательные вещества в тех небольших количествах, в которых они требуются для хороших урожаев; какой должен быть состав обменных катионов на данной почве, при котором

---

обном. Отношение растения к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы,

получается наивысший урожай для данного растения, мы еще далеко не знаем, но уже сейчас можем утверждать, что для различных растений он не может быть одинаковым, так что речь может идти о ведущей культуре и что этот состав не может быть представлен одним катионом, хотя бы и кальцием; этот оптимальный состав несомненно сложен; по видимому в этом составе должен значительно преобладать кальций, а затем на втором месте стоит магний, но оба они, занимая в поглощающем комплексе почти всю емкость обмена, не должны все-таки целиком насыщать ее, оставляя один или несколько миллиэквивалентов другим катионам (как питательным, так и стимулирующим и т. п.).

Действительно, как показывают наши опыты<sup>1</sup>, введение в поглощающий комплекс очень небольших количеств самых разнообразных катионов (как очень сильно ядовитых при большом содержании, так и сравнительно безразличных), как то: алюминий, барий, кадмий, кадмат, марганец, никель, рубидий, можно заметно повысить производительность тучного чернозема и создать таким образом лучшую среду для развития с.-х. растений. Очень интересно отметить тут следующий факт: означенные опыты мы вели в маленьких сосудах на 500 г почвы; в этих сосудах гораздо нагляднее проявляется часто наблюдающееся явление — плохой рост того же растения на второй год в том же сосуде; это наблюдается часто даже в том случае, когда сосуд перед посевом на второй год перебит и снова дан почве полное удобрение; создается своего рода утомление почвы; в малых сосудах, где на единицу объема почвы приходится очень большое количество растительной массы, явление это значительно резче выражено, чем в сосудах больших размеров; и вот второгодние опыты текущего года обнаружили такое резкое падение урожаев в контрольных сосудах (не полному удобрению) и продолжающийся в этом году очень хороший рост растений в сосудах, почва которых содержала обменный марганец и алюминий. Очевидно, что то «нечто неблагоприятное» например для овса, которое оставляется в сосуде предшествующим урожаем овса же и не разрушается и не вымывается из почвы контрольного сосуда, не образуется или же, если образуется, то успевает разрушиться к следующему посеву благодаря тем изменениям в почве, какие произошли в ней вследствие введения в поглощающий комплекс обменных стимулянтов.

Совершенно подобное же мы наблюдаем и в отношении водородного иона. В 1931 г. нами был заложен большой опыт с искусственно приготовленной почвой, целиком насыщенной водородом (из тучного чернозема Каменноостенной станции), для изучения явлений, связанных с известкованием. В этих опытах со всеми исследовавшимися растениями мы получили максимальный урожай по оптимальной дозе  $\text{CaCO}_3$  значительно выше, чем на первоначальном черноземе, не превращенном в ненасыщенный (и там и тут по полному удобрению). Вот несколько цифр для иллюстрации (табл. 25).

Мы видим, что наивысший урожай на почве, полностью насыщенной водородным ионом, получился у всех растений, во-первых, зна-

<sup>1</sup> К. К. Гедройн, Почвенные обменные катионы и растения. Действие на растения обменного марганца и обменного алюминия (печатается).

Таблица 25

## Общий урожай (в г на сосуд)

Культуры	Первоначальный чернозем	Чернозем, насыщенный водородом		
		Урожай	Доля СаСО <sub>3</sub> (мг-экв.)	pH
Овес . . . . .	16,0	22,3	50	6,0
Гречиха . . . . .	12,7	19,8	52,5	6,4
Лен . . . . .	13,0	17,1	50,0	6,0
Горчица . . . . .	4,0	11,1	50,0	6,0
Клевер . . . . .	5,9	9,8	50,0	6,0

чительно выше, чем на первоначальном черноземе, насыщенном Са и Mg (pH 6,7), а во-вторых, на дозе СаСО<sub>3</sub>, еще недостаточной для полного вытеснения обменного водорода (полная замена водорода кальцием получилась при дозе 57,5 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> на 100 г почвы). Таким образом насыщение почвенного поглощающего комплекса обменным водородом связано с приобретением почвой особых свойств в отношении растений; когда в такой почве известкованием все увеличивающимися дозами извести постепенно уменьшать содержание обменного водорода, заменяя его кальцием, то развитие растений на ней становится все лучше и лучше, достигая при почти полном (но не совсем полном) насыщении кальцием максимума; в этой точке величина урожаев всех испытанных растений значительно выше, чем на первоначальной почве; дальнейшее прибавление углекислого кальция, т. е. дальнейшее понижение содержания обменного водорода и прибавление избытка СаСО<sub>3</sub> сверх необходимого для полного вытеснения обменного водорода действует на разные растения различно, но всегда понижая урожай; это понижение у одних растений сказывается лишь на зерне, урожай же соломы продолжает даже возрастать (овес), у других растений (лен, горчица) оно очень резко. урожай почти сразу от максимального падает до нуля; причина этого явления уже иного порядка и не связана с водородным ионом; мы к ней сейчас вернемся. Здесь же отметим еще, что в этом же опыте 1931 г. с известкованием овса, льна, горчицы, гречихи и клевера различными дозами углекислого кальция, продолженном в тех же сосудах и с теми же растениями в 1932 г. с прибавлением в сосуды новой порции полного удобрения, мы натолкнулись на то же явление, какое мы выше отметили на почвах с обменным марганцем и алюминием: урожай растений на второй год в тех же сосудах на первоначальной почве по полному удобрению был значительно ниже, чем в первом году, на почве же с обменным водородом урожай не только не понизился, а даже несколько увеличился. Таким образом в этих опытах с обменным марганцем, алюминием и водородом мы имеем несомненное повышение максимальной производительности почвы, усиление отзывчивости почвы на удобрения и лучшее их использование растениями.

Результаты небольшого предварительного опыта с горчицей на почве, полностью насыщенной водородом, поставленного нами в 1930 г. по различным дозам углекислого кальция (всего на 22 сосуда), заставили нас сосредоточить свое внимание в 1931 и 1932 гг. на изу-

чений действия различных доз углекислого кальция под различными растениями на почве, искусственно насыщенной водородом, так как эти результаты показали нам, что такой метод исследования даст ответы на целый ряд интересных вопросов действия извести и откроет новые пути для практики известкования. Наши предположения оправдались. На этих опытах и их результатах мы здесь можем остановиться лишь в самых общих чертах; более детальное описание можно найти в опубликованном мною в прошлом году предварительном сообщении<sup>1</sup>; подробный отчет об опытах 1931 и 1932 гг. подготавливается к печати.

Опыты 1931 г. показали нам, что отмечавшееся уже в литературе губительное действие избыточной дозы углекислого кальция под некоторыми растениями имеет место лишь на очень сильно кислых почвах и связано непосредственно с малым содержанием обменного магния в такой почве; при известковании такой сильно кислой почвы, которая всегда, именно потому, что она сильно кисла, будет бедной и обменным кальцием и обменным магнием, мы по мере увеличения дозы извести все повышаем количество обменного кальция, оставляя неизменным количество обменного магния; отношение кальция к магнию в почвенном растворе как отображение поглощающего комплекса становится при этом все больше и больше, и в той точке, где вследствие излишнего количества внесенной извести часть ее остается в непрореагировавшем с почвой состоянии (в виде  $\text{CaCO}_3$ ), там это отношение может достигь уже такой величины, при которой растения страдают и даже гибнут. Конечно в вопросе о том, создает ли избыток известкования для чувствительных растений (например для льна) такое неблагоприятное отношение между кальцием и магнием в почвенном растворе, решается величиной емкости обмена данной почвы и соотношением между количествами обменных водорода, кальция и магния; при различном значении этих величин избыточное известкование может давать различный результат от положительного (по сравнению с меньшими дозами) до полной гибели растения включительно.

Очевидно для того, чтобы избежать этого вредного действия избыточного известкования, в почву надо дать кроме кальция еще и магний. Так как избыток магния также должен вредить растениям и даже в большей степени, чем избыток кальция, то очевидно вопрос об уничтожении вреда от избытка известкования внесением в почву магниевого удобрения не так прост и должен быть изучен и в отношении общих закономерностей и для каждого конкретного случая. Если для этого обратиться, что наиболее естественно, к углекислому магнию, то необходимо иметь в виду, что углекислый магний, если он не целиком прореагирует с почвой, может быть вреден сам по себе растениям (что не имеет места в отношении  $\text{CaCO}_3$ ) вследствие сравнительно большой его растворимости и сильно щелочной реакции; тут таким образом вопрос о создании правильного отношения в почве между кальцием и магнием сильно усложняется. При применении в этих случаях доломитов нужно иметь в виду, что в них связь между углекислым кальцием и углекислым магнием очень различна в зависимости очевидно

<sup>1</sup> К. Гедройц: 1) Почвенные обменные катионы и растение. 2) Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и магния в почве, «Удобрение и урожай», 1931 г., № 11—12, стр. 1047.

от их химического состава, а также от их происхождения. В опыт 1931 г. я наряду с  $\text{CaCO}_3$  ввел один образец доломита как предварительное испытание для дальнейшего исследования действия различных доз доломита на почве, целиком насыщенной водородом (доломит имел 58,6%  $\text{CaCO}_3$  и 38,2%  $\text{MgCO}_3$  вместо теоретических 54,3 и 45,7). Результат показал, что внесение сильно избыточного количества этого доломита, а именно такой его дозы (80 мг-экв. на 100 г почвы), задолго до которой чистый углекислый кальций уже совершенно губил лен и горчицу (это имело место при количестве  $\text{CaCO}_3$  около 58 мг-экв. на 100 г почвы) или вовсе не вызывало отрицательного действия (лен, гречиха, клевер, овес) по сравнению с оптимальной дозой извести или же только несколько понижало выход зерна (горчица). Таким образом при неитерализации почвы не одним только  $\text{CaCO}_3$ , а совместно с углекислым магнием в этом случае совершенно исчез отрицательный эффект избыточного известкования, и наш вывод о репашущей роли в данном явлении отношения между кальцием и магнием вполне подтвердился. Конечно мы напали на такой именно доломит совершенно случайно; совершенно ясно, что для того, чтобы в почвенном расторе создалось нужное отношение между кальцием и магнием, вносимое в почву в избытке соединение, содержащее  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , должно обладать определенными свойствами этих двух своих составных частей и прежде всего соответствующей сравнительной растворимостью этих двух компонентов, а последняя у различных доломитов и доломитизированных известняков конечно неодинаковая. Опыты 1932 г. подтвердили эти соображения.

Для этих опытов был взят другой доломит, очень близкого состава с доломитом опытов 1931 г. (57,4%  $\text{CaCO}_3$  и 39,9%  $\text{MgCO}_3$ ), который однако дал на почве, полностью насыщенной водородом, иные результаты, а именно: хотя вредное действие его на льне и горчице начинало обнаруживаться на дозах больших, чем на дозах одного  $\text{CaCO}_3$  (лен погибал на  $\text{CaCO}_3$ , начиная с дозы 50 мг-экв. на 100 г почвы и выше, а на этом доломите, только начиная с дозы 60 мг-экв.), но на дозе 80 мг-экв. доломита 1932 г., на которой доломит опыта 1931 г. дал хорошие результаты и для льна и для горчицы, эти растения вовсе не развивались. Таким образом уже исследование только двух доломитов показало, что в отношении действия на растения различные доломиты могут резко различаться между собой.

Считая вопрос об использовании доломитов и особенно доломитизированных известняков в качестве материала для известкования кислых почв чрезвычайно важным в практическом отношении (использование в сельском хозяйстве местных известняков, содержащих магний и непригодных для других технических целей, возможность найти между ними такие, избыточные внесения которых не влекло бы понижение урожаев и не давало бы отрицательного эффекта на чувствительных к отношению  $\text{Ca} : \text{Mg}$  растениях), мы поставили в 1932 г. небольшой предварительный опыт под льном и горчицей на почве, полностью насыщенной водородом, с шестью доломитами различного происхождения; пять из них (№ 1, 2, 4, 5, 6) имели очень близкий состав (содержание  $\text{CaCO}_3$  колебалось в пределах 52—57%,  $\text{MgCO}_3$ —38—43%, нерастворимого в соляной кислоте остатка — от 1,1 до 2,9%), и только один образец № 3 заметно отличался от теоретического

состава доломитов ( $\text{CaCO}_3$  — 43,2%;  $\text{MgCO}_3$  — 28,0%; нерастворимый остаток — 19,2%; 100 г углесолей этого доломита содержали 60,5%  $\text{CaCO}_3$  и 35,0%  $\text{MgCO}_3$ ). Останавливаться подробно на этом опыте я сейчас не могу, он будет опубликован отдельно.

По дозе, эквивалентной 45 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ <sup>1</sup> (оптимальная доза  $\text{CaCO}_3$  на данной почве под льном и горчицей), все доломиты дали такой же результат, как и углекислый кальций; на двойной дозе (90 мг-экв.) углекислый кальций совершенно погубил и горчицу и лен; из доломитов же ни один не погубил полностью эти растения, но действие их при этой дозе было чрезвычайно различно: между ними мы имеем такой доломит, как № 2, по двойной дозе которого и горчица и лен дали такой же урожай, как и по оптимальному количеству  $\text{CaCO}_3$ ; таким образом магний этого доломита совершенно уничтожил вредное действие углекислого кальция; этот доломит очевидно реагирует с нашей почвой таким образом, что в почвенном растворе получается благоприятное для льна и горчицы соотношение между Ca и Mg. Далее имеем доломит № 6, двойная доза которого уже вредила, но очень слабо. Остальные доломиты вредили больше и в разной степени, почти до полного уничтожения урожая. Вывод из этого небольшого опыта может быть сделан такой: между доломитами встречаются такие, сильно избыточное внесение которых на сильно кислых почвах не вредит урожаям таких чувствительных к избыточному известкованию растений, как лен и горчица; но есть и такие, которые в этом случае почти губят эти растения; такое различие в их действии не находится в прямой зависимости от химического состава доломита. Для выяснения причин, обуславливающих различное действие доломитов разного происхождения, мы предпринимаем лабораторное исследование и намечаем расширение вегетационных опытов по этому вопросу на 1933 г.

Мы считаем вопросы действия на растения доломитов, доломитизированных известняков и вопросы избыточного известкования вообще вопросами одной и той же большой проблемы влияния на растение отношения между Ca и Mg в почве. Для дальнейшего подхода к разрешению этой проблемы мы продолжили в 1932 г. между прочим наши исследования действия различных доз  $\text{CaCO}_3$  на почве, полностью насыщенной водородом, и на сильно кислой торфянистой почве на фоне различных количеств  $\text{MgCO}_3$ : в почву сначала вносились те или другие количества  $\text{MgCO}_3$ , а затем через некоторое время вносился углекислый кальций. Опыты еще незакончены и будут подробно описаны отдельно; тут же мы хотим только отметить, что этими опытами нам удалось доказать с несомненностью существование взаимного антагонизма между кальцием и магнием в почвенных культурах; имеющийся фотоснимок иллюстрирует понижение вредности избытка кальция магнием; на нем мы имеем три серии сосудов (по 5 сосудов в каждой) со льном на почве, полностью насыщенной водородом: I серия получила во всех сосудах по 45 мг-экв. нейтрализатора; II серия — по 50; III серия — по 55. Первые сосуды каждой серии (т. е. № 1053, 1037, 1039) в качестве нейтрализатора

<sup>1</sup> Здесь и всюду ниже величины  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  в миллиэквивалентах на 100 г почвы.

получили только  $\text{CaCO}_3$ ; как видим, оптимальной дозой было 45 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ ; 50 мг-экв. дало уже понижение, а 55—полную гибель льна.

Остальные сосуды получили причитающееся им количество нейтрализатора в виде и углекислого магния и углекислого кальция, а именно: вторые сосуды каждой серии (т. е. № 1065, 1067 и 1069)—по 5 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , а остальные в виде  $\text{CaCO}_3$ ; третьи сосуды (№ 1095, 1097, 1099)—по 10 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ ; четвертые сосуды (№ 1125, 1127, 1129)—по 15 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  и наконец пятые сосуды (№ 1153, 1156 и 1157)—по 25 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  и соответственно по 20, 25 и 30 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ . Положительное действие магния в этом опыте в серии II и III на избыточное известкование совершенно ясно: внесенные вместо 50 мг-экв. одного  $\text{CaCO}_3$ , 45 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ +5 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  сильно повысило урожай и понизило отрицательное действие лишних 5 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  (оптимальная доза последнего—45 мг-экв.)—это в серии II; а в серии III, где 55 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  совершенно губило лен, замена 5, 10 и 15 мг-экв. углекислого кальция магнием не исправляла положения, при замене же 25 мг-экв., т. е. по 30 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ +25 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  получился очень хороший урожай (около 9 т общего урожая на 1 га).

На другом фотоснимке (опыт на сильноокислой торфянистой почве) мы видим обратное, а именно: понижение сильно вредного действия избытка Mg углекислым кальцием. На фотографии I сосудов без углекислого кальция и магния; все остальные сосуды по 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  на 100 г почвы, причем первый из них (№ 243) без углекислого кальция, а остальные по увеличивающимся дозам  $\text{CaCO}_3$  (№ 245—10 мг-экв., № 247—20 мг-экв. и т. д.). Таким образом внесение в сильно кислую почву 20 мг-экв. магния (взятая для опыта почва содержала 12,6 мг-экв. обменного Ca; 3,6 Mg; 30,8 H; при 60 мг-экв. всей гидролитической кислотности) почти совершенно погубило лен; прибавление же к ним еще углекислого кальция в количестве 10 мг-экв. подняло урожай льна почти до максимальной величины, полученной нами на этой почве; дальнейшее повышение количества  $\text{CaCO}_3$  включительно до самой высокой дозы (500 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на 100 г почвы), хотя и не поднимало урожая до этой величины, но все-таки значительно обезвреживало почти губящее действие 20 мг-экв. в виде одного магния.

В заключение укажу, что в 1930 и 1931 гг. мы провели небольшой предварительный вегетационный опыт с искусственно введенным в почву обменным аммонием в качестве рекогносцировочного опыта для дальнейшего всестороннего исследования этого очень существенного вопроса для практики современной химизации нашего социалистического земледелия; промышленность дает в качестве отходов большие количества аммонийных солей, отбросы эти должны быть использованы; применение больших количеств аммонийных солей как азотистого удобрения возбуждает ряд вопросов, из которых наиболее существенными являются: 1) аммоний поглощается почвой, а известно, что обменный аммоний, как и всякий щелочный катион, создает в почве неблагоприятные для жизни растений физические и химические свойства; степень выраженности этих свойств стоит в зависимости от величины емкости обмена почвы и от количества поглощенного аммония; 2) в силу того что та или другая часть (в зависимости от свойств почвы и количества внесенной в почву аммонийной

соли) аммония из аммонийной соли закрепляется почвой, переводится в обменный аммоний, является вопрос о доступности поглощенного аммония растениям и микробам.

Проведенные нами опыты<sup>1</sup> показали, что обменный аммоний даже в таком большом количестве, как 4 мг-экв. на 100 г почвы (соответствует 1 400 кг N в слое 20 см на 1 га, или 1 800 кг  $\text{NH}_4$ , или 5 800 кг  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), на суглинистом черноземе с 60 мг-экв. емкости обмена вовсе не создает неблагоприятных условий для роста и развития овса и что азот обменного аммония в описанном опыте поднимал урожай овса не хуже, чем селитра, и использовался овсом так же быстро, как азот селитры; преимущество же его перед селитрой совершенно ясное: отсутствие опасности потерь вымыванием и вредного действия повышением концентрации почвенного раствора.

Долгопрудное опытное поле, сентябрь 1932 г.

## 7. ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС, РАСТЕНИЕ, УДОБРЕНИЕ И МЕЛИОРАЦИЯ<sup>2</sup>

Между практикой сельского хозяйства и теорией в агрономии вообще и в частности в агрохимии (и агрофизике) наблюдается резко выраженный разрыв: теория чрезвычайно сильно отстает от запросов практики. Имеется целый ряд вопросов, выдвинутых практикой сельского хозяйства уже очень давно и агрохимией до сих пор еще не разрешенных. Очень интересно отметить, что в таком же примерно соотношении находится практическая медицина и медицина как наука. Аналогия здесь конечно не случайна. И там и тут имеются общие причины. Одной из существенных причин является чрезвычайная сложность самого предмета агрохимии. Эта наука, как я ее понимаю, прежде всего базируется на почвоведении и физиологии. Сами по себе они имеют своим предметом очень сложные явления природы, далеко еще не изученные в достаточной степени. Понятно, что агрохимия как наука, изучающая взаимодействия между почвой, растением и удобрением, т. е. нечто значительно более сложное, чем почвоведение и физиология каждое в отдельности, находится в еще менее удовлетворительном состоянии. Я именно так понимаю предмет агрохимии: почвоведение — это одно, а агрохимия, имея своим основным базисом почвоведение и плюс физиологию, — нечто совершенно новое, чего ни в том, ни в другом нет, — это другое. И что бы ни утверждали некоторые почвоведы и некоторые агрохимики, доказывая, что есть только почвоведение или только агрохимия, они конечно неправы, упуская из виду то, что отличает эти две науки. Такое утверждение есть следствие человеческого консерватизма и известного научного «империализма». Кстати отметим, что в истории науки это повторялось почти всегда, когда ходом развития из одной науки отделялась другая. Почвововедам, противникам агрохимии как отдельной самостоятельной науки, следовало бы помнить историю отделения почвоведения от геологии. Но еще и сейчас между геологами имеются такие, которые считают почвоведение на современном этапе нашего развития лишь гла-

<sup>1</sup> К. Гедройц, Почвенные обменные катионы и растения. 4. Поглощенный аммоний как источник азота для растений и действие его на почву, см. данный сборник.

<sup>2</sup> Статья эта напечатана в журнале «Химизация социализации», 1932 г., № 1.

вой геологии. Я говорю именно на современном этапе потому, что речь идет в данном случае конечно не о том состоянии наук, когда отдельные науки будут лишь главами одной общей науки.

Другим моментом, обуславливающим недостаточное развитие современной агрохимии, отставание ее от запросов практики, является несомненно то совершенно недостаточное внимание, какое уделялось ей до самого последнего времени. Наряду с созданием в последние время целой сети научно-исследовательских институтов по различным отраслям сельского хозяйства мы до сих пор не имели центрального агрохимического института. Агрохимия в с.-х. опытных учреждениях остается беспризорной и по представленным ей возможностям занимает далеко не то положение, какое ей подлежало иметь по ее значению в борьбе за урожай. Будем надеяться, что созданный в системе Ленинской академии Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения (несмотря на свое название далеко не охватывающий всего предмета агрохимии) заполнит существующий теперь пробел и организует агрохимию на местах, без чего конечно развитие этой науки совершенно не мыслимо.

В связи с социалистической реконструкцией сельского хозяйства и той напряженной работой, какую мы ведем в борьбе за урожай, широкая организация агрохимической работы на основе современных достижений подсобных агрохимии наук с использованием всей новейшей методики<sup>1</sup> может дать несомненно колоссальные результаты!

Я остановлюсь сейчас лишь на одном, я сказал бы центральном, вопросе агрохимии — на значении почвенного поглощающего комплекса для урожайности и поднятия производительности почвы удобрением и мелиорацией.

Но прежде укажу на два примера резкого отставания агрохимии от запросов практики сельского хозяйства. Это — вопросы о структуре почвы и о дозах извести. Оба вопроса выдвинуты практикой уже очень давно, но они до сих пор далеко не достигли той степени научной разработки, которая позволила бы их использовать в практических целях. Если обратиться к истории, мы увидим, что в борьбе за их разрешение агрохимия (и агрофизика) сделала очень много, и, несмотря на это, до сих пор среди знатоков агрохимии и практического земледелия остаются «структуришки» и «антиструктуришки». До сих пор вопрос об оптимальной дозе извести разрешается в каждом частном случае лишь полевым опытом. Выход из этого положения на данном этапе развития агрохимии я вижу в углубленном агрохимическом изучении почвенного поглощающего комплекса.

Основанное мною учение о почвенном поглощающем комплексе как естественно-историческом явлении стало теперь центральным местом почвоведения.

Вопросами, связанными с изучением этого явления, с изучением

---

<sup>1</sup> Для этого прежде всего необходимы лаборатории, оборудованные действительно по последнему слову науки и техники, необходима такая организация работы, чтобы вошло место таким курьезам, когда при наших колоссальных достижениях и при еще более колоссальных задачах работа задерживается или, еще хуже, срывается из-за недостатка например необходимых сортов фильтровальной бумаги или других самых обычных материалов, достать которые всегда легко и возможно. Такое совершенно ненормальное положение должно быть конечно полностью изжито.

Свойств этого комплекса и роли его в процессах почвообразования, занимаются теперь, можно сказать без преувеличения, почвоведы всего мира. В ином положении находится агрохимическое изучение почвенного поглощающего комплекса, т. е. изучение взаимоотношений между этим комплексом и с.-х. растениями в целях рационального использования естественных производительных сил почвы и поднятия этой производительности агротехникой, удобрением и мелиорацией. В таком разрезе почвенный поглощающий комплекс почти никем еще не изучался. А между тем мои очень ограниченные до сих пор исследования в связи с теми мыслями, которые имеются у меня на основании изучения этого комплекса в разрезе почвоведения, ясно показывают, что и в агрохимии (в агрофизике) почвенный поглощающий комплекс должен занять центральное место.

Я указывал выше на явление структурности, как на пример резкого отставания агрохимии от запросов практики. В явлении структурности как свойства почвы безотносительного влияния его на с.-х. растения изучение почвенного поглощающего комплекса дало уж очень много. Это изучение поставило этот вопрос на новые рельсы; мы знаем теперь, что в нем (почвенном поглощающем комплексе) надо искать структурообразователей, что его свойства, обуславливаемые в первую очередь составом его поглощенных катионов, являются решающими в отношении величины и характера (прочности) структуры; остальная часть почвы (частицы крупнее 0,001—0,0001) представляет тот фон, на котором проявляется структурообразовательная деятельность поглощающего комплекса в зависимости от характера этого фона, т. е. от механического состава неколлоидальной части почвы.

Мы знаем теперь, в каком направлении тот или другой обменный катион поглощающего комплекса влияет на структурообразовательные свойства этого комплекса, мы знаем, что в структурообразовании принимает участие и органическая и минеральная части комплекса, мы имеем возможность теперь учесть и изучить направление и относительное участие той и другой части в явлениях структурообразования. Вместе с основанием учения о почвенном поглощающем комплексе введено совершенно новое понятие и о микроструктуре. Мы знаем теперь, что структурность — явление зональное, находящееся в тесной зависимости от положения почвы в почвенной классификации, и понимаем причину этой зависимости.

Одним словом, состояние вопроса о структуре почвы в почвоведении находится уже на такой стадии, что до известной степени мы можем управлять этим явлением. Теперь дело за агрохимией. Она в вопросе о структурности сильно отстала не только от запросов практики, но и от того, что известно в почвоведении и что должно служить ей базисом для выполнения роли структуры в урожайности, во влиянии ее на почвенные процессы, обуславливающие использование растениями питательных запасов почвы и вносимых удобрений, на обеспеченность их водой и кислородом.

Если мы грубо разделим все почвы СССР на две группы: 1) почвы влажных областей, в которых при имеющейся степени их увлажнения невозможно накопление простых солей, и 2) почвы засушливых областей, в которых имеются скопления солей, трудно растворимых или трудно и легко растворимых, и оставим как промежуточное между

плни почвы, периодически в зависимости от условий погоды принадлежацие то к той, то к другой группе, а также почвы грунтового увлажнения с притоком солей со стороны, то можно установить следующее.

То, с чем корневой системе приходится иметь непосредственное дело в почве, т. е. почвенный раствор, в первой группе почв является производным почвенного поглощающего комплекса и обуславливается только им, взаимодействием между этим комплексом и почвенной влагой. Во втором случае почвенный раствор является производной не только поглощающего комплекса, но и состава простых солей почвы. Тут дело усложняется, особенно в отношении изучения отдельных конкретных случаев. И в самом деле, раз в систему почва + почвенная влага вступила корневая система (микрофлору почвы в громадном большинстве можно отнести к поглощающему комплексу), то мы имеем уже взаимодействие между поглощающим комплексом, влагой и растением. Корневая система, выделяя и поглощая вещества, изменяет почвенный раствор, а этим изменяет состав поглощающего комплекса. Все то, что поглощает растение из почвенного раствора почв первой группы, есть результат совместного действия почвенной влаги и самого растения (через влагу) на почвенный поглощающий комплекс.

Так: 1) усвояемый азот почвы является результатом аммонификации и нитрификации растворившихся в воде органических веществ органического поглощающего комплекса (в том числе и мертвых микроорганизмов как части этого комплекса);

2) доступная фосфорная кислота — результат минерализации фосфоорганических соединений фосфорной кислоты, железа, алюминия, кальция и магния;

3) доступная сера — результат минерализации органических серосодержащих соединений органического поглощающего комплекса, причем все три названные кислоты быть может используются растениями непосредственно из физически адсорбированного состояния или быть может только при освобождении их из этого полусвязанного состояния, если адсорбция их положительная; если же адсорбция отрицательная (что в некоторых случаях несомненно имеет место), то такая деятельность поглощающего комплекса способствует использованию этих кислот растениями;

4) источниками питательных катионов служат обменные катионы почвы<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Мои опыты с овсом на почве, неликом насыщенной различными катионами, показали между прочим, что на почве, практически лишенной обменного Mg и K, означенное растение все-таки находит себе в почве эти катионы для питания. Это явление несколько не противоречит выставленному сейчас положению. Не надо забывать, что 1 миллиэквивалент обменного катиона равняется на гектар в слое 20 см 300 кг Mg или 975 кг K. Таким образом, если в почве осталась даже только часть 1 миллиэквивалента, обменного магния или калия, то этого с громадным избытком достаточно для хорошего урожая. Ручаться же, что при насыщении почвы имеющимися способами каким-либо катионом таких количеств, вытеснявшихся почвенных обменных катионов, все-таки не осталось в почве, конечно нельзя. С другой стороны, если опес черная Mg и K из необходимого их состояния, то эти необменные катионы должны были для этого развиться в воде и реагировать с поглощающим комплексом, т. е. опять-таки стать обменными катионами.

Мои исследования касались лишь вопроса взаимоотношения между растениями и обменными катионами почвы и имели целью установить зависимость роста растений от рода катиона, находящегося в поглощающем комплексе, и обратно — изучить роль различных обменных катионов в почве, как естественно в них присутствующих (т. е. Са, Mg, Na, K), так и искусственно в почву вводимых, в жизни с.-х. растений. Из этой очень большой проблемы мною затронуты пока лишь частичные вопросы и разработка даже их еще не доведена до конца. Но уже и сейчас можно сделать из моих полученных данных некоторые интересные заключения, имеющие несомненно практическое значение.

1. Мои исследования показывают, что из всех катионов, встречающихся в почвах (H, NH<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca), и изо всех других, скоторыми мне удалось провести насыщение достаточных количеств почвы для вегетационного опыта (Sr, Cd, Ba, Mn, Fe<sup>++</sup>, Co, Ni, Cu, Al, Fe<sup>+++</sup>), а их было достаточное количество для возможности обогащения, только один кальций (и по видимому стронций) может почти полностью насыщать почву, не создавая неблагоприятных условий для роста растений, а для овса например насыщение кальцием может быть даже практически полное. Все остальные катионы (в том числе Mg), насыщая почву практически полно, создают условия, неблагоприятные для роста растений; степень неблагоприятности зависит от рода катиона; между ними есть такие, которые при полном насыщении совершенно губят растения (H, Cd, Ba, Mn, Co, Ni, Cu) даже такие мало чувствительные, как овес; имеются такие, которые понижают в разной степени урожай (Mg, Fe<sup>++</sup>, Fe<sup>+++</sup>, Al).

Чувствительность различных растений в этом отношении неодинакова. Вредное действие означенных катионов в обменном состоянии, если они частично насыщают почву, находится в прямой зависимости от степени насыщения ими почвы. Так например при емкости обмена почвы в 62 мг-экв. на 100 г уже около 3 мг-экв. Ni в поглощающем комплексе очень сильно понижали урожай овса и горчицы, а 6 мг-экв. совершенно губили эти растения; марганец же, убивая совершенно все исследованные растения (овес, гречиха, горчица, клевер и лен) при полном насыщении им почвы, не вредил овсу еще при содержании в почве 18 мг-экв., гречихе и клеверу — при содержании 7 мг-экв., горчице и льну — при содержании 4 мг-экв.

2. Почва, практически полностью насыщенная кальцием, являясь (при обеспеченности растения всеми питательными веществами и правильным соотношением между кальцием и магнием в почвенном растворе) самой лучшей средой для роста с.-х. растений по сравнению с почвой, целиком же насыщенной любым другим катионом (возможно, за исключением стронция), не является наилучшей вместе с тем средой, если речь идет не об одном обменном катионе в почве, а о комбинации их в поглощающем комплексе.

То, что до сих пор сделано мною (сравнительно еще очень не много), приводит меня к полному убеждению, что в этом отношении мы имеем чрезвычайно широкие возможности повысить производительность почвы, изменяя в том или другом отношении состав обменных катионов почвы в зависимости от климата, от характера почвы и главной культуры (само собой разумеется, после необходимого изучения).

Думаю, что для всякого научного работника чрезвычайно важно

сознание, что темы, над которыми он работает, которым он посвящает себя, могут быть использованы практикой, если не сейчас, то хотя бы в ближайшее время. Такое сознание является могучим стимулом для его работы.

Над поглощающим комплексом почвы я работаю уже давно, но только в последнее время почувствовал то полное удовлетворение от этой работы, о котором я сейчас говорил, так как совершенно ясно сознавал, что даже значительно более простые приемы улучшения почвы, нежели изменение состава обменных катионов в почве<sup>1</sup>, невозможны при капиталистическом строе.

Только социалистическая реконструкция сельского хозяйства, с таким успехом проводимая в настоящее время на основе развития тяжелой промышленности, открывает безграничные возможности по осуществлению даже такого сложного мероприятия, как коренное изменение состава обменных катионов почвы в целях повышения ее производительности.

Уже изучение почвенного поглощающего комплекса как естественноисторического тела давно показало мне, что полное насыщение его кальцием (и частично магнием, как это имеет место в нормальных черноземах) имеет свои отрицательные стороны, создавая малую подвижность почвенных соединений и обуславливая этим малое использование естественных производительных сил почвы. Об этом я высказывался много раз<sup>2</sup>. Я указывал, что небольшое количество в почве поглощенного водорода или щелочных элементов, не влияя еще отрицательно своими специфическими свойствами, должно парализовать это неблагоприятное свойство обменного кальция, вызвав значительно большую подвижность и азотистых и фосфорнокислых, а может быть и калийных соединений почвы.

Нужно только для каждого конкретного случая найти оптимальное количество такого катиона-возбудителя, так как уже небольшое избыток и поглощенного водорода и поглощенного натрия может вызвать своим влиянием на другие моменты (вредной концентрацией водородного иона, высоким содержанием соды, ухудшением физических свойств, а значит и водного и воздушного режимов) неблагоприятное действие на растение. Нужно найти то количество этих катионов, при котором суммарное положительное и отрицательное действие их оказывает максимальный положительный эффект на величину урожая. Вегетационными опытами на Носовской опытной станции мне удалось подтвердить это в отношении натрия. Очень интересно было бы изучить в этом направлении действие введенного в почву в небольшом количестве калия. В отношении водородного иона опытов для подтверждения своего положения я не ставил, но, насколько

<sup>1</sup> Напомню опять, что введение лишь 1 миллиэквивалента например калия в почву требует введения в поглощающий комплекс слоя почвы в 20 см на 25 кг эквивалентов этого катиона, т. е. 975 кг К, а так как из внесенной соли только часть ее катиона поглощается, то приведенное количество надо увеличить в несколько раз. Затем большей частью при таком изменении состава поглощенных катионов необходимо будет искусственное удаление из почвы оставшейся соли и продукта обмена, т. е. орошение с дренажем.

<sup>2</sup> См. например «Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция». Вып. 43-й работ агрохимического отдела Носовской с.-х. опытной станции, 1926 г. «Химический анализ почвы», 2-е изд., 1929 г., стр. 616.

мне известно, произведенные в самое последнее время вегетационные и полевые опыты на маленьких делянках Н. И. Соколовым и П. П. Заевым на Каменностепной опытной станции с обработкой почвы кислотами вполне подтвердили это.

Должен подчеркнуть, что если введение небольших количеств обменного натрия и калия, какие нужны для повышения подвижности почвенных соединений в целях лучшего использования азота и фосфора почвы, и в прежнее время могло быть осуществлено, то широкое использование в практике подкисления почвы возможно лишь при высоком развитии химической промышленности, дающей различные кислые продукты отброса.

Вместе с тем необходимо отметить, что введение в поглощающий комплекс почвы таких возбудителей плодородия, как водород, натрий или калий, делают этот комплекс более доступным разрушающему действию воды, т. е. оно должно вызвать деградацию (в случае водорода) или осолодение (в случае калия и натрия). И то и другое будут уже явления отрицательные. Вот почему к таким мероприятиям надо относиться очень вдумчиво и осторожно, с учетом всей обстановки и всех возможных последствий не только для завтрашнего дня, но для более отдаленного будущего.

3. Очень существенные результаты получились у меня в отношении обменного магния в почве. Этот обменный катион оставался до сих пор совершенно в тени. Он даже определялся в почвах только между прочим. Мы имеем например методы, предложенные и пригодные только для определения обменного кальция ввиду очевидно предполагаемой важности знания количеств обменного магния<sup>1</sup>.

Мои исследования однако указывают на существенное значение катиона и соотношения в почве между количествами его и обменного кальция.

Эти исследования вместе с тем открывают по моему мнению новую страницу в вопросе об известковании почв, подобно тому как это сделало установление правильного представления на кислотность почвы, выяснившего, на что расходуется известь, вносимая в почву, т. е. современное учение об обменной гидролитической кислотности. И то и другое было использовано и теорией и практикой известкования, но все-таки не внесло окончательной ясности в этот вопрос: с одной стороны, оптимальное количество известки на различных почвах оказалось в различной зависимости от величины этих кислотностей; а с другой — остался совершенно открытым вопрос о причинах вредного действия больших доз известки под некоторыми растениями. Мои исследования дают ключ к разрешению обоих вопросов. Для меня давно уже было ясно, что подойти к решению этих вопросов изучением различных почв, имеющих кислотность (что необходимо) разной величины, нельзя или очень трудно, так как ясно, что такие почвы различаются между собой не только величиной кислотности, но и многими другими свойствами (какими именно, в точности конечно неизвестно и едва ли может быть в данное время установлено). Поэтому я давно уже пытался подойти к этим опытам с искусственно приготовленной кис-

<sup>1</sup> В связи с этим же на методику определения обменного магния до сих пор совершенно не обращали внимания.

лой почвой и провел такой небольшой опыт в 1929 г. в Посовской стапции, а затем продолжил его в 1930 г. на Долгопрудном опытном поле; в 1931 г. мне удалось поставить такой опыт в значительно расширенном масштабе, и я надеюсь, что в текущем году буду иметь возможность провести эти исследования в том размере, какой нужен для окончательных выводов.

Во всех этих опытах я работал с почвой, обладающей большой емкостью обмена (каменнотепной тучный чернозем, гор. 0—20 см), превращая ее в почву, полностью ненасыщенную основаниями промывкой по моему методу 0,05N соляной кислотой до полного удаления обменных оснований, а затем до полного удаления соляной кислоты.

План у меня был такой. По некоторым данным я имел основание считать, что на взятом мною черноземе, а также на такой бездеятельной среде, как промытый песок, никакие дозы углекислого кальция не должны вредить растениям. Такой опыт был мною проведен теперь для окончательной проверки моего предположения; и он действительно показал, что даже чрезвычайно высокие дозы  $\text{CaCO}_3$  (до 125 т на 1 га) на этом черноземе и на песке не вредят ни овсу, ни такому чувствительному растению, как горчица. Укажу здесь же, что аналогичные опыты с углекислым магнием (осажденным) показали вредное действие его на тех же субстратах при больших дозах даже для овса, а лен и горчица даже при умеренных дозах  $\text{MgCO}_3$  совершенно погибали. Таким образом  $\text{CaCO}_3$  сам по себе совершенно безвреден растениям. Почему он безвреден и независимо от величины его дозы — конечно понятно. Далее я рассуждал таким образом. Имеется нейтральная почва, на которой углекислый кальций не действует сколько-нибудь заметно ни положительно, ни отрицательно. Если я такую почву из состояния, насыщенного основаниями, переведу в состояние, полностью ненасыщенное основаниями, не изменяя в этой почве ничего или почти ничего кроме замены обменных кальция и магния чернозема на водородный ион, то буду иметь две почвы, относительно которых определенно знаю, чем они различаются между собой. Если теперь действие углекислого кальция на этих двух почвах будет одинаково, то ясно, какими факторами это различие обуславливается.

Опыт, проведенный мною с пятью растениями (овес, гречиха, клевер, лен и горчица) на такой почве, вся емкость обмена которой (около 55 мг-экв. на 100 г почвы) была насыщена водородным ионом с все повышающимися дозами углекислого кальция — от 0 до 5 г  $\text{CaCO}_3$  на 100 г почвы (т. е. до 125 т  $\text{CaCO}_3$  на 1 га), показал следующее. Урожай всех пяти растений возрастал вместе с дозой извести от нуля до некоторой максимальной величины, соответствующей приблизительно той дозе извести, при которой весь обменный водород почвы вытеснялся кальцием углекислого кальция (между 50—55 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на 100 г почвы). С дальнейшим повышением дозы углекислого кальция различные растения вели себя неодинаково. Урожай овса почти не изменялся до самой последней применявшейся дозы; у остальных же четырех растений он понижался и сходил на-нет при различных дозах извести: гречиха гибла при внесении 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на 100 г почвы; клевер — при 70 мг-экв., а горчица и лен — уже при 57,5 мг-экв., в то время как еще при 55  $\text{CaCO}_3$  оба эти растения развивались очень хорошо.

Чем же различаются между собой наши две почвы? Одна — первый начальный чернозем, почти не реагирующий на  $\text{CaCO}_3$  под овсом и горчицей; другая — тот же чернозем, но только с полной заменой в обменных кальция и магния на водородный ион и реагирующий совершенно иначе на  $\text{CaCO}_3$ . До оптимальной точки урожая — дело все известное и теперь совершенно понятное — положительное действие  $\text{CaCO}_3$  на второй почве — результат присутствия в этой почве ядовитого для растений обменного водорода и вытеснения его кальцием углекислого кальция. Начиная же с тех доз  $\text{CaCO}_3$ , при которых происходит полное или почти полное вытеснение водородного иона, вторая почва становится также насыщенной основаниями, как и первоначальный чернозем. А между тем на ней дальнейшее внесение  $\text{CaCO}_3$  продолжает влиять на растение, но уже отрицательно.

В чем же различие между этими двумя почвами с момента нейтрализации второй почвы соответствующей дозой  $\text{CaCO}_3$ . Совершенно ясно, что только в том, что в первоначальном черноземе обменными катионами являются кальций и магний, а во второй почве — только кальций. Совершенно ясно, что в нашем случае среда — почва, содержащая обменные кальций и магний плюс даже громадные дозы углекислого кальция, — безвредна для самых чувствительных растений, а среда — та же почва, содержащая только обменный кальций плюс углекислый кальций, — является уже неблагоприятной для развития того или другого растения в зависимости от чувствительности его к фактору различия между двумя этими почвами и от дозы вносимой извести.

Таким образом путем такого сравнения мы должны сделать единственно возможный вывод: вредное действие известкования проявляется на почве в том случае, когда в почвенном поглощающем комплексе нарушается соотношение между количествами обменного кальция и обменного магния; когда обменного магния вовсе нет, мы имеем резкий случай губительного действия на чувствительные растения уже даже ничтожного (сравнительно) избытка (сверх нейтрализации) углекислого кальция.

Почему же это не проявлялось до точки нейтрализации; почему понадобился некоторый избыток  $\text{CaCO}_3$  для проявления отрицательного действия  $\text{CaCO}_3$ ? Во-первых, вредное действие может быть проявлялось и раньше, но оно не компенсировалось и скрывалось более сильным положительным действием, удалением водородного иона, а во-вторых, потому, что с появлением в почве даже небольшого избытка  $\text{CaCO}_3$  (сверх нейтрализации), остающегося в почве в неизменном состоянии, сразу чрезвычайно сильно повышает в почвенном растворе концентрацию иона  $\text{Ca}$ ; количество кальция, извлекаемое водой из углекислого кальция в почвенных условиях, значительно больше, чем количество его, извлекаемого водой из поглощающего комплекса первоначального чернозема. Некоторое же количество магния в почвенном растворе в почвах, практически насыщенных всяким другим катионом, всегда имеется, как показали наши опыты с овсом<sup>1</sup>, а кроме того магний вносился в описываемых опытах как удобрение

<sup>1</sup> См. мою статью «Почвенные обменные катионы и растения», I. «Удобрение и урожай», 1930 г., № 6.

(правда, в очень ничтожных количествах: 0,01 г MgO на 100 г почвы, т. е. 0,5 мг-экв). Очевидно этого количества магния в почвенном растворе было достаточно, чтобы не могло проявиться губительное действие на растения избытка кальция в почвенном растворе тогда, когда источником этого кальция был лишь обменный кальций почвы, но его было уже недостаточно, когда этим источником оказался кальций не только обменный, но и углекислый.

*Причиной вредного действия избыточных доз углекислого кальция на кислых почвах является недостаточное содержание в этих почвах обменного магния, вследствие чего после внесения в почву углекислого кальция (а может быть и до внесения) создается в почвенном растворе неблагоприятное, слишком высокое соотношение между Ca и Mg, т. е. перед нами физиологическая теория Лоев, но только в агрохимическом разрезе, проведенная через поглощающий комплекс; без такого проведения эта теория была совершенно не применима к почвам и потому давно уже отвергнута агрохимиками и совершенно забыта.*

Таков был путь, принятый нами для решения вопроса опытами 1931 г. о причинах вредного действия избыточных доз извести на те или другие растения, и таковы выводы из полученных результатов. Но еще раньше, чем был произведен посев растений в данной серии опытов (с посевом запоздали), некоторые опыты с овсом 1930 г., повторенные в тех же сосудах в 1931 г. с другими растениями (горчица, лен), дали мне указания на роль магния в рассматриваемом явлении. Поэтому в вышеописанные опыты были включены сосуды с большой дозой доломита. Результат показал, что по доломиту губительное действие совершенно исчезает: урожай получается уже очень близкий к оптимальному, причем и тут имеются различия у различных растений. Само собой разумеется, что не этот опыт с доломитом является решающим в рассматриваемом здесь вопросе, а все выше приведенное, так как несомненно то отношение между кальцием и магнием, какое было в применявшемся доломите (он имел почти в точности формулу  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), не может быть одинаково благоприятно для различных растений и различных почв, но во всяком случае благоприятный результат замены губительной дозы углекислого кальция эквивалентной дозой доломита налицо и подтверждает сделанный нами совсем другим путем вывод.

Таким образом при решении вопроса об оптимальной дозе извести под данное растение и на данной почве нужно знать чувствительность растения к отношению Ca : Mg, а в почве — не только ее кислотность, но и общую емкость обмена и абсолютное содержание обменного магния, а также ту закономерность, какая существует между содержанием Mg в обменном состоянии и концентрацией его в почвенном растворе. Нужно будет проделать еще очень большую экспериментальную работу для выяснения всех возникающих из новой теории вопросов.

С точки зрения моей теории становятся понятными многие явления, отмеченные при известковании. Остановлюсь вкратце на следующем.

Почему отрицательное действие больших доз извести проявляется, вообще говоря, только на почвах сильно кислых, т. е. на которых имеется при соответствующих дозах извести сильное положительное действие?

Потому что чем больше в почве обменного водорода, тем меньше будет в ней, вообще говоря, обменного магния.

Почему например на почвах с приблизительно одинаковой гидролитической кислотностью оптимальные дозы известки бывают часто сильно различными?

Потому что одинаковая гидролитическая кислотность не предвещает еще вовсе вопроса о количестве обменного магния: в одной почве его может быть больше, в другой меньше при одной и той же кислотности.

Мы останавливаться дольше на этом вопросе здесь не можем<sup>1</sup>. Мы его привели только как иллюстрацию нашего общего положения о необходимости и плодотворности агрохимического изучения почвенного поглощающего комплекса со всех возможных сторон этого сложного явления.

Приведу еще из своих опытов один пример в подтверждение практического значения состава обменных катионов в почве. Опыты с введением обменного марганца в тучный чернозем в количестве от 0,5 до 4 мг-экв. на 100 г почвы дали для некоторых растений очень заметный эффект<sup>2</sup>, причем очень интересно отметить, что внесение в исследованную почву усиленной дозы сернокислого магния (вместо 0,51—1,0 мг-экв. на 100 г почвы) значительно повысило положительное действие марганца.

4. Вопрос о мелиорации солонцов и по существу своему и по истории его развития имеет много общего с вопросом мелиорации кислых почв известью. Как там, так и здесь в начале научной разработки исследователи, естественно, обратили свое внимание на почвенный раствор и в своих методах мелиорации считались с количествами вредных веществ в этом растворе. Поэтому в первом научном подходе к мелиорации солонцов, сделанном Hilgard, рекомендовалось внесение в такие почвы гипса как вещества, уничтожающего соду в количестве, соответствующем содержанию ее в почвенном растворе. Когда мною было установлено, что сода в почвенном растворе солонцов является производной обменного натрия в почве, стало ясно, что такими количествами гипса делу не помочь, что его надо вносить по расчету на обменный натрий, т. е. в количествах, значительно превышающих дозы Hilgard. Таким образом и здесь правильная установка получилась лишь после изучения особенностей поглощающего комплекса солонцов. Далее, успешность этой меры, как мною выведено теоретически и подтверждено непосредственным опытом<sup>3</sup>, связана с правильным учетом той реакции, которая совершается между поглощающим комплексом солонцеватой почвы и вносимым гипсом, результатом которой является сернокислая соль натрия в из-

<sup>1</sup> Я считаю, что действие различных стимулянтов необходимо изучать также с точки зрения поглощающего комплекса и во всяком случае не только привлекать во внимание количество их, вносимое в почву, так как при малых их количествах и при достаточном естественном увлажнении почвы в самое ближайшее время в почве останется только стимулирующий катион в обменном состоянии, а избыток его, не поглощенный почвой, вымывается вон.

<sup>2</sup> Подробный отчет о вышеизложенных опытах подготавливается к печати, предварительное сообщение напечатано в «Удобрение и урожай», 1931 г., № 11.

<sup>3</sup> К. Гедройц. До питання гіпсування солонцеватих ґрунтів. «Вісник сільсько-господ. науки та дослідної справи», Т. 5. № 6, 1928 г. стр. 106.

вестных количествах, уже вредная растениям. Если эта соль в необходимых для этого случаях естественно или искусственно не удаляется, то мелиорация может дать пониженные результаты, а иногда остаться совершенно безрезультатной и даже вредной; все это в зависимости от степени солонцеватости и возделываемого растения.

Теперь я могу на основании вышеприведенного о действии  $\text{CaCO}_3$  на кислые почвы внести дальнейшее уточнение в вопрос гипсования солонцов.

Тут мы имеем полную аналогию. Так, если возьмем злостный натриевый солонец, где натрий целиком или почти целиком насыщает почву, где поэтому нет или почти нет обменных кальция и магния, то при гипсовании получим то же, что при известковании почвы, полностью насыщенной водородом; только в случае солонца после его промывания для удаления  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  как нелетучего соединения солонец превратится в почву, целиком или почти насыщенную кальцием (из гипса), а обменного магния он не будет содержать или будет его содержать очень мало. В результате растения, отрицательно относящиеся к высокому отношению  $\text{Ca} : \text{Mg}$ , будут развиваться неудовлетворительно.

Таким образом и при мелиорации солонцов необходимо обратить внимание на обменный магний. Должен отметить, что очень возможно, что многие солонцеватые почвы не особенно высокой солонцеватости могут быть богаты обменным магнием.

В связи с вопросом о гипсовании солонцов отмечу наконец желательность изучения благоприятного действия гипса под некоторые растения на почвах, заведомо не солонцеватых, с точки зрения содержания в них обменного магния. Возможно, что и этот очень темный вопрос получит освещение путем такого изучения.

#### **8. К ВОПРОСУ ОБ ОБМЕННОМ ВОДОРОДЕ И ОБМЕННОМ АЛЮМИНИИ В КИСЛЫХ ПОЧВАХ**

Если взять, с одной стороны, кислую естественную почву (подзолистую или латеритную) и кислую, искусственно полученную моим методом обработки например нейтрального чернозема 0,05N соляной кислотой (такая почва названа мной почвой, не насыщенной основаниями, а впоследствии, по выяснении причины ее кислотности, почвой, содержащей обменный водород), а с другой стороны, почву, насыщенную алюминием (заменой всех ее обменных катионов на алюминий с помощью обработки почвы раствором хлористого алюминия), то такие три почвы будут в некоторых отношениях иметь общие свойства: pH водных вытяжек и почвенного раствора у них будет меньше 7, pH вытяжек растворами нейтральных солей будет значительно меньше, чем pH водных вытяжек, и в эти солевые растворы из всех этих почв будет переходить алюминий (полуторные окислы). Переход в раствор солевых вытяжек алюминия из кислых почв послужил Daikushaga и его последователям основанием принять, что причиной кислотности почв является присутствие в них обменного алюминия, иными словами уподобить эти почвы почвам, искусственно насыщенным алюминием. Как мы видели выше, формальное основание к этому имелось.

Потому что чем больше в почве обменного водорода, тем меньше будет в ней, вообще говоря, обменного магния.

Почему например на почвах с приблизительно одинаковой гидролитической кислотностью оптимальные дозы извести бывают часто сильно различными?

Потому что одинаковая гидролитическая кислотность не предвещает еще вовсе вопроса о количестве обменного магния: в одной почве его может быть больше, в другой меньше при одной и той же кислотности.

Мы останавливаться дольше на этом вопросе здесь не можем<sup>1</sup>. Мы его привели только как иллюстрацию нашего общего положения о необходимости и плодотворности агрохимического изучения почвенного поглощающего комплекса со всех возможных сторон этого сложного явления.

Приведу еще из своих опытов один пример в подтверждение практического значения состава обменных катионов в почве. Опыты с введением обменного марганца в тучный чернозем в количестве от 0,5 до 4 мг-экв. на 100 г почвы дали для некоторых растений очень заметный эффект<sup>2</sup>, причем очень интересно отметить, что внесение в исследованную почву усиленной дозы сернокислого магния (вместо 0,51—1,0 мг-экв. на 100 г почвы) значительно повысило положительное действие марганца.

4. Вопрос о мелиорации солонцов и по существу своему и по истории его развития имеет много общего с вопросом мелиорации кислых почв известно. Как там, так и здесь в начале научной разработки исследователи, естественно, обратили свое внимание на почвенный раствор и в своих методах мелиорации считались с количествами вредных веществ в этом растворе. Поэтому в первом научном подходе к мелиорации солонцов, сделанном Hilgard, рекомендовалось внесение в такие почвы гипса как вещества, уничтожающего соду в количестве, соответствующем содержанию ее в почвенном растворе. Когда мною было установлено, что сода в почвенном растворе солонцов является производной обменного натрия в почве, стало ясно, что такими количествами гипса делу не помочь, что его надо вносить по расчету на обменный натрий, т. е. в количествах, значительно превышающих дозы Hilgard. Таким образом и здесь правильная установка получилась лишь после изучения особенностей поглощающего комплекса солонцов. Далее, успешность этой меры, как мною выведено теоретически и подтверждено непосредственным опытом<sup>3</sup>, связана с правильным учетом той реакции, которая совершается между поглощающим комплексом солонцеватой почвы и вносимым гипсом, результатом которой является сернокислая соль натрия в из-

<sup>1</sup> Я считаю, что действие различных стимулянтов необходимо изучать также с точки зрения поглощающего комплекса и во всяком случае не только принимать во внимание количество их, вносимое в почву, так как при малых их количествах и при достаточном естественном увлажнении почвы в самое ближайшее время в почве останется только стимулирующий катион в обменном состоянии, а избыток его, не поглощенный почвой, вымывается вон.

<sup>2</sup> Подробный отчет о вышеназванных опытах подготавливается к печати, предварительное сообщение напечатано в «Удобрение и урожай», 1931 г., № 11.

<sup>3</sup> К. Гедройц, До питання гіпсування солончаків ґрунтів. «Вісник сільсько-господ. науки та дослідної справи», Т. 5, № 6, 1928 г. стр. 106.

вестных количествах, уже вредная растениям. Если эта соль в необходимых для этого случаях естественно или искусственно не удаляется, то мелиорация может дать пониженные результаты, а иногда остаться совершенно безрезультатной и даже вредной; все это в зависимости от степени солонцеватости и возделываемого растения.

Теперь я могу на основании вышеприведенного о действии  $\text{CaCO}_3$  на кислые почвы внести дальнейшее уточнение в вопрос гипсования солонцов.

Тут мы имеем полную аналогию. Так, если возьмем злостный натриевый солонец, где натрий целиком или почти целиком насыщает почву, где поэтому нет или почти нет обменных кальция и магния, то при гипсовании получим то же, что при известковании почвы, полностью насыщенной водородом; только в случае солонца после его промывания для удаления  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  как нелетучего соединения солонец превратится в почву, целиком или почти насыщенную кальцием (из гипса), а обменного магния он не будет содержать или будет его содержать очень мало. В результате растения, отрицательно относящиеся к высокому отношению  $\text{Ca} : \text{Mg}$ , будут развиваться неудовлетворительно.

Таким образом и при мелиорации солонцов необходимо обратить внимание на обменный магний. Должен отметить, что очень возможно, что многие солонцеватые почвы не особенно высокой солонцеватости могут быть богаты обменным магнием.

В связи с вопросом о гипсовании солонцов отмечу наконец желательность изучения благоприятного действия гипса под некоторые растения на почвах, заведомо не солонцеватых, с точки зрения содержания в них обменного магния. Возможно, что и этот очень темный вопрос получит освещение путем такого изучения.

## **8. К ВОПРОСУ ОБ ОБМЕННОМ ВОДОРОДЕ И ОБМЕННОМ АЛЮМИНИИ В КИСЛЫХ ПОЧВАХ**

Если взять, с одной стороны, кислую естественную почву (подзолистую или латеритную) и кислую, искусственно полученную моим методом обработки например нейтрального чернозема 0,05N соляной кислотой (такая почва названа мной почвой, не насыщенной основаниями, а впоследствии, по выяснении причины ее кислотности, почвой, содержащей обменный водород), а с другой стороны, почву, насыщенную алюминием (заменой всех ее обменных катионов на алюминий с помощью обработки почвы раствором хлористого алюминия), то такие три почвы будут в некоторых отношениях иметь общие свойства: рН водных вытяжек и почвенного раствора у них будет меньше 7, рН вытяжек растворами нейтральных солей будет значительно меньше, чем рН водных вытяжек, и в эти солевые растворы из всех этих почв будет переходить алюминий (полуторные окислы). Переход в раствор солевых вытяжек алюминия из кислых почв послужил Daikushara и его последователям основанием принять, что причиной кислотности почв является присутствие в них обменного алюминия, иными словами уподобить эти почвы почвам, искусственно насыщенным алюминием. Как мы видели выше, формальное основание к этому имелось.

Когда я в самом начале своих работ по изучению поглотительной способности почв натолкнулся на тот факт<sup>1</sup>, что все достаточно оподзоленные почвы даже тогда, когда, водные их вытяжки имели нейтральную реакцию (качественная проба), с растворами нейтральных солей дают кислые вытяжки, то, сопоставляя это с условиями генезиса подзолистых почв, я пришел к выводу, что в этих почвах происходит обмен катионов взятой соли на содержащийся в почве водород. Когда далее в ходе своих исследований явлений обмена в почве я экспериментально доказал, что все катионы-металлы могут вступать в поглощающий комплекс почвы, становясь там на место природных обменных катионов, то совершенно естественно я стал искать способа ввести в почву водородный ион вместо обменного металла-катиона, так как никакой принципиальной разницы между катионами-металлами и катионом водорода разумеется нет. Для меня было ясно, что все дело в том, чтобы найти подходящий метод, подходящую кислоту, при обработке которой почва возможно мало разрушалась бы<sup>2</sup>. Такой метод был найден мною в виде обработки почвы соляной кислотой не выше 0,05N<sup>3</sup>. Такая обработка даже до полного вытеснения обменных оснований почвы разрушает нейтральные и щелочные почвы очень слабо. Полученную таким образом почву я по аналогии с подзолами назвал почвой, ненасыщенной основаниями, или почвой, насыщенной водородным ионом. Принимая во внимание ход выщелачивания почвы при такой обработке и возможную концентрацию алюминия (полуторных окислов) в промывающей жидкости и соотношение ее с концентрацией водородного иона в той же жидкости, я считал и считал, что допустить вхождение алюминия как одного из продуктов разрушающего на почву действия 0,05N кислоты в поглощающий почвенный комплекс чернозема, первоначально без сомнения не содержавшего обменного алюминия, нет никаких оснований. Но все-таки прямого доказательства того, что в естественных кислых почвах и в искусственно полученных почвах, «ненасыщенных основаниями», обменным катионом является именно водород, у меня до последнего времени не было, и оставался открытым вопрос, откуда в почве полученной таким образом после обработки 0,05N HCl (а также в естественных оподзоленных почвах), берется тот алюминий, который в дальнейшем вытесняется катионами растворов нейтральных солей. Нужно иметь в виду, что то небольшое разрушение почвы, которое имеет место при приготовлении моим методом почвы, ненасыщенной основаниями, идет преимущественно в конце промывания почвы кислотой, а главным образом уже при отмывании почвы от оставшейся

<sup>1</sup> К. Г е д р о й ц, На каких почвах действует фосфорит. Почвы, насыщенные и ненасыщенные основаниями, «Журнал опытной агрономии», 1911 г., т. XII.

<sup>2</sup> Применявшаяся мною раньше для этой цели углекислота (см. мою статью «Еще о почвах, на которые действует фосфорит», «Журнал опытной агрономии», 1911 г., т. XII) переводила почву из насыщенного в ненасыщенное состояние, но, во-первых, способ этот требовал очень продолжительной обработки, а главное и после продолжительной обработки ненасыщенность получалась ничтожной, а для доказательства равноправия водородного иона с остальными катионами в отношении возможности обмена и для изучения хода обмена нужно было получить почву, емкость обмена которой была бы насыщена водородом.

<sup>3</sup> К. Г е д р о й ц, Почвы, ненасыщенные основаниями, «Журнал опытной агрономии», т. XXII, 1931 г. стр. 1.

в ней соляной кислоты. Если этого отмывания не производить, то разрушение почвы самое ничтожное. И все-таки при промывании растворами нейтральных солей такой почвы, искусственно превращенной в ненасыщенную основаниями, из почвы вымывается алюминий.

Теперь мы имеем возможность установить происхождение алюминия. Нижеследующий опыт определенно показывает, что алюминий, вымываемый из почвы, ненасыщенной основаниями, является продуктом разрушения алюмосиликатной части почвенного поглощающего комплекса в период промывания ненасыщенной почвы раствором нейтральной соли вследствие разрушающего действия той же кислоты, которая освобождается при реакции взаимного обмена между катионом взятой соли и обменным водородом ненасыщенной почвы; для этого разрушения в этом случае имеются благоприятные условия: с одной стороны, концентрация освобождающейся кислоты в области почвы может при этом промывании достигать заметной величины, а с другой стороны, продукты разрушения быстро уносятся из области почвы промывающей жидкостью. Доказать это нам удалось применением нашего углекислого метода определения емкости обмена<sup>1</sup>.

Две навески насыщенного основаниями чернозема по 5 г каждая переводились в ненасыщенное состояние промыванием почвы на воронке 0,05N соляной кислотой; по окончании полного вытеснения обменных оснований одна из навесок смывалась водой с фильтра в чашечку и тщательно смешивалась с 1 г  $\text{CaCO}_3$ ; жидкость после этого отфильтровывалась через ту же воронку, и вся почва из чашки снова собиралась на фильтре. Затем обе навески на воронках (одна несмешанная с  $\text{CaCO}_3$ , а другая смешанная с ним) промывалась 1,0N раствором хлористого натрия для насыщения почвы натрием. Промывание воды из воронки, содержавшей ненасыщенную основаниями почву, были кислы (вытеснение натрием водородного иона), а вытекавшие из воронки с ненасыщенной почвой, но смешанной предварительно с  $\text{CaCO}_3$ , были с самого начала щелочными. Ясно, что во втором случае вся ненасыщенность была нейтрализована при смешении почвы с  $\text{CaCO}_3$ . Таким образом, если разрушение почвы происходит при промывании ненасыщенной почвы раствором хлористого натрия, то в том случае, когда почва перед промыванием раствором хлористого натрия смешивалась с углекислым кальцием, промывание хлористым натрием не должно было разрушать алюмосиликатного поглощающего комплекса. В обоих случаях промывание раствором хлористого натрия производилось одинаковыми порциями каждый раз и в общем одинаковым объемом раствора, а именно мы промывали обе воронки до тех пор, пока фильтрат из воронки с ненасыщенной почвой без мела не становился совершенно нейтральным. После этого навески вместе с фильтрами переносились в стеклянные банки с притертыми пробками; в банку с навеской, в которую не прибавлялся углекислый кальций, вносился 1 г его; приливалось затем в каждую банку по 1 л дистиллированной воды, взбалтывалось и в течение 3 часов при частом взбалтывании пропускался ток углекислоты. Вытесненный из почвы кальций натрий в виде углекислого натрия определялся объемным методом (титрование соды после тщательного отделения  $\text{CaCO}_3$ ).

<sup>1</sup> Метод описан в «Известиях ГИОА», 1929 г., 5.

Вот результаты для одного чернозема:

Емкость поглощения первоначального чернозема . . . . .	52,0 мг-экв.
Она же в ненасыщенном основании чернозема после насыщения его Na без прибавления $\text{CaCO}_3$ . . . . .	33,6 »
Она же в ненасыщенном основании чернозема при насыщении его Na после прибавления $\text{CaCO}_3$ . . . . .	48,6 »

Результаты показывают, что в том случае, когда обработка ненасыщенной основаниями почвы раствором нейтральной соли ведется в таких условиях, что не происходит образования свободной соляной кислоты, емкость обмена получается почти такая же, как и у первоначальной почвы; она уменьшилась лишь на 3,4 мг-экв., или на 6,5% первоначальной величины; это уменьшение емкости надо отнести на разрушение алюмосиликатного поглощающего комплекса чернозема при переводе его в ненасыщенное основаниями состояние.

Совершенно другая картина получается, когда ненасыщенная основаниями почва насыщается натрием в отсутствие углекислого кальция, т. е. в условиях освобождения из хлористого натрия соляной кислоты; после такой обработки емкость обмена почвы упала до 33,6 мг-экв., или на целых 36,8%. Результат ясно показывает, что разрушение алюмосиликатного поглощающего комплекса ненасыщенной почвы происходит не тогда, когда почва переводится из насыщенной в ненасыщенную, а почти исключительно уже после, когда полученная ненасыщенная основаниями почва обрабатывается растворами нейтральных солей; вот источник того алюминия, который конструируется в растворах при вытеснении обменных катионов из ненасыщенной основаниями почвы обработкой почвы растворами солей; это — обменный алюминий, а алюминий — продукт разрушающего действия на почвенный поглощающий комплекс этой кислоты, которая освобождается из соли вследствие обмена ее катиона на поглощенный водород почвы. Таким образом доказательство того, что главная масса алюминия освобождается из алюмосиликатной части почвы не во время перевода почвы обработкой кислотой в ненасыщенное состояние, а во время обработки полученной ненасыщенной почвы растворами нейтральных солей, попутно опровергает допущение, что причиной кислотности ненасыщенной почвы является обменный алюминий (полуторные окислы); если же не алюминий (полуторные окислы), то остается только обменный водород. У нас имеется еще одно еще более убедительное и более прямое доказательство этому — доказательство совсем иного порядка. В последнее время нами были проведены вегетационные опыты для выяснения отношения растений к почве, обменная емкость которой была насыщена разными катионами. Для опыта был взят тучный чернозем (пахотный горизонт), который полностью насыщался тем или другим катионом обработкой раствором хлорида этого катиона; почва затем промывалась водой до полного удаления хлор-иона, высушивалась и поступала в опыт.

Между прочим обменными катионами исследовалось отношение растения к почве, насыщенной Al, Fe, и к почве, ненасыщенной основаниями (насыщенной H).

Опыты ставились в маленьких цинковых сосудах на 600 г почвы, в почву вносились удобрения по следующей схеме:

2 сосуда, удобренные N, P, K и Mg  
 2 » » N, P, K и Mg и 10 г CaCO<sub>3</sub>

Опытным растением служил овес, который был убран в зрелом состоянии.

Мы здесь остановимся только на данных, полученных на первоначальной почве, на почве, превращенной в ненасыщенную основаниями обработкой 0,05N соляной кислотой, на почве, насыщенной алюминием (обработкой раствором AlCl<sub>3</sub>), и на почве, насыщенной железом (обработка раствором FeCl<sub>3</sub>).

Вот полученные в этом опыте урожаи (среднее из двух параллельных сосудов) в граммах на сосуд:

Таблица 26

Виды чернозема	Удобрение	Урожай		
		Верха	Соломы	Общий
Чернозем первоначальный (обменные Ca и Mg) . .	N, P, K, Mg . . . . .	1,44	4,51	5,95
	То же + 10 г CaCO <sub>3</sub> .	1,45	4,14	5,59
Чернозем, ненасыщенный основаниями (обменный H) . . . . .	N, P, K, Mg . . . . .	0	0,21	0,21
	То же + 10 г CaCO <sub>3</sub> .	1,61	4,10	5,72
Чернозем, насыщенный алюминием (обменный Al) . . . . .	N, P, K, Mg . . . . .	0	0,24	0,24
	То же + 10 г CaCO <sub>3</sub> .	0,81	1,80	2,61
Чернозем, насыщенный железом (обменный Fe <sup>+++</sup> ) .	N, P, K, Mg . . . . .	0	0	0
	То же + 10 г CaCO <sub>3</sub> .	0,23	0,77	1,00

Мы видим, что на черноземе, обработанном 0,05N соляной кислотой до полного вытеснения его обменных оснований, и на почвах насыщенных Al и Fe<sup>+++</sup>, по полному удобрению без CaCO<sub>3</sub> овес или вовсе не рос (почва, насыщенная Fe) или дал совсем ничтожный урожай; очевидно почвы эти заключали в себе вредные вещества, появившиеся в них в результате произведенных над черноземом обработок. Прибавка углекислого кальция улучшает рост овса во всех трех случаях. Но в то время как углекислый кальций повышает урожай на черноземе, переведенном в ненасыщенное состояние, до той же величины, какая получалась на первоначальном черноземе (около 6 г на сосуд), на почве, насыщенной алюминием, и на почве, насыщенной железом, по углекислому кальцию урожай далеко не достигает этой величины. Из этих данных совершенно ясно, что почва, в действительности насыщенная алюминием (железо), чем-то существенно отличается от почвы, обработанной 0,05N соляной кислотой; совершенно очевидно, что различие может заключаться лишь в неодинаковом обменном катионе в той и другой почве; оба эти катиона ядовиты для растений, но в то время как CaCO<sub>3</sub> совершенно уничтожает ядовитость свойств почвы обработкой 0,05N соляной кислотой и превращает эту почву в отношении действия ее на растение в совершенно аналогичную первоначальному чернозему почву, насыщенную алюминием, это вещество улучшает

только лишь частично. Сопоставляя сказанное, приходится сделать единственно возможный вывод, что в почве, обработанной 0,05N HCl, в поглощенном состоянии нет алюминия, который ядовит для растений (эта ядовитость не может быть, понятно, уничтожена углекислым кальцием), и что в этой почве мы имеем дело с обменным водородом, тоже ядовитым для растения, но ядовитость которого должна совершенно уничтожиться достаточным количеством углекислого кальция<sup>1</sup>.

Мы считаем, что выясненное нами выше происхождение алюминия, который появляется в растворе при промывании солевыми растворами почв, предварительно обработанных 0,05N соляной кислотой, и приведенное физиологическое доказательство присутствия в этих почвах именно обменного водородного иона окончательно решают вопрос о природе кислых почв: это — почвы, действительно ненасыщенные основаниями, т. е. содержащие обменный водород; водородный ион также способен обмениваться с поглощенными катионами почвы, как и всякий другой катион.

Рассмотренный здесь вопрос имеет не только большое теоретическое значение для познания почвенных процессов, но может представлять по моему мнению и практический интерес. Дело в том, что, как мной и раньше отмечалось, нельзя отрицать того, что при особых местных условиях почвообразования могут возникать не только почвы, содержащие обменный водород, но и почвы с обменным алюминием, т. е. тоже кислые почвы, но существенно иного характера. Так вот, если почвы с поглощенным водородом могут быть доведены известкованием до урожайности такой величины, какая должна была бы быть у этих почв в том случае, когда они содержали бы в своем поглощающем комплексе только обменные кальций и магний, то достичь этого одним известкованием в кислых почвах, содержащих обменный алюминий, очевидно невозможно; известкование и в этом случае даст положительный результат, так как оно уничтожит возможность кислой реакции почвенного раствора, но не уничтожит второго вредного начала этих почв — алюминия. Для полной мелиорации таких почв необходимо выработать кроме известкования другие приемы мелиорации, а прежде всего нужно разработать простой и достоверный метод распознавания этих почв.

Кисловодск, март, 1930 г.

## 9. ДЕЙСТВИЕ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА НА ПОЧВУ<sup>2</sup>

В последние годы был сделан ряд попыток применения перекиси водорода как окислителя почвенных органических веществ к разрешению некоторых почвенных проблем.

Так А. Н. Соколовский<sup>3</sup> в своих исследованиях явлений

<sup>1</sup> Одно из существенных различий между обменным водородом почвы и всеми другими вредными растениям обменными катионами почвы заключается в том, что первый из них вследствие летучести и ничтожной электролитической диссоциации угольной кислоты может быть внесением углесолей и свободных гидратов окислей почти нацело удален из области почвы, в то время как другие вредные обменные катионы не удаляются из области почвы внесением каких-либо веществ.

<sup>2</sup> «Удобрение и урожай», 1931 г., № 9—10.

<sup>3</sup> Н. А. Соколовский, Из области явлений поглощения в почве, «Журнал опытной агрономии», т. 15, 1914 г., стр. 67.

поглощения в почве сделал попытку применить окисление гумуса перекисью водорода к определенной участия гумуса в реакции обмена кальция почвы на аммоний хлористого аммония; им же первым была применена перекись водорода<sup>1</sup> для уничтожения гумуса как цемента, связывающего почвенные илстые частички (или «активный» и «пассивный»), и сделана попытка непосредственного определения гумуса в почвах удалением его перекисью водорода<sup>2</sup>. В 1922 г. G. W. Robinson вводит в механический анализ почвы обработку почвы перекисью водорода как подготовительную подготовку почвы к анализу<sup>3</sup>; в 1925 г. им же был предложен метод обработки почвы перекисью для определения степени гумификации органических веществ в почве<sup>4</sup>.

В 1927 г. W. B. Robinson<sup>5</sup> опубликовал разработанный им метод определения гумуса обработкой почвы перекисью водорода.

В 1928 г. Kegg<sup>6</sup> в своих исследованиях явлений обмена в почве применил обработку перекисью водорода для определения участия гумуса в этих явлениях.

Наконец в только что полученной мною работе McGeorge<sup>7</sup> мы имеем материал по влиянию обработки почвы перекисью водорода на емкость обмена минеральной части почвы.

Все означенные работы, исключая последней (о ней мы скажем в своем месте), носят характер лишь предварительный, так как ни в одной из них мы не находим исследования действия перекиси водорода на почву вообще. Ни один из затронутых авторами вопросов не может быть разрешен и должным образом обобщиан без систематического и всестороннего изучения этого действия, так как обработка перекисью водорода, как мы увидим ниже, вносит ряд существенных изменений в почву. Ниже излагаемое и представляет собою материалы, недостаточные еще полные, по этому вопросу.

Ряд соображений давно уже побуждал меня заняться изучением действия на почву перекиси водорода, с одной стороны, как нейтрального окислителя, а с другой стороны, как окислителя, не вносящего в почву соединений, не удаляющихся простым нагреванием. Главнейшими из таких соображений были следующие.

1. Необходимость найти такой способ удаления из почвы органических ее веществ, если не нацело, то в большей их части, при котором возможно меньше изменялись бы свойства минеральной части почвы; возможность удалить гумус из почвы безболезненно для ее минераль-

<sup>1</sup> Он же, Из области явлений, связанных с коллоидальной частью почвы, «Известия Петровской с.-х. академии, 1919 г., стр. 85.

<sup>2</sup> Он же, Учет потребности почв в азоте и новый метод химико-механического анализа почв, «Труды НИУ», вып. 13, 1923 г.

<sup>3</sup> G. W. Robinson, Note on the Mechanical Analysis of Humus Soils, «S. Agr. Sc.», v. 12, 1922, стр. 287.

<sup>4</sup> Он же и J. O. Jones, A. Method for Determining the Degree of Humifications of Soil Organic Matter, там же, v. 15, 1925, стр. 26.

<sup>5</sup> W. O. Robinson, The Determination of Organic Matter in Soils by means of Hydrogen Peroxide, «J. Agric. Res.», v. 34, 1927, стр. 339. Дальнейшее исследование этого метода см. Н. Вернадер, До методики анализа гумус у грунта, «Тр. п. досл. кат. грунтознатства», т. I, 1930, стр. 199.

<sup>6</sup> H. W. Kegg, The Nature of Base Exchange and soil Acidity, «S. Amer. Soc. Agr.», v. 20, 1928, стр. 309.

<sup>7</sup> W. T. McGeorge, The Base Exchange Property of Organic Matter in Soils, Univ. of Arisona, T. Bull., № 30, 1930.

ной части, чрезвычайно существенная для изучения свойств этой минеральной части, которые в присутствии гумуса конечно иные, чем в его отсутствие, и изучение которых нам до сих пор еще в отдельности недоступно; с другой стороны, такое удаление гумуса из почвы дало бы нам возможность подойти к экспериментальному изучению влияния гумуса и его различных количеств на свойства почвы вообще и на физические и биологические свойства в частности; целый ряд вопросов, имеющих насущное значение для практики земледелия и для теории почвоведения, к которым мы сейчас можем лишь подходить всякими косвенными путями, основываясь на проблематических часто соображениях, с нахождением такого окислителя получили бы реальную возможность изучения.

2. Указанный способ удаления органических веществ почвы позволил бы нам подойти ближе к изучению зольных элементов гумуса и к выработке методов определения отдельных элементов гумуса.

3. Наконец изучение действия такого окислителя на гумус почвы дало бы нам много ценных указаний на ход процесса окисления гумуса в естественных условиях почвы; всякий даже небольшой намек в этой до сих пор очень темной области может иметь большое значение.

Свои работы с действием перекиси водорода на почву я начал еще в 1915 г., но должен был их скоро прекратить за невозможностью достать этот реактив. В этом исследовании я обратил внимание прежде всего на влияние обработки почвы перекисью водорода на обменные реакции почвы; невозможность, с одной стороны, провести исследование в должном объеме вследствие недостатка перекиси водорода, а с другой стороны, отсутствие в то время подходящего метода исследования емкости обмена ограничили мое исследование испытанием действия раствора хлористого аммония на один только образец почвы, обработанный перекисью водорода; в результате я констатировал, что хлористый аммоний извлекает из почвы после ее обработки перекисью водорода значительно меньше кальция, нежели из первоначальной почвы (почва была бескарбонатной и содержала около 10% гумуса); считая, что минерализовавшийся из органического вещества почвы кальций должен был целиком раствориться во взятом хлористом аммонии, я сделал предположение, что под действием перекиси водорода, по видимому понижается обмен кальция минерального поглощающего комплекса<sup>1</sup>. Как мы увидим ниже, дальнейшее детальное изучение действия перекиси водорода на почву вполне подтвердило факт понижения количества кальция, извлекаемого из почвы соевыми растворами после обработки ее перекисью водорода, но вместе с тем выяснило, что это понижение происходит не за счет уменьшения обмена кальция минерального поглощающего комплекса (т. е. не вследствие ослабления обменной способности этого комплекса под влиянием обработки почвы перекисью водорода), а вследствие трудной растворимости образующихся из гуматного кальция солей кальция при окислении гуматной части перекисью водорода.

Прерванные в 1915 г. исследования действия перекиси водорода на почву нам удалось возобновить в 1929 г. в Лаборатории почвоведения

<sup>1</sup> К. Гедройц, Материалы к познанию поглотительной способности почв, «Журнал опытной агрономии», т. 19, 1918 г., стр. 289.

Ленинградского лесного института, а главную часть их провести уже в лаборатории Долгопрудного опытного поля. К изложению этих исследований мы и перейдем.

Прежде всего, что бросилось нам в глаза при исследовании почв, обработанных перекисью водорода, — это большие количества аммонийных солей, извлекаемых из почвы водой и солевыми растворами; так из тульского тучного чернозема, обработанного перекисью водорода до исчезновения видимых признаков гумуса, водная вытяжка извлекала от 0,124 до 0,141%  $\text{NH}_4$  (что на 100 г первоначальной, необработанной перекисью почвы составляет 0,11—0,127%  $\text{NH}_4$ ); вытяжка 1,0N раствором хлористого калия извлекала от 0,323 до 444%  $\text{NH}_4$ , или на первоначальную почву — 0,29—0,399%  $\text{NH}_4$ .

Было очевидно, что почва, лишенная большей части своего гумуса окислением его перекисью водорода, содержит много воднорастворимого аммония, а значит и поглощенного, и что этот аммоний явился следствием окисления перекисью водорода органического азота почвы. Представлялось интересным исследовать этот вопрос дальше. Из того же образца обработанного перекисью водорода чернозема мною был вымыт и вытеснен весь заключающийся в нем аммоний промыванием этой почвы 1,0N раствором хлористого натрия и 0,5N раствором хлористого калия до исчезновения реакции на аммоний в промывных водах.

Определение в собранных водах аммония перегонкой с окисью магния дало следующие результаты.

Из раствора хлористого натрия получилось 0,55%  $\text{NH}_4$  на обработанную почву, или 0,49% по перечислению на первоначальную почву.

Из раствора хлористого калия получилось 0,565%  $\text{NH}_4$  на обработанную почву, или 0,508% на первоначальную<sup>1</sup>.

Первоначальный чернозем содержал 0,475% азота (на воздушно-сухую почву); после же обработки этой почвы перекисью водорода на 100 г ее метод *Johnson* дал 0,52 г азота, что по перерасчету на первоначальную почву, не лишенную гумуса, составляет 0,467%. Таким образом из 0,475% азота, содержавшегося в первоначальном черноземе, в почве после окисления ее гумуса осталось 0,467%, т. е. в пределах ошибки анализа — весь или почти весь азот, причем из этих 0,467% азота 0,395% были в форме аммиака. Исследование показало, что в почве, обработанной перекисью водорода, содержится и азотная кислота, но в очень небольшом количестве, а именно всего 0,094%  $\text{NO}_3$  от веса почвы, обработанной  $\text{H}_2\text{O}_2$ , или, 0,084%  $\text{NO}_3$  от веса первоначальной почвы, что составляет 0,019% N от веса первоначальной почвы. Таким образом азота в почве, обработанной  $\text{H}_2\text{O}_2$ , в виде аммиачного и нитратного было найдено  $0,395 + 0,019 = 0,414\%$  от веса первоначальной почвы. Общего азота, как указывалось выше, в почве, обработанной  $\text{H}_2\text{O}_2$ , было найдено по перечислению на первоначальную гумусовую почву 0,467%, т. е. в этой обработанной почве оказалось 0,057% азота в каких-то иных соединениях, но не в виде аммонийных и нитратных; очень вероятно, это —

<sup>1</sup> Все вышеприведенные отдельные определения произведены автором совместно с О. П. Досмановой.

азот оставшихся недоокисленных органических соединений почвы: непосредственное определение гумуса по Кюпу в этом образце чернозема, обработанного перекисью водорода, показало, что в нем осталось еще 1,94% гумуса<sup>1</sup> (об этом подробнее будет сказано ниже).

Итак на основании исследования вышеозначенного образца чернозема, обработанного перекисью водорода до видимого на-глаз удаления гумуса, мы приходим к выводу, что органический азот почвы при этом окислении почти нацело переходит в аммиак, а азотной кислоты образуется очень мало; потери азота при применявшейся обработке не наблюдалось; недостающие же до общего количества азота в почве около 0,05% азота повидимому остались в почве в виде каких-то органических соединений.

Дальнейшие исследования над судьбой органического азота при окислении гумуса почвы перекисью водорода мы продолжили с пахотным горизонтом другого образца тучного чернозема, а именно из Каменностенной опытной станции (содержание гумуса в нем — 9,29%<sup>1</sup>, азота — 0,486%<sup>1</sup>). Целью этого исследования было выяснить влияние на количество образующегося аммиака:

- 1) степени обработки почвы перекисью водорода;
- 2) присутствия углекислого кальция;
- 3) прокалывания почвы после обработки ее перекисью водорода.

В исследованных образцах кроме общего количества аммиака (дистилляция почвы с окисью магния) определялось: количество оставшегося гумуса по Кюпу (причем предварительным исследованием было установлено, что прибавление к почве даже очень большого количества сернистого аммония вовсе не влияет на определение гумуса по этому методу), количество углекислоты и рН хитидронным методом в суспензии.

Для этого исследования обработка почвы перекисью водорода велась мною следующим образом.

Был взят ряд навесок по 5 г чернозема без прибавления  $\text{CaCO}_3$  и две навески по 5 г чернозема +1 г  $\text{CaCO}_3$ ; все навески были помещены в невиские стаканы — без  $\text{CaCO}_3$  емкостью в 200 см<sup>3</sup>, а с  $\text{CaCO}_3$  — емкостью в 500 см<sup>3</sup>. Во все стаканы было прилито по 10 см<sup>3</sup> воды и по 10 см<sup>3</sup> 30% перекиси водорода; стаканы были покрыты часовыми стеклами и оставлены в теплом месте на ночь. Реакция началась тотчас же, причем в стаканах без  $\text{CaCO}_3$  она шла довольно спокойно, в стаканах же с углекислым кальцием очень бурно; приходилось прибегать к охлаждению в холодной воде, и если бы были взяты меньшей величины стаканы, то несомненно, как это у меня не раз случалось, содержимое вылезло бы из стакана. На следующее утро в стаканах без  $\text{CaCO}_3$  почва пожелтела, а в стаканах с  $\text{CaCO}_3$  осталась без изменения. Все стаканы с почвой без углекислого кальция были перенесены на кипящую водяную баню, и обработка перекисью продолжалась, причем в I группу стаканов прибавлено было еще 10 см<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{O}_2$  (всего 20 см<sup>3</sup>), и этим обработка была закончена; почва имела вид совершенно лишенной гумуса, но отстоявшаяся жидкость была слабожелтого цвета; во II группу стаканов без углекислого кальция было прибавлено последовательно в каждый еще 10+10+10 см<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{O}_2$ , т. е. всего 40 см<sup>3</sup>;

<sup>1</sup> Анализ А. Н. Вольской.

отстоявшаяся жидкость имела чуть желтоватый оттенок; в III группу стаканов было прибавлено в каждый последовательно еще 10+10+10+20 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, т. е. всего 60 см<sup>3</sup>; отстоявшаяся жидкость была бесцветна.

В стакане с почвой плюс углекислый кальций обработка перекисью водорода продолжалась сначала в теплом месте, так как реакция шла очень бурно, а затем — на водяной бане при 80°; всего было израсходовано 60 см<sup>3</sup> перекиси водорода (т. е. столько же, как и в III группе стаканов). Анализ полученных почв дал следующие результаты:

Таблица 27

В процентах на воздушно-сухую первоначальную (с гумусом) почву

Способ обработки	Аммонийный азот (перегонка в MgO)	Г. гумуса по Клопу	CO <sub>2</sub>	pH	Анализатор
I группа, 20 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . .	0,400	1,40	0	5,3	А. Н.
II " 40 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . .	0,398	1,42	0	5,0	Вольская
III " 60 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . .	0,461	1,12	0,1	7,3	"
Почва + CaCO <sub>3</sub> , 60 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . .	0,312	4,81	—	—	"

Данные для аммиачного азота показывают, что при достаточной обработке почвы перекисью водорода весь ее органический азот переходит в аммиачный; если к проценту полученного аммиачного азота в почве, обработанной 60 см<sup>3</sup> перекиси водорода, прибавить азот образовавшейся при этой обработке в небольшом количестве азотной кислоты (около 0,008% NO<sub>3</sub>), то полученное таким образом количество азота как раз совпадает с общим количеством азота, содержащимся в исследуемой первоначальной почве.

Интересно было исследовать, не может ли теряться аммиак, образовавшийся из органического азота при окислении гумуса перекисью водорода, если окисление вести особенно энергично. Для этого в одном из стаканов III группы по окончании обработки его 60 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> мы продолжали обработку еще 10+10 см<sup>3</sup> перекиси водорода при кипячении на голом огне; анализ показал, что вследствие такого кипячения содержание аммиачного азота упало с 0,461 до 0,252%<sup>1</sup>.

Из таблицы мы видим, что при обработке почвы перекисью водорода в присутствии значительного количества углекислого кальция количество аммиака в почве сильно уменьшается: при той постепенной и продолжительной обработке при температуре не выше 80°, какая велась в образцах, анализ которых дан в таблице, содержание аммиачного азота упало с 0,461 (почва без CaCO<sub>3</sub>) до 0,312%<sup>2</sup>; ясно, что кальций углекислого кальция вытеснял аммоний из летучих аммонийных солей и последний улетучивался; что в данном случае действительно происходила потеря аммиака, а не неполное окисление органического азота почвы в присутствии CaCO<sub>3</sub>, показывает

<sup>1</sup> Анализ А. Н. Вольской.

<sup>2</sup> Анализ А. Н. Вольской.

определение общего азота (по Кнелльдалю) в одной из навесок почвы, обработанной перекисью по-вышеизложенному; мы получили в этом случае 0,321% азота, т. е. то же его содержание, как и аммиачного азота.

Если обработку перекисью вести в присутствии в почве  $\text{CaCO}_3$  более энергично, то потеря аммиака получается более значительной; так в одном из опытов при нагревании на кипящей водяной бане получилось в почве 0,112%, а при кипячении обрабатываемой почвы на голом огне — всего лишь 0,082% аммиачного азота.

Обращаемся теперь к данным содержания гумуса в почве после обработки ее перекисью водорода. Табл. 1 показывает, что при всех способах обработки, применявшихся в этом исследовании, гумус не был нацело удален из почвы; при самой энергичной обработке ( $60 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$  на 5 г почвы) в почве осталось еще гумуса 1,12% от веса почвы; в данном случае результаты лучше выражать не в гумусе, а в органическом углероде, так как несомненно, что если коэффициент перевода углекислоты, получаемой в методах К н о п а или Г у с т а в с о н а, на гумус соответствует в той или другой степени составу гумуса в первоначальном черноземе, то для остатка гумуса, не сжигаемого перекисью водорода, он является совершенно фиктивным. В исходном черноземе содержалось 5,40% органического углерода, а после окисления 5 г почвы  $60 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$  осталось 0,65% углерода от веса почвы, или 12% от первоначального содержания в почве углерода.

Представлялось интересным выяснить, нельзя ли этот остаточный углерод все-таки окислить перекисью водорода, применив для этого еще больше ее количества и при более высокой температуре взаимодействия. Для этого две из навесок предшествующего опыта, обработанных  $60 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$ , обрабатывались еще каждая  $50+50+50 \text{ см}^3$  перекиси при кипячении на голом огне; в результате количество оставшегося углерода понизилось очень незначительно, а именно в почвах, таким образом обработанных, осталось 0,56% углерода от веса почвы, или 10% от первоначального углерода.

Таким образом гумус чернозема невозможно полностью минерализовать окислением перекисью водорода, как бы энергично и в каких бы больших количествах ни обрабатывать ею почву; после такой обработки в исследовавшемся черноземе, содержащем 5,4% органического углерода, осталось еще около полупроцента (на вес почвы) органического углерода, т. е. около 10% от первоначального содержания углерода; очевидно в числе органических соединений гумуса имеются очень стойкие, не поддающиеся действию  $\text{H}_2\text{O}_2$  вещества; повидимому по крайней мере часть этих веществ представляет уголь.

Та же таблица показывает, что в присутствии углекислого кальция действие перекиси водорода на гумус очень сильно понижается: после действия на 5 г чернозема  $60 \text{ см}^3$  перекиси водорода в отсутствие  $\text{CaCO}_3$  в почве осталось 1,12% гумуса (0,56% органического углерода), а в присутствии  $\text{CaCO}_3$  — 4,81% гумуса, или 2,78% органического углерода.

Перехожу теперь к двум последним столбцам вышеприведенной таблицы — к содержанию углекислоты и концентрации водородных ионов в почве после обработки ее перекисью водорода. Мы видим, что при первых двух степенях обработки почвы перекисью, когда в вод-

ном растворе оставались еще заметные количества органических соединений, углесоей почва вовсе не содержала, а рН в почве был 4,3 и 5,0, т. е. почва содержала свободные органические кислоты, и только при наиболее энергичной обработке мы получили слабощелочную реакцию (рН 7,3) и ничтожное содержание  $\text{CO}_2$ —0,1% от веса почвы. Явление — чрезвычайно интересное и заслуживающее тщательного изучения и большого внимания. В целях более близкого его изучения мы произвели следующие опыты.

Был взят ряд навесок того же чернозема по 10 г каждая, и в стаканах к ним прибавлялись по 25 см<sup>3</sup> воды и разные количества 30-процентной перекиси водорода; при больших количествах перекиси она прибавлялась во избежание вылезания пены не сразу, а постепенно; стаканы, закрытые стеклами, оставались некоторое время на холоду, а затем перепосились закрытыми на кипящую баню, а когда реакция взаимодействия прекращалась, они открывались, и содержимое выпаривалось досуха. После этого во всех почвах определялась величина рН хингидронным электродом.

Вот полученные результаты:

Таблица 28

Величина рН почвы в зависимости от степени обработки почвы  $\text{H}_2\text{O}_2$ <sup>1</sup>

Количество $\text{H}_2\text{O}_2$ в см <sup>3</sup>	рН	Количество $\text{H}_2\text{O}_2$ в см <sup>3</sup>	рН
0	6,75	20,0	3,75
0,5	6,49	25,0	4,08
1,0	6,49	30,0	4,28
2,0	6,19	50,0	5,63
5,0	6,06	60,0	5,73
7,5	4,95	80,0	5,82
10,0	4,63	100,0	5,92
10,0	4,62	—	—
15,0	4,15	—	—

В первоначальной почве рН равно 6,75; уже самое малое количество перекиси понизило его до 6,49, а затем с увеличением количества перекиси рН становилось все меньше и меньше; таким образом окисление органических веществ чернозема сопровождается образованием нелетучих органических кислот (отчасти и минеральных, азотной и серной кислот, см. ниже), количество которых с увеличением количества перекиси водорода сначала все возрастает, освобождающихся из гумуса зольных катионов и в том числе обменных оказывается недостаточно для нейтрализации образующихся кислот, жидкость остается кислой, кислотность эта по мере окисления гумуса становится все выше и выше, и образующаяся углекислота как конечный продукт минерализации тех или других органических соединений почвы освобождается и улетучивается. Несомненно между процессом окисления органических соединений почвы перекисью водорода и тем же процессом, протекающим естественно в почве, существует некоторая ана-

<sup>1</sup> Определение рН произведено А. Н. Вольской.

логия, и на основании полученных нами результатов можно определенно утверждать, что в том и другом случае общее направление процесса одно и то же и что различаются они главным образом в степени своей интенсивности; таким образом и в естественных условиях постепенное разложение органических веществ почвы должно идти (в отсутствие готовых карбонатов или при малом содержании их) не с образованием карбонатов зольных катионов органических веществ, а с образованием солей нелетучих органических кислот (отчасти и минеральных) и свободных кислот; углекислота улетучивается, и рН почвы постепенно понижается; этим только и можно объяснить многие почвенные явления, до сих пор казавшиеся странными (для меня по крайней мере) и непонятными, так например хотя и очень небольшую, но все же кислотность пахотного горизонта тучного чернозема нашего опыта; процесс разложения гумуса в этом горизонте несомненно идет; если бы он совершался с образованием углесолей щелочноземельных и щелочных металлов — зольных катионов гумуса, то рН в пахотном горизонте должен бы быть больше 7 и постепенно с течением времени все возрастать; мы же имеем обратное, что на основании изложенного становится вполне понятным; особенно резко это выявляется в перегнойно-карбонатных почвах, где при обилии органических веществ и высоком горизонте вскипания разложение гумуса явно идет с образованием солей нелетучих органических кислот, избытка свободных кислот и с улетучиванием  $\text{CO}_2$ , в результате чего верхний горизонт почвы ясно кислый. Совершенно в таком же направлении должен протекать процесс разложения гумуса и в солонцовых почвах, так как ясно, что замена поглощенного кальция и магния на натрий не увеличивает в гумусе количества зольных элементов, способных нейтрализовать образующиеся при окислении свободные органические кислоты; поэтому наряду с солонцеватостью мы имеем кислые почвенные растворы в бескарбонатных солонцах<sup>1</sup>.

Как показывает далее вышеприведенная таблица, после постепенного уменьшения рН с усилением обработки перекисью водорода и достижения ими некоторой минимальной величины (в нашем случае 375), которая получается уже при очень заметном на-глаз уменьшении содержания гумуса, наступает постепенное повышение этой величины; очевидно количество вновь образующихся органических кислот начинает уступать место количеству разрушающихся, уже существующих в тот момент органических кислот с освобождением связанных ими оснований. В этом опыте нам не удалось получить щелочной реакции; наступление ее зависит не только от количества употребленной перекиси водорода, но и от способа обработки почвы ею и в первую очередь от температуры.

<sup>1</sup> Я думаю, что то же явление — образование при разложении гумуса в естественных условиях солей кальция органических кислот, трудно растворимых в применяющихся для определения обменных катионов и обменной емкости — играет известную роль в сезонных и годичных изменениях емкости обмена, констатированных М. А. Винокуровым, а затем и другими исследователями; в этих комбинациях большую роль вообще должен играть режим простых солей и в частности вышеуказанных солей органических кислот; их содержание в почве должно сильно колебаться в зависимости от метеорологических условий, вследствие их трудной растворимости они могут не учитываться при определенных, что в зависимости от их количества будет конечно не одинаково сказываться и на количестве обменных оснований и на обменной кислотности.

Перехожу теперь к растворяющему действию воды на почву, обработанную перекисью водорода. Действие это изучалось с помощью водных вытяжек. Прежде всего приведу данные водной вытяжки (отношение веса почвы к весу воды 1 : 10, время воздействия — 3 минуты) для тульского тучного чернозема (пахотный горизонт), о котором речь была в начале этой статьи, в нижеследующей таблице (табл. 3); почва I означает необработанный перекисью первоначальный чернозем, а почва II — этот же чернозем, обработанный перекисью до видимого исчезновения гумуса (эти данные перечислены на вес первоначального тучного чернозема).

Таблица 29

Из 100 г сухой почвы вода извлекает (в г <sup>1</sup>)

Почва	Остаток водной вытяжки			SiO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CaO	MgO	Воднораствор. гумус в см <sup>3</sup> 0,05N MO <sub>2</sub> K
	сухой	прокаленный	потери от прокаливании					
I . . . . .	0,205	0,068	0,136	0,018	0,002	0,025	0,006	140
II . . . . .	1,787	0,428	1,359	0,023	0,036	0,094	0,070	912

Таблица показывает, что после обработки почвы перекисью водорода в ней очень сильно повысилось количество воднорастворимых веществ; повышение это падает главным образом на вещества, улетающие при прокаливании сухого остатка (потери от прокаливании увеличилась в десять раз сравнительно с той, какая была при первоначальной гумусной почве), а именно на органические вещества и химически связанную воду и аммиак; количество воднорастворимых минеральных веществ увеличилось не так сильно (с 0,068 до 0,428), но все-таки очень заметно. В минеральной части сухого остатка обработка перекисью водорода сильно повысила количества полуторных окислов, кальция и магния; общая сумма определявшихся в минеральной части веществ значительно меньше прокаленного остатка (а именно 0,243 г при прокаленном остатке 0,428); как мы увидим ниже, недостающее количество почти полностью покрывается неопределявшеюся в этом опыте серной кислотой.

Было интересно исследовать влияние степени обработки почвы перекисью водорода на количество веществ, извлекаемых водой.

С этой целью три навески пахотного горизонта каменноземного тучного чернозема по 100 г каждая обрабатывались различными количествами 30-процентной перекиси водорода, а именно:

1-я навеска . . . . .	140 см <sup>3</sup> (порциями по 10 см <sup>3</sup> )
2-я » . . . . .	240 » » » 10 »
3-я » . . . . .	390 » » » 10 »

причем уже первая самая слабая обработка на-глаз уничтожила весь гумус почвы, но отстоявшаяся жидкость после удаления полностью

<sup>1</sup> Анализ произведен совместно с О. П. Досмановой.

перекиси была желтая. Из полученных таким образом почв приготовлялась водная вытяжка (1 : 5) при 3-минутном взбалтывании<sup>1</sup>. Анализ фильтра дал нам следующие результаты (табл. 30).

Данные таблицы показывают, что с увеличением количества перекиси водорода, действовавшей на 100 г почвы, понижались: потеря от прокаливания сухого остатка водных вытяжек, количество растворимого гумуса и количество оставшегося в почве водой неизвлекаемого гумуса<sup>2</sup>. При наиболее энергичной из применявшихся обработок перекисью ( $390 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$  на 100 г почвы) воднорастворимых органических веществ в почве осталось немногим лишь больше, чем в первоначальном черноземе; при этой обработке все те органические соединения, которые образовывались из гумуса почвы при более слабой обработке перекисью и переходили в раствор, почти нацело сжигались перекисью. Вместе с уменьшением количества воднорастворимых органических веществ уменьшалось количество свободных кислот в вытяжке (понижение титровальной кислотности) и возрастала величина pH; при наиболее сильной обработке жидкость уже слабощелочная и содержит углесоль.

Вместе с уменьшением просушенного остатка водной вытяжки и его потери от прокаливания идет уменьшение и минерального остатка водной вытяжки, определенного прокаливанием сухого остатка; так как водная вытяжка из почвы, обработанной перекисью водорода, содержит аммонийные и сернокислые соли, то очевидно прокаленный остаток ее не дает истинного представления о количестве минеральных веществ, извлекаемых водой из почвы, обработанной перекисью водорода; о нем надо судить по количеству извлекаемых из такой почвы отдельных элементов. Анализ вытяжки показывает, что при сравнительно слабой обработке почвы перекисью, когда в водный раствор переходит еще много органических соединений (хотя в самой почве остается очень мало гумуса)<sup>3</sup> и в том числе свободные органические кислоты, водная вытяжка извлекает из почвы сравнительно много минеральных веществ (кремнекислоты, полуторных окислов, кальция и магния); более сильная обработка (2-я в нашем опыте) дает вместе с уменьшением кислотности и повышением pH до 5,0 уже заметно меньшие количества этих веществ, извлекаемых водой; наконец при самой сильной из применявшихся обработок реакция почвы стала уже слабощелочной, и количества  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , извлекаемых водой из обработанной почвы, падают почти до величин, получаемых в водной вытяжке из первоначального, необработанного пе-

<sup>1</sup> В этом опыте обработка перекисью водорода велась при кипячении на голом огне. Сравнение полученных данных с другими, где обработка велась на кипящей бане, показывает, что эффект действия  $\text{H}_2\text{O}_2$  в значительной степени зависит от температуры: окисление органических веществ при одном и том же количестве  $\text{H}_2\text{O}_2$  на единицу веса почвы при кипячении на голом огне происходит гораздо полнее, чем при нагревании на кипящей водяной бане.

<sup>2</sup> Определение гумуса в почвах велось после отфильтрования водных вытяжек и промывки почвы на фильтре 50 см<sup>3</sup> воды.

<sup>3</sup> А именно почти то предельное его количество, которое уже не сжигается перекисью; как мы выше указывали, при применении очень больших количеств  $\text{H}_2\text{O}_2$  и кипячении на голом огне мы не могли понизить остаточного количества гумуса в исследуемом черноземе ниже 0,97% от веса почвы, а при той самой слабой обработке, о которой здесь в данном опыте идет речь, количество оставшегося в почве гумуса равно 1,46% от веса почвы.

рекистью чернозема. Из определенных нами минеральных веществ, извлекаемых водой, с усилением обработки почвы перекисью водорода показывают обратное отношение лишь серная кислота и аммиак; их количества не уменьшаются, а увеличиваются параллельно усилению обработки; легко видеть, что это как раз те минеральные вещества, которые возникают из металлоидов, входящих в состав гумуса, а именно из органической серы и органического азота. Совершенно ясно, что и органический фосфор, давая при окислении гумуса фосфорную кислоту, должен проявлять себя так же, как органические сера и азот, с той только разницей, что в силу нерастворимости солей фосфорной кислоты и кальция, магния, алюминия и железа переход органического фосфора в минеральный не может учитываться водной вытяжкой; в какой мере этот переход будет отражаться на количествах воднорастворимой фосфорной кислоты, какова будет в данном случае зависимость этих количеств от рН почвы, в той или другой степени обработанной перекисью водорода, — все эти вопросы, как и многие другие, связанные с минерализацией фосфора, могут быть разрешены лишь экспериментальным исследованием; мы этими вопросами еще не занимались, еще не успели подойти к ним; несомненно, что ход минерализации органического фосфора под действием перекиси водорода представляет большой интерес вообще и в частности для разработки метода учета органического фосфора в почве. Вообще мы думаем, что в методе обработки почвы перекисью водорода мы получаем подход к разрешению вопросов учета зольных элементов гумуса. Учет органической серы при посредстве полной минерализации ее

Таблица 30  
Водные вытяжки из чернозема Каменноостенной станции, в различной степени обработанные  $H_2O_2$   
(данные на 100 г почвы в г)

Количество $H_2O_2$ на 100 г почвы см <sup>3</sup>	Сухой остаток			$SiO_2$	$R_2O_3$	CaO	$MgO$	$SO_4$	Катионный Гумус в см <sup>3</sup> 0,02N $H_2O_2$	Титров. из-л. потр. в см <sup>3</sup> 0,02 N KOH	рН*	Нерастворимый Гумус по Кнелю*	$CO_2$	$NH_4^+$	
	выт.	протвн.	потрн. от протвн.											вес	полной вытяжки
140	1,877	0,452	1,425	0,119	6,098	0,070	0,060	0,145	525	375	4,3	1,46	0,0	0,420	0,128
200	1,069	0,244	0,825	0,061	0,032	0,010	0,040	0,145	223	35	5,0	1,42	0,0	0,480	0,138
300	0,904	0,191	0,713	0,016	0,009	0,007	0,033	0,193	164	Сл.щел.	7,4	1,42	сл.	0,510	0,153

Примечание. Цифры, отмеченные звездочкой, принадлежат А. Н. Вольской.

перекисью водорода дается уже простой водной вытяжкой. Учет органического азота также может быть сделан, как мы выше видели, при помощи обработки перекисью определением всего полученного аммиака, но для этого элемента в таком способе нет надобности, так как непосредственное определение в почве органического азота по Кьельдалю ковечно гораздо проще. Что касается третьего металлонда, входящего в состав гумуса почвы и представляющего громадный интерес для агрохимика, а именно фосфора, то методики определения его количества в органических соединениях почвы мы не имеем. Я думаю, что изучение превращений органического фосфора при различной степени обработки почвы перекисью водорода прольет свет на ход минерализации фосфора в почве и позволит найти растворители для определения количества минерализовавшегося фосфора.

Кроме указанных металлондов гумус почвы содержит металлы и в том числе поглощенные катионы. Из приведенных выше результатов воздействия воды на почву, в разной степени обработанной перекисью водорода, мы видим, что по крайней мере те металлы, которые мы исследовали, т. е. кальций и магний<sup>1</sup>, почти не переходят при окислении гумуса в углесолы (только при самой энергичной обработке почвы перекисью водорода получают очень небольшие количества углесолей), а дают соли каких-то органических, очень стойких в отношении  $H_2O_2$  кислот и притом трудно растворимых в воде и в других растворителях, как мы это увидим ниже, когда будем говорить о влиянии обработки почвы перекисью водорода на емкость обмена почвы.

Чтобы покончить с вопросом о растворяющем действии воды на почву, обработанную перекисью водорода, я приведу еще данные анализа двух последовательных водных вытяжек из того же образца каменностоенного чернозема, обработанного перекисью водорода (100 г почвы обрабатывались 100 см<sup>3</sup> 30-процентной перекиси водорода) до видимого уничтожения гумуса. Остатка гумуса в обработанном образце мы не определяли, но судя по данным водной вытяжки и величине рН, можно предполагать, что этот остаточный гумус был в количестве около 1,5 % от веса первоначальной почвы.

Получавшаяся почва от обработки 100 г чернозема перекисью водорода была взболтана с 500 см<sup>3</sup> воды и оставлена в покое до просветления; полное просветление жидкости наступило через 3 дня; тогда было слито сифоном 390 см<sup>3</sup> вполне прозрачной жидкости (вытяжка 1-я), прилито столько же воды, взболтано и опять оставлено до полного просветления, которое наступило лишь через 28 дней; тогда снова было слито для анализа (вытяжка 2-я) 390 см<sup>3</sup> вполне прозрачной жидкости и опять прилито такое же количество воды для получения 3-й последовательной вытяжки; но этого сделать не удалось, так как ко времени писания настоящей статьи эта вытяжка, поставленная отстаиваться 7 марта 1931 г., остается очень мутной. Мы отмечаем этот факт как очень характерный показатель колоссального влияния удаления

<sup>1</sup> В гумусе исследовавшегося чернозема как несолонцеватой почвы обменного натрия, а тем более калия содержаться не может; поэтому несомненно, что щелочные элементы, если и содержатся в гумусе этой почвы, то лишь в «необменном» состоянии, и количество их там во всяком случае должно быть значительно ниже, нежели количества кальция и магния. Пока мы вопрос о содержании этих элементов в гумусе не затронули, но считаем его очень интересным.

гумуса из почвы на степень ее дисперсности: первая из последовательных вытяжек содержала, как видно из нижеследующей таблицы, много растворенных веществ и потому быстро просветлялась, 2-я содержала этих веществ уже значительно меньше, и для просветления понадобился почти месяц, тогда как первоначальный, необезгумусовый чернозем после промывания его водой отстаивался при том же отношении между количествами почвы и воды нацело уже дней через 10; когда из почвы, обработанной перекисью, была сделана 3-я последовательная вытяжка, т. е. с помощью 2-й вытяжки было произведено дальнейшее удаление растворимых солей, то и через 5 месяцев жидкость над осевшей почвой продолжает оставаться сильно мутной; если мы вспомним, что коллоидальная частица около 0,1 м в диаметре проходит в 21 день примерно 10 см (в нашей 3-й водной вытяжке слой жидкости над почвой имеет 15 см высоты), то будет совершенно ясно, что уничтожение гумуса в черноземе перекисью водорода ведет к сильному распылению минерального коллоидального (поглощающего) комплекса, к появлению большого количества в водной суспензии отдельных частиц коллоидального размера; а так как нет никаких оснований допускать раздробляющего действия перекиси водорода на минеральную часть почвы, то очевидно, что в данном случае мы имеем дело лишь с действительным распылением (а не с раздроблением) имевшихся в первоначальном черноземе микроструктурных элементов, связанных присутствующим в почве коллоидальным органическим веществом в прочные, не разрушаемые водой агрегаты, и что эта связь в той или другой мере разрушается с удалением цемента — гумуса. Уже на основании этого опыта мы видим колоссальное влияние гумуса на физические свойства почвы и можем это влияние помощью перекиси водорода учесть. Сейчас мы коснулись этого вопроса лишь частично и попутно с данными приводимых здесь водных вытяжек; ниже мы на нем остановимся подробнее. Отфильтровать 3-ю последовательную вытяжку мы не могли, так как муть свободно проходила даже через двойной фильтр из бумаги № 602 extra hart. Полученные нами данные анализа 1-й и 2-й последовательных вытяжек приводим в нижеследующей таблице (табл. 31), где для вытяжки 2-й даются для каждого определения две цифры: верхняя представляет непосредственно определенную в вытяжке величину, а нижняя — за вычетом того количества определяемого вещества, которое перешло во 2-ю последовательную вытяжку вместе с остатком жидкости (110 см<sup>3</sup>) из 1-й вытяжки.

Приведенный анализ показывает, что 1-я водная вытяжка извлекает из почвы, обработанной перекисью водорода по pH 4,65, в данном опыте много веществ и примерно столько же, как и в ранее приведенных опытах при сравнимой величине pH; 2-я же последовательная обработка той же почвы водой дала в раствор уже значительно меньше веществ; данные этой вытяжки уже приближаются по своей величине к данным вытяжки из первоначального чернозема; 3-я же последовательная обработка, судя по ходу отстаивания водной вытяжки, должна дать еще меньше, чем водные вытяжки из первоначального чернозема. Таким образом под влиянием обработки почвы перекисью в почве образуется некоторое количество воднорастворимых веществ, большее или меньшее в зависимости от степени обработки почвы пере-

Таблица 31

Количество веществ, выделенных из 100 г чернозема, обработанного  $H_2O_2$ , 1-й и 2-й последовательной водной вытяжки (в г)

Вытяжка	Сухой остаток		$S^{+}O_2$	$H_2O$	CaO	SO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	Вспоразст. гумуса см <sup>3</sup> с.об.У КМnO <sub>4</sub> .	Титровальная		
	продукции	преципitated								кислотности см <sup>3</sup> 0,02 N	и-рн. КОН	щелочности, см <sup>3</sup> 0,02 N НСl
1-я . . . . .	1,480	0,319	0,007	0,076	0,050	0,164	0,008	0,133	440	250	—	4,65
2-я . . . . .	0,397 0,082	0,119 0,019	0,034 0,032	0,023 0,005	0,014 0,011	0,040 0,008	—	0,075 0,046	—	—	172	7,7

\* Определены азотной кислотой, аммиака и pH произведено А. И. Волзьской.

кисью; после удаления этих легко-растворимых веществ оставшаяся масса оказывается такой же мало-растворимой, как и у первоначальной необезгумусной почвы; какое-либо накопление под действием перекиси соединений с повышенной растворимостью, но вместе с тем не могущих быть извлеченными однократной обработкой почвы водой, вовсе не имеет места.

Подводя общие итоги изучения действия перекиси водорода на исследовавшуюся почву, поскольку оно выявилось водными вытяжками, можно следующим образом нарисовать картину постепенного действия перекиси, начиная от небольших ее количеств, не производящих еще видимого изменения цвета почвы, и до таких количеств, что дальнейшее их увеличение уже не разрушает оставшегося небольшого содержания гумуса. Уже очень небольшое количество прибавлений к чернозему перекиси водорода вызывает образование некоторого количества аммиака из органического азота почвы, повышение концентрации водородного иона (уменьшение pH) в почвенном растворе, свидетельствующее об образовании свободных органических кислот, а также серной и фосфорной кислот как следствие окисления органических веществ почвы. С дальнейшим прибавлением перекиси водорода образуется и накапливается все больше и больше свободных кислот и соответственно с этим повышается кислотность жидкости как титровальная, так и актуальная<sup>1</sup>; pH падает очень постепенно и наконец

<sup>1</sup> Очень вероятно, что при этом уже в этой начальной стадии окисления гумуса часть образовавшихся кислот полностью минерализуется с улетучиванием углекислоты, но тогда во всяком случае количество вновь образующихся свободных кислот во все время этой стадии превышает количество минерализующихся.

достигает минимума, который в исследованном нами черноземе лежит около 3,5<sup>1</sup>. С дальнейшим прибавлением перекиси водорода мы вступаем во 2-ю стадию окисления гумуса, когда количество вновь образующихся органических кислот постепенно все более и более уступает место количеству их полностью минерализующихся с выделением и улетучиванием углекислоты; процесс совершается в кислой среде, рН которой постепенно возрастает, но пока еще не достигает 7: где-то около пункта с минимумом рН получается максимальная растворимость почвенных соединений в воде; с повышением его при дальнейшем прибавлении  $H_2O_2$  растворимость падает; в этой 2-й стадии разрушения органических веществ почвы освобождающиеся из гумуса щелочноземельные металлы связываются в труднорастворимые соли фосфорной кислоты и очевидно каких-то трудно разрушаемых органических кислот; вместе с преобладанием в этой стадии окисления гумуса процессов полной минерализации органического вещества над процессами образования новых количеств органических кислот идет усиленное образование аммиака из органического азота, который частично нейтрализуется свободными кислотами и главным образом серной кислотой, образующейся из серы гумуса, а в другой своей части (повидимому, судя по данным содержания его в водных вытяжках, большей) поглощается почвенным минеральным поглощающим комплексом с вытеснением оттуда обменных кальция и магния, связывающихся фосфорной и устойчивыми органическими кислотами в труднорастворимые в воде соли. Как мы указывали раньше, разрушить весь гумус почвы в исследованной почве нам не удалось, несмотря на очень большие количества применявшейся перекиси водорода и сильное нагревание; остающиеся органические соединения или не окисляются уже этим окислителем или окисляются настолько медленно, что нам этого уловить не удалось. Этот достигнутый нами конец 2-й стадии окисления гумуса характеризуется слабощелочной реакцией (рН около 7,6), небольшим содержанием углесолей и очень малой растворимостью в воде почвенных соединений, если не считать аммиака и серной кислоты (вся серная кислота, образовавшаяся из серы гумуса, переходит в водную вытяжку). Только в самом конце 2-й стадии окисления гумуса перекисью водорода получаются условия, благоприятные для задержания в почве образующейся при окислении углекислоты в виде углесолей, причем и в этих условиях углесолей образуется очень мало, а главная масса освобожденных и образовавшихся к этому времени оснований (аммиак, кальций, магний) связана серной, фосфорной, образовавшимися и оставшимися в почве органическими кислотами и почвенным поглощающим комплексом.

Обращаюсь теперь к вопросу о влиянии обработки почвы перекисью водорода на обменную способность почвы. Вопрос этот в настоящее время я расчлению на два отдельных вопроса: изменяется ли обменная способность минеральной части почвенного поглощающего комплекса под влиянием обработки почвы перекисью водорода и что делается с теми обменными катионами, которые содержатся в органической

<sup>1</sup> В различных почвах и горизонтах почвы этот минимум должен быть различным в зависимости главным образом от количества и свойств гумуса.

части почвенного поглощающего комплекса, когда гумус почвы минерализован перекисью водорода. В начале своих работ с перекисью водорода последнего вопроса я не ставил, так как считал его ясным, а именно, как я указывал в начале этой статьи, что все обменные и не-обменные металлы гумуса при уничтожении его должны дать углесоли. Все те данные, которые приведены мною выше и которые я сейчас приведу, определенно говорят, что подобное допущение неверно, что щелочно-земельные металлы, освобождаясь из гумуса при его окислении, переходят почти целиком не в углесоли, а в труднорастворимые соли других кислот (фосфорной и устойчивых органических кислот); эти соли очень трудно растворимы в растворах хлористого натрия, хлористого аммония (в последнем они растворяются значительно слабее, нежели углесоли щелочноземельных металлов) и даже в 0,05N соляной кислоте.

Из имеющихся у меня в этом направлении данных я приведу только некоторые.

1. 10 г тульского тучного чернозема, обработанного перекисью водорода до видимого исчезновения гумуса, обрабатывались затем 1,0N раствором хлористого аммония сначала в фарфоровой чашечке, а затем на фильтре; в отдельных порциях фильтрата определялся кальций; результат (количество Са даю в граммах по пересчету на 100 г первоначальной почвы) дан в табл. 32.

Таблица 32

Количество 1,0N NH <sub>4</sub> Cl, пропущенного через 10 г почвы (в см)	Содержание в фильтрате Са, по перечислению на 100 г почвы		Количество 1,0N NH <sub>4</sub> Cl, пропущенного через 10 г почвы (в см)	Содержание в фильтрате Са по перечислению на 100 г почвы	
	г	мг-экв.		г	мг-экв.
1 000	0,495	24,80	4 250	0,031	1,55
250	0,023	1,15		0,039	1,95
250	0,038	1,90		0,034	1,70
250	0,044	2,20			
500	0,044	2,20			
				0,748	37,45

Таким образом первым литром раствора NH<sub>4</sub>Cl вымыто было из 10 г почвы (по перечислению на 100 г) 0,495 г Са, или 24,8 мг-экв., а последующими 3 250 см<sup>3</sup> еще 0,253 г, или 12,6 мг-экв., и выщелачивание кальция еще не было закончено.

2. Навески по 5 г каменностенного чернозема обрабатывались на фильтре растворами 1,0N хлористого натрия, 1,0N хлористого аммония и 0,05N соляной кислотой; то же было сделано с такими же навесками этого чернозема после окисления их гумуса перекисью водорода. Навески первоначального чернозема промывались растворами, пока не получилось по одному литру фильтрата; проба на кальций дальнейших фильтратов (200 см<sup>3</sup>) показала небольшое количество при промывании почвы хлористым натром; хлористый же аммоний и 0,05N соляная кислота дальше уже не извлекали кальция из первоначальной почвы. Пятиграммовые навески после окисления гумуса перекисью промывались на воронках 2 500 см<sup>3</sup> тех же растворов; проба

следующих 200 см<sup>3</sup> фильтрата показала для хлористого аммония и соляной кислоты еще присутствие кальция; промывание же хлористым натром, судя по этой качественной реакции, было закончено.

Определение кальция в промывных растворах показало следующее (табл. 33).

Таблица 33

Извлечено кальция по поречислению на 100 г первоначального чернозема

Растворы	Из первоначального чернозема		Из чернозема после обработки его H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>			
	г	мг-экв.	г	мг-экв.		
1,0N NaCl . . .	1 000 см <sup>3</sup> фильтра- та	0,940	47,0	2 500 см <sup>3</sup> фильтра- та	0,555	27,8
1,0N NH <sub>4</sub> Cl . . .		1,126	56,3		0,805	40,3
1,05N HCl . . .		1,075	53,7		0,985	49,3

Нужно заметить, что промывание на фильтре чернозема, обработанного перекисью водорода, идет чрезвычайно медленно вследствие значительного повышения коллоидальности почвы после удаления из нее гумуса; повидимому фильтрация происходит не через всю почву равномерно, а главным образом по фильтру и вблизи его; приходится постоянно при промывании раствором стараться сильно струей взмутить содержимое воронки; поэтому при обработке почвы, из которой удален гумус перекисью водорода, с целью вытеснения обменных катионов следует возможно дольше обрабатывать почву растворами в фарфоровой чашке и переносить на фильтр возможно полнее отстоявшуюся жидкость, стараясь поменьше переносить почвы. Промывание на воронке почвы, обработанной перекисью водорода, настолько длительно, что мы предпочитаем обрабатывать такую почву в стакане 250—300 см<sup>3</sup> соответствующего раствора, давая каждый раз жидкости полностью отстояться и сливая вполне прозрачную жидкость сифоном.

Вышеприведенные данные показывают, что промыванием 5 г первоначального чернозема литром 1,0N раствора хлористого аммония и литром 0,05N соляной кислоты полностью извлекался обменный кальций; то же количество 1,0N раствора хлористого натра извлекало уже неполностью (47,0 мг-экв. вместо содержащихся в 100 г исследуемой почвы 56,0 мг-экв.); из почвы, обработанной перекисью водорода, ни один из взятых растворов не извлек всего этого кальция даже при промывании ими почвы в количестве, в 25 раз большем (2 500 см<sup>3</sup>); выщелачивание кальция ни в одном из этих трех случаев не было закончено; больше всего кальция выщелочила 0,05N соляная кислота (49,3 мг-экв. вместо 56,0 мг-экв. обменного кальция первоначального чернозема), затем 1,0N хлористый аммоний (40,3 мг-экв.) и меньше всего 1,0N хлористый натрий — всего 27,8 мг-экв. Это — очень интересные данные; мы выше отмечали, что проба на кальций промывных вод, после того как отфильтровалось 2 500 см<sup>3</sup> наших растворов, как раз в случае раствора хлористого натра показала на полное вымывание кальция; для растворов же хлористого аммония и соляной кислоты проба показала, что промывание еще не закончено, а между тем хлористый натрий выщелочил из почвы, обработанной перекисью водо-

рода, значительно меньше кальция, нежели хлористый аммоний и соляная кислота. В дальнейшем мы увидим, что 27,0 мг-экв. как раз почти совпадает с величиной емкости обмена минеральной части нашего чернозема, определенной другим методом. Таким образом приходится прийти к выводу, что хлористый натрий вытеснил весь обменный кальций из почвы, обработанной перекисью, и почти вовсе не растворил тех солей кальция, которые образовались после окисления гумуса перекисью водорода из кальция, содержавшегося в гумусе почвы, т. е. что вновь возникшие соли кальция в хлористом натре очень трудно растворимы.

3. Навески по 5 г первоначального чернозема и такие же навески, обработанные предварительно перекисью водорода до возможно полного удаления гумуса, взбалтывались с 1 л раствора хлористого аммония различной концентрации. Через сутки жидкость отфильтровывалась и в ней определялся кальций.

Таблица 34

1 л раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  извлек кальция по перечислению на 100 г первоначальной почвы

Концентрация раствора $\text{NH}_4\text{Cl}$	Из первоначального чернозема		Из чернозема, обработанного $\text{H}_2\text{O}_2$	
	г	мг-экв.	г	мг-экв.
4,0N . . . . .	1,140	57,0	1,130	56,5
1,0N . . . . .	0,970	48,5	0,790	39,5
0,1N . . . . .	0,616	30,8	0,404	20,2
0,01N . . . . .	0,314	15,7	0,228	11,4

Мы видим, что 4,0N раствор хлористого аммония в количестве 1 л на 5 г почвы при однократной обработке почвы извлек из первоначального чернозема полностью весь его обменный кальций; такое же количество кальция извлечено было этим раствором и из чернозема, гумус которого был уничтожен перекисью водорода; таким образом хлористый аммоний этой концентрации и при взятом соотношении его объема к количеству почвы извлек из почвы, обработанной перекисью водорода, весь бывший в первоначальном черноземе обменный кальций, т. е. тот кальций, который в обработанной почве остался в виде обменного (значит в минеральном поглощающем комплексе) и в виде солей кальция, образовавшихся после разрушения органических веществ почвы.

Одним литром хлористого аммония всех других исследованных концентраций из первоначального чернозема извлекался не весь обменный кальций; из почвы же, обработанной перекисью водорода, во всех этих случаях извлекалось соответственно меньше кальция: на 19% (концентрация 1,0N) — 33% (концентрация 0,1N). Все эти данные определенно говорят за то, что если под влиянием обработки почвы перекисью водорода вызываются какие-либо изменения в обменных свойствах минерального поглощающего комплекса почвы, то это во всяком случае не перевод его обменного кальция в необменный каль-

ций (что например вызывается сильным прокаливанием почвы), иначе 4,0N NH<sub>4</sub>Cl не извлек бы из обезгумусной почвы столько же этого элемента, сколько извлекается им из почвы с неразрушенным гумусом. Возможно лишь допущение некоторого понижения емкости обмена вследствие разрушения той или другой части поглощающего комплекса при обработке почвы перекисью и переводе того или другого количества обменного кальция минерального поглощающего комплекса в какую-то простую соль кальция, растворяющуюся в 4,0N хлористого аммония, подобно тому как эта перекись разрушает только надело органический поглощающий комплекс. Как мы увидим ниже, такое предположение опровергается действием перекиси водорода на почвенные горизонты, не содержащие гумуса, так как в этих случаях емкость обмена под влиянием обработки перекисью водорода не понижается. Возможно, что перекись водорода, не изменяя в измеримых количествах величину емкости почвенного минерального поглощающего комплекса, влияет на энергию обмена (между прочим вследствие изменения рН); исследований в этом направлении мы не делали.

4. Желая подойти к вопросу, как влияет степень обработки гумусной почвы перекисью водорода на количества кальция, извлекаемого из такой обработанной почвы растворами хлористого аммония и натрия различной концентрации, мы поставили такие исследования: 5 г первоначального чернозема (каменистолиственного) и навески по 5 г его же, предварительно обработанные в разной степени перекисью водорода (из производившихся обработок уже при самой слабой почва на-глаз лишалась своего гумуса), взбалтывались в течение суток с 1 000 см<sup>3</sup> раствора хлористого аммония или хлористого натрия той или иной концентрации. Результаты этого опыта даю в следующих двух таблицах (34а и 35).

Таблица 34а

1 г раствора NH<sub>4</sub>Cl извлечено кальция из 5 г почвы по перечислению на 100 г первоначальной почвы

П о ч в а	Концентрация раствора NH <sub>4</sub> Cl, г/см <sup>3</sup>							
	4,0		1,0		0,1		0,01	
	г	мг-экв.	г	мг-экв.	г	мг-экв.	г	мг-экв.
Первоначальная . . . . .	1,140	57,0	0,970	48,5	0,616	30,8	0,314	15,71
Обработано H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :								
20 см <sup>3</sup> . . . . .	1,130	56,5	0,760	38,0	0,320	16,0	0,188	9,4
40 » . . . . .	1,110	55,5	0,700	35,0	0,332	16,6	0,236	11,8
60 » . . . . .	1,145	57,2	0,750	37,5	0,332	16,6	0,232	11,6

Как и в ранее приведенном исследовании, 4,0N хлористый аммоний извлек из почвы первоначальной и из почв, обработанных перекисью водорода, одинаковые количества кальция, а именно все его количество, находившееся в первоначальном черноземе в обменном его состоянии; растворы же более слабых концентраций хлористого аммония извлекли из почвы, обработанной перекисью водорода, значительно

1 л раствора NaCl извлечено кальция из 5 г почвы по перечислению на 100 г первоначальной почвы

Почва	Концентрация раствора NaCl, норм.			
	4,0		0,1	
	г	мг-экв.	г	мг-экв.
Первоначальная . .	0,840	42,0	0,500	25,0
Обработано H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :				
10 см <sup>3</sup> . . . . .	0,570	28,5	0,300	15,0
30 » . . . . .	0,500	25,0	0,270	13,5
100 » . . . . .	0,650	32,5	0,41	20,5

меньше кальция, чем из почвы первоначальной. Хлористый же натрий и в концентрации 4,0N извлек из почвы, обработанной перекисью, значительно меньше кальция, нежели из почвы первоначальной. Что касается влияния степени обработки почвы перекисью водорода на количество извлекаемого кальция, то для хлористого аммония мы получили мало наглядные результаты: хотя для всех трех степеней обработки данные получились и не одинаковые, но различие между ними слишком мало, чтобы делать какие-либо выводы; возможно, что растворимость образующихся при окислении гумуса соединений кальция при различной степени обработки перекисью в хлористом аммонии приблизительно одинакова; а возможно также, что при других степенях обработки получились бы более резкие различия. По крайней мере в опыте с растворами хлористого натрия, где почва обрабатывалась иными количествами перекиси водорода и где наиболее сильная обработка была значительно выше, чем наиболее сильная обработка для растворов хлористого аммония (в первом случае 5 г почвы обрабатывалось 100 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, а во втором—всего 60 см<sup>3</sup>), мы совершенно определенно получили, что при самой сильной степени обработки, какую мы применяли, хлористый натрий извлек заметно больше кальция, чем при других наших более слабых обработках, причем интересно отметить, что среднеобработанная почва показала наименьшую растворимость кальция, но полученные здесь данные недостаточно отличаются от данных для самой слабой обработки, поэтому приходится воздержаться от каких-либо определенных заключений.

Все вышеприведенные данные по взаимодействию между почвой, обработанной перекисью водорода и растворами хлористого аммония и натрия и солей кислотой 0,05N, показывают на трудную растворимость тех солей кальция, которые образуются из кальция разрушенного гумуса; с другой стороны, способность 4,0N раствора хлористого аммония при достаточном его количестве в отношении взятой навески почвы извлекать из почвы, обработанной перекисью, столько же кальция, сколько его было в обменном состоянии в почве до обработки ее перекисью, позволяет с большей вероятностью сделать допущение, что при такой обработке почвы не затрагивается емкость обмена почвенного минерального поглощающего комплекса; но конечно полного

доказательства тут мы еще не имеем, так как можно допустить, что емкость обмена этой части поглощающего комплекса обработкой перекисью понижена или даже уничтожена, но что при этом кальций и магний, насыщающие эту обменную способность, дают такие простые соли, которые во всяком объеме 4,0N хлористого аммония растворяются так же паделю, как и соли кальция, возникшие из разрушенного гумуса; допущение мало вероятное, но во всяком случае возможное.

Чтобы исследовать влияние перекиси водорода на емкость почвенного минерального поглощающего комплекса в чистом виде, не затемняя вопрос соединениями кальция и магния, остающимися в почве от разрушенного гумуса, мы произвели определение емкости обмена в безгумусных горизонтах ряда почв, причем определение емкости обмена в образцах, обработанных перекисью водорода, производилось моим углекислым методом, в первоначальных образцах — или этим же методом (при почвах карбонатных) или определением в отдельности всех обменных катионов почвы и суммированием их <sup>1</sup>.

1) Серозем, сильно карбонатный, гор. 190—200 см	
Емкость обмена первоначальной почвы . . . . .	9,2 м.-экв.
»   »   »   после очень энергичной обработки $H_2O_2$ (на 10 г почвы — 100 см <sup>3</sup> 30-процентной $H_2O_2$ при кипячении на огне) . . . . .	9,8 » »
2) Другой разрез серозема, гор. 150—180 см	
Емкость обмена первоначальной почвы . . . . .	11,4 » »
»   »   »   обработанной $H_2O_2$ . . . . .	11,0 » »
3) Оренбургский южный чернозем, гор. 200 см	
Емкость обмена первоначальной почвы . . . . .	24,5 » »
»   »   »   обработанной $H_2O_2$ (определение сделано Е. Н. Ивановой) . . . . .	25,1 » »
4) Почва из колл. Е. Н. Ивановой, гор. 170—180 см	
Емкость обмена первоначальной почвы . . . . .	28,6 » »
»   »   »   обработанной $H_2O_2$ (определение сделано Е. Н. Ивановой) . . . . .	29,4 » »

5. Влияние обработки перекисью водорода на емкость обмена иллювиального горизонта подзолистых почв Долгопрудного опытного поля <sup>2</sup>.  
Полученные данные приводим в табл. 36.

В приведенных данных для почв Долгопрудного опытного поля имеются случаи отклонения величины емкости первоначальной и обработанной перекисью почвы до 2 мг-экв., причем всегда емкость, определенная углекислым методом, в таких случаях ниже; объясняется это тем, что как раз в этих почвах содержится заметное количество обменного водорода (до 4 мг-экв.), в присутствии которого обработка хлористым натрием несколько разрушает поглощающий комплекс (обработка хлористым натрием велась без прибавления углекислого кальция).

<sup>1</sup> При определении емкости обмена углекислым методом было обращено особое внимание на полную выделение углекислых кальция и магния: многократное выпаривание досуха углекислой вытяжки, возможно быстрое выщелачивание сухого остатка, а перед последней фильтрацией прокалывание сухого остатка при 250—300° для перевода  $MgCO_3$  в нерастворимую окись. Обращалось внимание на полное отсутствие мутности последнего фильтрата, служившего для оттитрования соды.

<sup>2</sup> Определение отдельных обменных катионов произведено С. Г. Шедеровым, а емкости обмена углекислым методом — автором статьи.

Почвенный разрез	Емкость обмена почвой		Почвенный разрез	Емкость обмена почвой	
	первоначальной (по сумме обменных кати- онов) мг экв.	обработанной H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> углекис- лым методом мг экв.		первоначальной (по сумме обменных кати- онов) мг экв.	обработанной H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> углекис- лым методом, мг экв.
I . . . . .	20,3	18,5	VII . . . .	13,7	12,1
II . . . . .	17,8	16,2	VIII . . . .	19,8	18,5
III . . . . .	18,4	16,1	IX . . . .	17,0	15,1
IV . . . . .	15,2	14,2	X . . . .	17,9	15,9
V . . . . .	11,7	11,4	XI . . . .	16,8	15,2
VI . . . . .	13,2	11,8	XII . . . .	18,5	18,8

Между всеми исследованными нами несодержащими гумуса горизонтами почв (в анализе у нас не было солонцеватых почв и почв, содержащих заметные количества обменного водорода) мы не встретили таких, емкость обмена которых изменялась бы сколько-нибудь заметно от обработки их перекисью водорода, как бы энергично ни производилась эта обработка. На основании этого мы считаем возможным сделать вывод, что окисление гумуса перекисью водорода до возможно полного его уничтожения, разрушая почвенный органический комплекс и уничтожая этим ту часть обменной способности почвы, которая обуславливается этой частью почвенного поглощающего комплекса, не изменяет количественно обменной способности минеральной его части. Таким образом окисление гумуса перекисью водорода дает нам возможность производить учет емкости обмена минеральной части почвенного поглощающего комплекса в отдельности; зная же обменную способность почвы, не обработанной перекисью, по разности можем узнать величину емкости обмена, приходящуюся на гумус почвы; обработка перекисью водорода дает нам поэтому возможность изучать в отдельности емкость обмена минеральной и органической части почвенного поглощающего комплекса и определять, какое участие в обмене принимает каждая из этих частей коллоидального комплекса.

Обработка перекисью водорода дает возможность определения только лишь емкости обмена минерального поглощающего комплекса, по не состава его поглощенных катионов; по крайней мере прямыми методами этого сделать невозможно, так как после окисления гумуса состав этот сильно изменяется вхождением туда большого количества аммония; тут можно рассчитывать только на какой-либо косвенный подход с изучением химического состава солевой массы, образующейся при окислении гумуса.

Для выяснения вопроса о влиянии на емкость обмена минерального поглощающего комплекса обработки почвы перекисью водорода Mc George в цитированном ранее исследовании определил емкость поглощения до и после обработки различных естественных и искусственных минералов; вот полученные им результаты (см. табл. 37).

Кроме того Mc George исследовал действие H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на почти безгумусные аридные почвы; вот его результаты (табл. 38).

Таблица 37

Минерал	Емкость обмена мг-экв	
	до обработки $H_2O_2$	после обработки $H_2O_2$
Бентонит . . . . .	103	100
» . . . . .	92	88
Монтмориллонит . . . . .	17	16
Продажный цеолит (Water softener) . . . . .	229	121
Синтетический Na-цеолит . . . . .	453	406
Синтетический K-цеолит . . . . .	416	379
Натролит . . . . .	19	8
Ортоклаз . . . . .	1,5	1,5
Бентонит . . . . .	85	89
» . . . . .	108	108
» . . . . .	68	68

Таблица 38

Почва	Емкость обмена в мг-экв	
	до обработки $H_2O_2$	после обработки $H_2O_2$
1 . . . . .	16,8	17,8
2 . . . . .	17,3	19,0
3 . . . . .	4,2	4,0
4 . . . . .	13,2	13,4
5 . . . . .	22,3	20,7
6 . . . . .	4,6	3,5
7 . . . . .	5,1	4,6
8 . . . . .	11,3	12,0

Общее заключение этого исследователя такое, что обработка перекисью водорода может служить для приблизительного определения обменной емкости гумуса почвы по разности.

Определение емкости обмена минеральной части почвенного поглощающего комплекса. Мы его ведем следующим образом: 5 г исследуемой почвы (большую навеску даже для почв с малой емкостью обмена брать не советуем, так как дальнейшее насыщение обезгумусной почвы тем или другим катионом очень затрудняется; при большой емкости обмена навеску можно и уменьшить) помещают в высокий стакан в 200 см<sup>3</sup> емкости, увлажняют 10 см<sup>3</sup> воды, приливают 20 см<sup>3</sup> 30-процентной перекиси водорода, закрывают стеклом и оставляют на некоторое время (около 30 минут) при обыкновенной температуре, а затем или ставят в теплом месте на ночь или же, если желательнее окисление гумуса закончить быстрее, ставят на кипящую водяную баню, перемешивая время от времени содержимое и наблюдая вообще за ходом окисления. Если содержимое начинает сильно пениться и появляется

опасность вылезания из стакана, то охлаждают стакан, помещая его в чашку с водой. На следующее утро или, если стакан держался на водяной бане, то после прекращения реакции, приливают еще 10 см<sup>3</sup> 30-процентной перекиси водорода и закрытый стакан снова ставят или на кипящую баню или прямо на сетке на горелку. 30 см<sup>3</sup> 30-процентной перекиси водорода на 5 г почвы быдо достаточно для видимого обезгумусования самых богатых гумусов бывших в нашем распоряжении черноземов, но тем не менее мы рекомендуем еще два раза обработать почву перекисью водорода по 10 см<sup>3</sup> кажлый раз, т. е. на всю обработку применять при почвах, богатых гумусом, не менее 50 см<sup>3</sup> 30-процентной перекиси водорода, чтобы довести обработанную почву до такого состояния, когда полоторные окислы и кремнекислота почти не переходят в водную вытяжку (табл. 4), так как по видимому это разрушение алюмосиликатов может вызвать понижение емкости обмена минеральной части поглощающего комплекса. Для сильно торфянистых почв для видимого удаления органических веществ приходилось прибавлять больше, иногда до 100 см<sup>3</sup>, для почв, бедных гумусом, этого можно достигь 20 и даже 15 см<sup>3</sup>. Удаление гумуса перекисью водорода в почвах, насыщенных натрием или водородом, совершается значительно быстрее, чем в тех же почвах, насыщенных кальцием и магнием. Окисление гумуса в присутствии углекислого кальция или углекислого натрия происходит очень медленно при очень бурной реакции, и в том случае, когда эти соли содержатся в значительном количестве, органические вещества остаются в почве в больших количествах неразрушенными<sup>1</sup>.

В полученной обезгумусной навеске взятой почвы определяют емкость обмена; при выборе метода определения емкости необходимо иметь в виду, что почва после обработки перекисью всегда содержит сульфаты, фосфаты и другие соли аммония, дающие нерастворимые соли с различными катионами; поэтому выбор катионов для насыщения и затем определения общего количества такого насыщенного почвой катиона очень ограничен; применять например барий невоз-

<sup>1</sup> Можно рекомендовать между прочим обработку перекисью водорода водных вытяжек из солонцеватых почв, когда последние богаты растворимыми гуматами. Тем, кому приходилось анализировать такие вытяжки, знают, какая неприятная и длительная операция — удаление органического вещества из таких вытяжек для определения минерального остатка вытяжки, особенно если такой остаток предназначается для дальнейшего анализа, а значит его нужно будет растворять. Мы теперь в этом случае прибегаем к такому приему: определяем остаток водной вытяжки после просушивания при 105°, а затем смыаем его из чашки в стакан достаточным количеством воды (или же просто берем в стакан новую порцию вытяжки для определения в отдельности сумми воднорастворимых минеральных веществ), нагреваем стакан на горелке до слабого кипения и к кипящей жидкости постепенно прибавляем 30-процентной перекиси водорода до обезбесивания жидкости; полного обезбесивания достигь нельзя уже потому, что темные окрашенные водные вытяжки как правило содержат окрашивающие жидкость железо; да оно и не нужно, так как все равно содержимое стакана после обработки перекисью водорода надо перенести и выпарить в платиновой чашке, слабо прокалить и тогда взвесить. Окислять органическое вещество сухого остатка водной вытяжки после его просушивания и взвешивания в самой платиновой чашке не следует: окисление идет очень медленно, и расходуется очень много перекиси. К такому же приему мы прибегаем, когда нужно сжечь органическое вещество темно окрашенных водных вытяжек для их дальнейшего анализа: переносим вытяжку в фарфоровую чашку и на кипящей водяной бане, подкислив ее соляной кислотой, в процессе ее выпаривания прибавляем понемногу перекиси водорода, а затем заканчиваем окисление гумуса, как обычно, царской водкой.

можно. Наиболее подходящими методами мы здесь считаем или мой углекислый метод (т. е. насыщение натрием) или метод Kelley — насыщение аммонием. Само насыщение можно вести двумя путями: отфильтровать жидкость, оставшуюся от операции окисления, через фильтр (бумага extra hart) и затем промывать почву взятым раствором (NaCl или NH<sub>4</sub>Cl), постепенно перенося почву на фильтр, или же вести насыщение не на фильтре, а в том же стакане, прибавив первый раз в стакан раствора взятой соли в концентрации, вдвое более высокой, чем та, которой предполагается обработка (мы обрабатываем 1,0N растворами, поэтому первый раз прибавляем 2,0N раствор), в таком количестве, чтобы в стакане набралось около 200 см<sup>3</sup>, даем полностью отстояться жидкости и сливаем прозрачный раствор сифоном, снова приливаем раствора, взмучиваем, даем отстояться и т. д. Обычно достаточно бывает пяти сливаний. Затем переносим содержимое стакана на фильтр (extra hart) и здесь отмываем от взятого хлорида сначала чистой водой, а затем окончательно 80-процентным спиртом.

Если исследуемая почва содержит обменный водород, то мы рекомендуем *после обработки* ее перекисью водорода прибавить 0,5—1г CaCO<sub>3</sub> и вести таким образом обработку хлористым натром в присутствии углекислого кальция во избежание разрушения поглощающего комплекса освобождающейся соляной кислотой. Поступать так при насыщении почвы аммонием конечно нельзя, так как CaCO<sub>3</sub> слишком для этого растворим в NH<sub>4</sub>Cl; таким образом для почв, не насыщенных основаниями, углекислый метод имеет несомненное преимущество перед методом насыщения аммонием. К почвам карбонатным обработка непосредственно перекисью водорода для определения емкости обмена минеральной части почвы не применима вследствие невозможности окислить органическое вещество в присутствии CaCO<sub>3</sub>; с некоторой неточностью можно это сделать, разрушив сначала почти полностью карбонаты вычисленным количеством соляной кислоты. К бескарбонатным солонцам метод вполне применим; удаление гумуса в них перекисью водорода идет даже быстрее, чем в несолонцеватых почвах. В задачи публикуемого исследования не входило вовсе сравнительное изучение в различных почвах тех изменений, какие происходят под влиянием удаления из почвы ее гумуса обработкой перекисью водорода; это должно быть предметом дальнейших исследований и притом коллективного характера, так как несомненно это — задача очень обширная. Я имел в виду постоянной работой изучением действия перекиси водорода на подходящих объектах показать, какие изменения при такой обработке в почве происходят и что может дать эта обработка для изучения почвенных процессов и почвенных свойств. Наиболее подходящими объектами я считал возможно высокогумусные черноземы и именно их бескарбонатные слои. Вследствие указанного я не задавался целью систематического изучения роли гумуса в явлениях обмена и в частности в величине емкости поглощения с помощью обработки почвы перекисью водорода, которая, как видно из вышеизложенного, оказалась вполне пригодной для этих целей. На основании работ с тучными черноземами с 8—11% гумуса и образованности миса на одной и той же материнской породе (лесс) могу сказать, что при общей их емкости обмена в 50—70 мг-экв. на долю минерального поглощающего комплекса приходится 27—30 мг-экв., т. е. на долю

органической части комплекса падает около половины и даже больше обменной способности этих почв. Если принять во внимание, что общее содержание гумуса в этих почвах всего около 10 %, а минеральной части (на воздушносухую почву) — около 90 %, затем, если учесть, что из этого общего гумуса (или, вернее<sup>1</sup>, общего органического углерода) на долю органического поглощающего комплекса приходится всего 30—40 %<sup>2</sup>, то приходится прийти к определенному выводу, что относительная роль гуматной части почвы в явлениях обмена почвы значительно большая, чем роль минерального поглощающего комплекса, т. е. единица веса гуматной части содержит значительно больше обменных оснований, нежели единица веса минеральной части коллоидального комплекса; так в образце тульского мощного чернозема на весовую единицу гуматной части приходится в 8 раз больше обменных катионов, нежели на весовую единицу минеральных коллоидов. Теоретически конечно это так и должно быть: гуматная часть без сомнения гораздо более высокой степени дисперсности, нежели минеральные коллоиды почвы. Что касается абсолютной роли гуматной части в общей обменной способности почвы, то она конечно будет зависеть от содержания ее в почве, а значит и от содержания в почве общего гумуса<sup>3</sup>.

Повидимому имеется полное основание считать, что если гумусную почву в достаточной степени обработать перекисью водорода так, чтобы уничтожить ее органические вещества, насколько это возможно, и притом довести ее рН до 7 и выше, то минеральная часть почвы получается с почти неизменным алюмосиликатным ядром, т. е. такая, какой она была в первоначальной почве, но с одной существенной оговоркой: к первоначально присутствовавшей в почве минеральной (алюмосиликатной) части при этом прибавляется очень заметное количество простых солей, образовавшихся из элементов органического вещества (N, P, S) и присутствующих в гумусе катионов (обменных и необмен-

<sup>1</sup> Как мною отмечалось уже (см. «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные основания, как...», 1927 г., стр. 44), гуматная часть гумуса почвы повидимому имеет иной химический состав, нежели остальная его часть; она состоит из веществ, менее богатых углеродом, более окисленных; вычисляя количество ее по углероду для одного образца тучного чернозема, я получил 3,12 % органических веществ в коллоидальной части этой почвы (от веса всей почвы), а определяя ее окислением марганцевоокислым калием, я получил 5,7%, тогда как в первоначальной почве общее содержание гумуса обоими способами получалось почти одно и то же.

<sup>2</sup> По моему определению в тульском тучном черноземе в почвенном поглощающем комплексе получилось органических веществ около 30% от общего содержания в почве гумуса («Почвенный поглощающий комплекс...», стр. 43); по данным А. Г. С п л и н а («Соотношение емкости поглощения и гуматной части в главных почвенных типах Уралобласти», Пермь, 1927 г., стр. 341) в коллоидальной части семи исследованных им почв гуматной части содержалось от 47 до 27% от общего гумуса.

<sup>3</sup> Мы теперь можем объяснить, почему Н. И. С о к о л о в, работая своим методом обжигания почвы при температуре не выше 300° и определяя углекислоту в обожженной почве, пришел к выводу, что гуматная часть играет сравнительно малую роль в явлениях обмена (см. «Обменная способность гуматной и минеральной частей почвы», «Бюлл. отд. земл. ГИОА», № 20, 1929 г.). Процесс окисления гумуса при медленном обжигании несомненно во многом аналогичен процессу окисления перекисью водорода; кальций и магний органических веществ почвы переходят при этом далее не целиком в углекислоту, поэтому по количеству углекислоты возникших в почве углекислот после ее обжига нельзя судить о количестве обменных катионов в гуматной части; это количество углекислоты всегда будет меньше, чем количество ее, эквивалентное обменным щелочными катионам гуматной части.

ных); часть этих образовавшихся солей легко растворима в воде (например сернокислые соли аммония, натрия, калия, кальция, магния), другие трудно растворимы (фосфорнокислый кальций, кальциевые соли каких-то органических кислот, не разрушаемых перекисью водорода, углекислый кальций, образующийся в небольших количествах, когда рН обработкой перекисью водорода доведен до 7); видно место между катионами всех этих солей в такой обезгумусной почве занимает аммоний, образующийся в почве как продукт окисления органического азота перекисью водорода. Появление в почве новых солей вообще и в частности в большом количестве нового катиона — аммония — изменяет конечно состав обменных катионов, присутствующих в минеральной части почвы до обработки ее перекисью водорода. Появление новых солей и измененный состав обменных катионов — вот те особенности, которыми минеральный остаток, полученный после удаления присутствовавшего в почве гумуса, отличается от минеральной части первоначальной почвы. Изучение физических свойств этого минерального остатка и сравнение их с физическими свойствами первоначальной гумусной почвы дает нам возможность учесть влияние гумуса на эти свойства почвы. До сих пор наши сведения об этом влиянии очень скудны, мало обоснованы и больше умозрительного характера. Теперь методом обработки почвы перекисью водорода мы имеем возможность изучать этот вопрос экспериментально; только при этом сравнительном изучении всегда надо помнить те особенности, которые приобретает минеральный остаток, получающийся от обработки почвы перекисью водорода, и о которых мы сейчас говорили, и учитывать их при исследовании. Здесь мы коснемся лишь одного вопроса из этой большой и очень интересной области, а именно вопроса о том, как изменяется дисперсность (или коллоидальность) почвы вследствие уничтожения в почве перекисью водорода наиболее высоко коллоидальной части почвы. Для разрешения этого вопроса я остановился на пахотном горизонте тучного чернозема Каменноостепной опытной станции и применил тот метод, которым я работал в своих исследованиях по влиянию рода поглощенного катиона на ультрамеханический состав почвы<sup>1</sup>.

В литровые мерные цилиндры с притертыми пробками (цилиндры были подобраны так, чтобы у всех метка 1 000 см<sup>3</sup> была на одной и той же высоте) помещалось по 10 г чернозема, так или иначе обработанного, как именно — указано в таблице (чернозем, служивший для этого опыта, был растерт и просеян через сито в 0,25 мм); в цилиндры приливалось до литра дистиллированной воды. Содержимое тщательно взбалтывалось, и цилиндры оставлялись в покое; через 24 часа стояния точно из середины верхних 10 см жидкости (объем ее во всех цилиндрах — 300 см<sup>3</sup>) автоматической шпателькой бралось по 100 см<sup>3</sup> мутной жидкости; взятая жидкость вышаривалась в платиновой чашке, и остаток взвешивался после просушки при 105° и затем после прокаливания. Сейчас я могу опубликовать лишь определение количества в верхнем слое жидкости частиц размерами мельче 0,001 мм; определение содержания более мелких частиц еще не закончено; результаты

<sup>1</sup> К. Гедройц, Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, «Журнал опытной агрономии», XXII, 192.

для частиц меньше 0,001 мм настолько уже показательны, что позволяют делать интересные выводы. В табл. 39 мы их приводим.

Таблица 39

Влияние на дисперсность почвы окисления ее органических веществ перекисью водорода <sup>1</sup>

Обработка почв	Количество вылитых частиц в г	
	просушено при 150°	прокалено
Почва первоначальная, не промытая водой . . .	0,0150	0,0090
» » слабо промытая » . . .	0,0348	0,0252
» » сильно » » . . .	0,0558	0,0432
» обработанная H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , не промытая . . .	0,0000	0,0000
» » H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , слабо » . . .	0,0486	0,0426
» » H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> сильно » . . .	0,3936	0,3372
» первоначальная, насыщенная кальцием . . .	0,0372	0,0186
» обработанная H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , насыщенная » . . .	0,0666	0,0615
» первоначальная, » натрием . . .	0,0950	0,8466
» обработанная H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , » » . . .	1,1805	1,0380
» насыщенная Na и обработанная H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . .	1,1732	1,0140
» первоначальная, насыщенная H . . .	0,0360	0,0300
» обработанная H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , » H . . .	0,3126	0,2796

Прежде всего обращу внимание на цилиндры 4 и 6: в первом из них почва, обработанная перекисью водорода, вовсе не промывалась от растворимых солей и прямо переносилась в цилиндр. В ней мы не обнаружили в верхнем слое цилиндра вовсе частиц меньше 0,001 мм, жидкость была совершенно прозрачной. Для цилиндра 6 почва после обработки ее перекисью промывалась водой, насколько это было возможно (до начинающегося прохождения муты через двойной самый плотный фильтр); в этом цилиндре было найдено в верхних 10 см жидкости 0,394 г просушенных частиц и 0,337 г прокаленных; сопоставление данных этих двух цилиндров указывает на обилие растворимых, свертывающих почвенные частицы солей в почве, образовавшихся после окисления гумуса. Если мы теперь сопоставим цилиндр 6 с цилиндром 3, где была первоначальная гумусная почва, также тщательно промытая от коагуляторов, и где мы получили 0,056 г частиц меньше 0,001 мм, то увидим, что под влиянием уничтожения гумуса дисперсность почвы увеличилась чрезвычайно сильно. Каковы причины этого? Так как, как указывалось выше, обработка перекисью изменяет состав обменных катионов, а состав этот влияет, как нами давно установлено, очень сильно на дисперсность почвы, то для решения этого вопроса были поставлены цилиндры 7 и 8 с почвой первоначальной и почвой, обработанной перекисью, с полным насыщением обеих их кальцием; таким образом в почвах обоих этих цилиндров мы имеем только обменный кальций; как мы видим, насыщение кальцием уменьшило дисперсность обеих почв: первоначальной с 0,056 до 0,037, т. е. не особенно сильно (замена небольшого количества имев-

<sup>1</sup> Для этого опыта производилась очень сильная обработка перекисью водорода.

шегося в почве обменного магния на более сильно свертывающий кальций), а в почве, обработанной перекисью, чрезвычайно сильно, — с 0,394 до 0,067; совершенно очевидно, что высокая дисперсность почвы после уничтожения в ней гумуса перекисью водорода вызвана главным образом особым составом ее обменных катионов; на основании ранее изложенного можно определенно утверждать, что она вызвана вхождением в поглощающий комплекс большого количества сильно диспергирующего катиона — аммония; но вместе с тем данные цилиндров 7 и 8 показывают, что и в присутствии в поглощающем комплексе там и тут одного и того же обменного катиона (кальция) дисперсность почвы, обработанной  $H_2O_2$ , несколько выше, чем почвы с гумусом (соответственно 0,067 и 0,037); совершенно ясно таким образом, что с уничтожением гумуса, а вместе с тем значит и наиболее высоко дисперсного вещества почвы повышается дисперсность минеральной части почвы. Еще яснее это следует из сопоставления цилиндров 9 и 10, куда были помещены первоначальная и обработанная  $H_2O_2$  почвы, обе насыщенные натрием; из результата мы видим, что дисперсность минерального остатка, насыщенного натрием, выше, чем первоначальной почвы, тоже насыщенной натрием (соответственно 1,18 и 1,09 г); после прокаливании и уничтожения таким образом органических коллоидов из цилиндра 9 разница получилась еще больше, а именно 1,04 и 0,85 г. То же подтверждают цилиндры 12 и 13: почва, обработанная перекисью водорода и полностью насыщенная водородом, оказалась также более дисперсной, нежели первоначальная почва, также насыщенная водородом (0,313 и 0,036 г); таким образом совершенно ясно, что гумус (точнее гуматная часть) почвы, даже при полном насыщении натрием, понижает дисперсность минеральных коллоидов почвы, склеивая частички их в необратимые в воде комплексы<sup>1</sup>. Особенно резко это выявляется следующим опытом. В своей работе «Ультрамеханический состав почвы и зависимость...» я описал опыт с почти безгумусным горизонтом глинистого чернозема Кубанской области, насыщенным натрием. 20 г такого чернозема давали в цилиндре с водой в 200 см<sup>3</sup> застывшую массу, занявшую объем в 180 см<sup>3</sup>; при наклонении такого цилиндра масса почвы не изменяла своего положения. Ни с одним из черноземов, содержащих гумус, и между прочим и с пахотным горизонтом чернозема Каменноостепной станции при полном насыщении натрием я не получал такого эффекта: почва занимала несколько больший объем, чем первоначальная, непасыщенная натрием, а над ней была жидкость, темно окрашенная гуматами. А с тем же каменноостепным черноземом после удаления из него гумуса и насыщения натрием я получил то же явление, что и с безгумусным горизонтом кубанского чернозема: 10 г каменноостепного чернозема, таким образом обработанные, заняли в воде объем около 100 см<sup>3</sup> и дали одну связную массу — сильно набухший гель.

Таким образом наши исследования непосредственно доказывают, что гумус почвы является существенным фактором, понижающим дисперсность (коллоидальность) минеральной части почвы даже в том

<sup>1</sup> Это явление впервые было отмечено А. Н. Соколовским (см. выписки в начале статьи), но он констатировал его для почв, обработанных хлористым аммонием, и неполное распыление ила при насыщении его аммонием можно было приписать (так оно в значительной степени и есть) малой распыляющей силе этого катиона.

случае, когда гуматная часть насыщена натрием; он дает с коллоидальными минеральными частичками почвы прочие агрегаты, микроструктурные элементы, не разрушаемые водой; гумус таким образом является одним из существенных факторов микроструктурности почвы. В нашем частном случае среднесуглинистый пахотный горизонт каменнопестрого чернозема после удаления гумуса приобретает свойства тяжелого суглинка.

Совершенно ясно, что такая колоссальная способность к набуханию, какую приобретает гумусная почва, минеральный поглощающий комплекс которой насыщен натрием, а гумус удален перекисью водорода (причем отмечаю, что совершенно безразлично, когда производилось насыщение натрием почвы,— до удаления гумуса или после его удаления, ср. цилиндры 10 и 11), обуславливается тем, что в гумусной почве, насыщенной натрием, имеются микроструктурные элементы, комплексы минеральных коллоидальных частиц, склеенные органическим коллоидальным веществом, которые в этой гумусной почве водой не расклеиваются; во всех своих работах, касавшихся влияния поглощенного натрия на распыляющее действие воды, я всегда указывал, что теоретически очень возможно, что и под влиянием поглощенного натрия вода распыляет почвенный поглощающий комплекс еще не до первичных коллоидальных частиц; но до настоящего времени я не мог дать экспериментального доказательства ни этому, ни противоположному допущению; настоящий опыт совершенно определенно решает этот вопрос: натрий в поглощающем комплексе не способен распылить его в воде до первичных коллоидальных частиц; далее этот опыт показывает, что одной из причин этого является гуматная часть почвы; среди ее частиц имеются такие, которые так сильно и прочно цементируют минеральные коллоиды, что вода, даже при полном насыщении почвы натрием, не может распылить эти агрегаты: в отношении структурообразования эта часть органических коллоидов, дающая такие прочные агрегаты, является наиболее деятельной, наиболее активной. Обработка почвы перекисью водорода, уничтожая этот прочный цемент, влечет за собой освобождение минеральных коллоидальных частиц из агрегатного состояния (которые сами по себе не способны склеивать и склеиваться, не активны), чем и повышает коллоидальность минерального остатка почвы.

Долгопрудное, 5 июля 1931 г.

## 10. ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС КАК КОЛЛОИДАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ И ЕГО ВЗАИМООТНОШЕНИЕ С РАСТЕНИЕМ<sup>1</sup>

Учение о почвенном поглощающем комплексе и связанное с ним учение о поглотительной способности почвы в современном виде начало развиваться только с 1910 г. и оформилось в общую систему только после Октябрьской революции (1-е изд. «Учения о поглотительной способности почвы» 1922 г., 1-е изд. «Почвенного поглощающего комплекса» 1925 г.); все же, что сделано до настоящего времени по изучению взаимоотношения между поглощающим комплексом и растениями, сделано в самые последние годы.

<sup>1</sup> «Химизация соц. земледелия» № 12, 1932 г.

Главнейшие общие положения, вытекающие из современного состояния учения о почвенном поглощающем комплексе и поглотительной способности почвы, следующие.

1. Высокая степень дисперсности коллоидальной фракции почвы и обуславливаемая этим сильно выраженная поверхность этой фракции и особое строение коллоидальной части — мицеллы (Wiegand, Mattson) — придают этой части почвы особые свойства, выраженные названием, данным мною этой части почвы — почвенный поглощающий комплекс (ПК).

2. Происхождение этой части почвы двойное: *дисперсионное* (раздробление до коллоидальных размеров почвенных минералов под влиянием агентов выветривания) и *конденсационное*, синтетическое (образование сложных адсорбционных комплексов из молекулярных продуктов выветривания). В различных типах почвообразования преобладает то тот, то другой, то вместе оба типа образования коллоидов.

3. Наиболее существенным свойством коллоидальной фракции почвы, которым она отличается от других фракций и вследствие которого ей дано название почвенного поглощающего комплекса, является то, что в этой части почвы почти исключительно сосредоточиваются все виды поглотительной способности и в том числе наиболее изученный и наиболее практически важный вид — обменная поглотительная способность. Экспериментально доказано, что другие более крупные механические фракции обменной способности почти не обладают.

4. Анионная часть почвенного ПК и реакция взаимодействия между почвенным ПК и анионами солей еще мало изучены. Наоборот, катионная часть почвенного ПК и именно те катионы, которые находятся на поверхности его частиц и потому обладающие способностью к обмену (обменные катионы — ОК), и реакции взаимодействия между почвенным ПК и катионами солей изучены уже достаточно полно и систематически и выявлены основные законы обмена между катионами почвы и солевых растворов.

5. Химический состав горных почвообразующих пород и условий почвообразования на земной поверхности таковы, что в числе «главных» ОК в ПК почв земного шара нормально встречаются только следующие четыре металла: Са, Mg, H, Na (в порядке частоты нахождения их в почвах); остальные металлы и в том числе даже такой, как калий, занимают в почвенном ПК «подчиненное» положение; они должны содержаться в почвенном ПК в обменном состоянии, но как правило лишь в ничтожных трудно определяемых количествах.

6. Содержание в ПК почвы тех или иных главных обменных катионов находится в зависимости от материнской породы и внешних факторов почвообразования, поэтому каждому типу почвообразования соответствует свой определенный состав ОК; этот состав есть основной признак почвенной генетической классификации.

7. Все свойства почвы — и физические, и химические, и биологические — находятся в теснейшей зависимости от того, какие ОК содержит ее ПК, каков коэффициент насыщения каждого из этих катионов и какова вся емкость обмена почвы.

8. Состав почвенного раствора, в котором живут корни растений и из которого они черпают почти все необходимые для жизни элементы, представляет отображение почвенного ПК и состава его ОК; поэтому

совершенно понятна самая тесная взаимная связь между растением и почвенным ПК вообще и в частности особенно его ОК. Производительность почвы в смысле использования растениями питательных веществ, как естественно содержащихся в почве, так и вносимых туда с удобрениями есть функция ее ПК и в частности его ОК.

9. Из числа естественно присутствующих в почвах ОК (т. е. Са, Mg, Н и Na) и целого ряда других исследованных мною металлов ( $\text{NH}_4$ , К,  $\text{S}_2$ , Cd, Ва, Mn, Fe, Со, Ni, Cu, Al) кальций занимает совершенно особое место на земном шаре по своему влиянию на растительность (повидному и на микрофлору); это—единственный металл, при полном насыщении емкости обмена которым в почве получаются благоприятные условия для развития растений. К кальцию в этом отношении примыкают очень сходный с ним химически стронций; на почвах же, полностью насыщенных одним из 14 остальных вышеуказанных катионов, растения или совершенно гибнут или развиваются заметно слабее, чем на почве, насыщенной одним лишь кальцием.

10. Но почва, насыщенная одним лишь кальцием, далеко не дает еще максимального урожая даже при избытке питательных веществ; урожай могут быть значительно повышены введением в почвенный ПК ряда других катионов и изменением отношения между количествами существующих уже в почве ОК.

11. Непосредственные опыты указывают на большое влияние на высоту урожая величины отношения между обменным кальцием и магнием; оптимальное отношение Са : Mg различно для растений и повидному зависит от величины емкости обмена данной почвы и присутствия в ее ПК других ОК. Создание в почве неблагоприятного отношения между кальцием и магнием (слишком высокого) объясняет неблагоприятное действие, иногда совершенно губящее урожай, избыточного известкования чувствительных к этому отношению растений (лен, картофель, горчица и др.). Дальнейшее изучение этого вопроса даст возможность введения в практику известкования таких сортов доломитов и доломитизированных известняков, при применении которых не будет опасности вредных последствий избыточного известкования.

12. Но кроме магния как обменного катиона имеющиеся уже данные экспериментального исследования указывают на ряд других катионов, присутствие которых в обменном состоянии в почвенном ПК может заметно повышать производительность почвы; но в то время когда для максимального эффекта содержание обменного магния должно быть в почве довольно высокое (можно для первого приближения таковым считать среднее содержание обменного магния в черноземах, т. е. примерно 20—40 единиц его на 100 единиц обменного кальция), содержание остальных ОК, полезных для растительности, должно быть как правило очень малым, а иногда и совершенно ничтожным; между такими «добавочными» ОК можно различать два рода катионов:

а) одни из этих добавочных катионов (это—обычно те, которые даже в очень небольших количествах сильно ядовиты растениям) в самых ничтожных количествах в почвенном ПК стимулируют рост растений, каким-то еще неизвестным способом улучшают общие условия жизни растений и этим способствуют усиленному использованию имеющихся в почве или вносимых в почву с удобрением доступных растений

питательных веществ. Такую стимулирующую способность мы обнаружили пока у следующих металлов, введенных искусственно в почвенный ПК в качестве обменных катионов: H, Rb, Cd, Ba, Co, Mn, Ni, Al;

в) другие металлы, введенные в почвенный ПК, оказываются способными повышать деятельность почвы в отношении перевода ее соединений в состояние, доступное для усвоения растениями и микроорганизмами; это — те ОК, которые обладают способностью распылять почвенный ПК, разрушать микроструктуру почвы и усиливать коллоидальность почвы, т. е. это — легкие одновалентные металлы: Li, Na, K, NH<sub>4</sub>, H (расположены в порядке убывания указанной способности); все эти ОК, находясь в почве выше известного количества, не только вредят растениям, но даже полностью их губят. Почвы, содержащие в таких количествах обменный натрий (солонцеватые почвы) или обменный водород (подзолистые и латеритные почвы), нуждаются в мелиорации для замены этих катионов кальцием (гипсование солонцов и известкование подзолистых почв), но в ничтожных количествах эти катионы, не вредя еще сколько-нибудь заметно растениям, усиливают распыляющее и растворяющее действие воды и тем способствуют переходу недоступных растению азотистых и фосфорнокислых соединений почвы в усвояемое состояние.

13. Тесная зависимость развития растения от содержания в питательном растворе «питательных» и различных «непитательных» элементов, от высоты их концентрации и от величины отношений между этими концентрациями, с одной стороны, и тесная связь состава почвенного раствора с почвенным ПК и в первую очередь с его ОК, с другой стороны, определенно говорят за то, что химизацией земледелия возможно не только обеспечение урожая нужными питательными элементами (азот, фосфор, калий), но и такое изменение состава ОК в поглощающем комплексе (введение в ПК желательных катионов обработкой почвы солями этих катионов), создание в почвенном ПК такого состава ОК и такого соотношения между ними, которые обуславливали бы возможно высшую производительность почвы и наиболее сильное использование вносимых удобрений ведущей культурой севооборота.

14. Несомненно существующая теснейшая зависимость урожайности почвы от свойств ее ПК и от состава его ОК требует для возможности управления ею в желательном для человека направлении прежде всего всестороннего изучения и исследования; между тем по настоящий день на эту практически очень важную проблему почти вовсе не обращается еще внимание.

18 сентября 1932 г.

#### 11. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ПО ГРУППЕ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА на 1933 г.

1. Отношение растений и микроорганизмов к различным обменным катионам (частично входят вопросы мелиорации солонцеватых почв).

2. Обменный аммоний как источник азота для растений и нитрофицирующих микроорганизмов (имеет отношение к вопросам аммонийных удобрений).

3. Соотношение обменных Са и Mg в почве и роль этого отношения в жизни растения (вопросы известкования почв).
4. Изучение доломита и доломитизированных известняков как материала для создания в почве правильного отношения между обменным кальцием и магнием (к вопросам известкования почв).
5. Степень благоприятности для растений кальция и магния в различных подзолистых почвах (к вопросам известкования почв).
6. Почвенный поглощающий комплекс и трудно растворимые фосфорнокислые удобрения.
7. Взаимодействие между динамикой азота и фосфора в почве.

## 12. ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ТЕМАМ ГРУППЫ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА на 1933 г.

Все намеченные на 1933 г. темы являются отдельными вопросами общей проблемы о взаимодействии между удобрениями, почвенным поглощающим комплексом и растением, разрабатываемой мною уже 4-й год. Тематика 1933 г. непосредственно вытекает из результатов, полученных мною в предшествующие годы, и является прямым дальнейшим развитием этих исследований.

В первую очередь я ставлю темы, намеченные пп. 3, 4 и 5, которые посвящены дальнейшей разработке выдвинутого мною в прошлом году вопроса о значении для растений отношения между обменным кальцием и обменным магнием в почвах; в этих темах делается попытка кроме теоретической разработки вопроса подойти к практическому использованию его в целях повышения урожайности.

По теме п. 1 будут продолжаться исследования о влиянии на растения и на жизнь почвы введения в почвенный поглощающий комплекс различных обменных катионов и в том числе натрия как обменного катиона, вызывающего отрицательные свойства солонцов; тема будет связана с вопросами мелиорации солонцов под различными культурами; объем последних вопросов будет находиться в зависимости от тех условий, какие будут представлены моей группе, и в частности от времени предоставления мне новой лаборатории.

Тема п. 6 имеет целью выяснение вопроса о зависимости степени от усвояемости фосфоритов и других труднорастворимых фосфатов от содержания в почвах обменного водорода. Вопрос этот был поставлен мною на очередь еще в 1911 г., и в настоящее время я предполагаю приступить к нему вплотную. Объем этой темы в лабораторном отношении также связан со временем окончания лаборатории в Долгопрудном опытном поле.

Тема п. 2 является продолжением начатых уже мною исследований об усвояемости и действии на растение и почву обменного аммония; предварительное мое исследование сдается в печать в НИУ на этих днях; вопрос этот я считаю очень актуальным; но он также требует подходящей лаборатории и ввиду отсутствия таковой будет проводиться мною главным образом вегетационным методом, т. е. одно-сторонне.

Наконец тема п. 7 является первой попыткой моей группы вывести вопросы об обменных катионах почвы в полевую обстановку и касается одного из самых существенных вопросов полеводства —

о состоянии в почве фосфорного минимума и зависимости его от степени насыщенности почвы основаниями и влияния на нее процессов нитрификации.

Акад. К. К. Гедройц

### 13. СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ К. К. ГЕДРОЙЦА

Электрический метод Whintney и Meants для определения солонцеватости почв («Журнал опытной агрономии»), 1900 г.

Химические методы определения плодородия почв по отношению к фосфорной кислоте. Там же, 1901 г.

Химические методы определения плодородия почв по отношению к фосфорной кислоте. Там же, 1903 г.

Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений. Там же, 1905 г.

Действие на растения углекислых и двууглекислых щелочей. Там же.

Постановление Германского союза с.-х. станций относительно исследования и оценки удобрений, кормов и семян. Изд. Деп. землед. 1905 г.

Потребность в удобрениях русских почв из различных местностей по вегетационному методу. Труды с.-х. лаборатории Мин. земледелия, 1905 г.

Сравнительное действие азота, костной муки и азотнокислого аммония на подзолистой почве под ячменем. Там же.

Сравнительная усвояемость фосфорной кислоты фосфорита, костяной муки и томасшлака озимой рожью и озимой пшеницей. Там же.

Максимальная производительность почв в сосудах. Там же.

Совместно с Коссовичем. О сравнительной способности с.-х. растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита. Там же.

Влияние объема почв на потребность растений в питательных веществах. ЖОА, 1906 г.

К вопросу об изменении концентрации почвенного раствора и содержания в почве легкорастворимых соединений в зависимости от внешних условий. Там же.

Потребность красного клевера в фосфорной кислоте в связи с ходом восприятия этого вещества и явлением клевероутомления почвы. Там же, 1907 г.

Действие известкового азота на овес в зависимости от времени и способа внесения и от характера почвы. Там же, 1908 г.

Коллоидальная химия и почвоведение. Там же, 1908 г.

О сравнительной способности с.-х. растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита. Труды с.-х. лаборатории Мин. земледелия, 1909, вып. VI.

Влияние объема почвы и густоты посева на потребность растений в питательных веществах. Там же.

Влияние различных условий увлажнения почвы на результаты вегетационного метода. Там же.

Потребность почв в удобрениях по вегетационному методу. Там же.

Опыты с известковым азотом. Там же.

К методике вегетационного опыта. Там же.

Опыт с действием небольших количеств хлористого марганца на одной почве под различными растениями. Там же.

Сравнительное плодородие различных почвенных горизонтов. Там же.

Опыты по влиянию стерилизации почвы на рост растений и на самую почву. Там же.

Доступность растениям фосфорной кислоты различных фосфорнокислых солей. Там же.

К вопросу об определении щелочности и кислотности почвы. ЖОА, 1909 г.

Постановления Германского союза с.-х. станций относительно исследования и оценки удобрений, кормов и семян. Изд. Деп. земледелия, 2-е доп., 1909 г.

Методы химического анализа почв, принятые в с.-х. химич. лаборатории. Труды с.-х. химич. лаборатории Мин. земледелия, 1909 г., выпуск VII.

Материалы к вопросу о влиянии на растения кислот, щелочей и некоторых неорганических солей. ЖОА, 1910 г.

На каких почвах действует фосфорит. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями. Там же, 1911 г.

Еще о почвах, на которые действует фосфорит. Там же.

- Потребность почв Петербургской губернии в удобрениях в условиях вегетационного опыта. Труды с.-х. химич. лаборатории, Мин. земледелия, 1911 г. Выпуск VIII.
- Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Солонцы и солончаки. Там же, 1912 г.
- Постановление Германского союза с.-х. станций относительно исследования и оценки удобрений, кормов и семян. Издание Деп. земледелия, 3-е дополн., 1912 г.
- Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. Скорость обменных реакций в почве. Коллоидальность почв, насыщенность различными основаниями и красочный метод определения количества коллоидов в почве. ЖОА, 1914 г.
- Пальмер-фосфат как источник фосфорной кислоты для с.-х. растений. Труды с.-х. химич. лаборатории Мин. земледелия, 1914 г.
- Действие солей марганца и сернистой закиси железа на различных почвах под льном и клевером. Там же, 1913 г.
- Сравнительные результаты одного вегетационного опыта, произведенного параллельно на вегетационной станции с.-х. химич. лаборатории в Петербурге и на с.-х. опытной станции Сибирской губернии. Там же.
- Изменяемость плодородия и производительности почв под влиянием естественных условий и при хранении почв в воздушносухом состоянии. Там же, 1913 г.
- Влияние углекислого кальция на усвояемость растениями и на растворимость водорастворимых фосфатов. Там же, 1914 г.
- К вопросу о влиянии цинковых сосудов на результаты вегетационного опыта. Там же, 1913 г.
- Влияние времени посева на урожай растений и использование ими питательных веществ почвы в вегетационных сосудах. Там же, 1913 г.
- О растворяющей и осаждающей деятельности корней растений. Там же, 1913 г.
- Заметки по агрономическому анализу. ЖОА, 1914 г.
- Действие элентролитов на влияние суспензии. Бюро землед. и почвовед. Сообщ. 24, 1915 г.
- Определение цеолитной кремниевой кислоты в почвах. ЖОА, 1916 г.
- Поглотительная способность почвы и почвенные цеолитные основания. Там же.
- Засоленные почвы и их улучшения. Там же, 1917 г.
- Методы контроля удобрений. Изд. Деп. земледелия, 1917 г.
- О переводе кремниевой кислоты в нерастворимое состояние при почвенном анализе ЖОА, 1918 г.
- К методике определения цеолитных оснований в почве. Там же.
- Материалы к познанию поглотительной способности почвы. Скорость поглощения, емкость поглощения и энергия поглощения и вытеснения. Там же, 1918 и 1919 гг.
- Солянокислый метод определения в почве катионов, находящихся в поглощенном состоянии. Там же, 1921 г.
- Почвы, неапатитные основаниями. ЖОА, 1921 г.
- Учене о поглотительной способности почв. Изд. Наркомзема, 1922 г.
- К вопросу о причинах лучшего использования фосфорнокислых удобрений на полях Носовской станции после культуры клевера. Изд. Носовской станции, 1923 г.
- Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона. ЖОА, 1923 г.
- Химический анализ почвы. Изд. «Новая деревня», 1923 г.
- Краткий обзор общих результатов исследований кафедры почвоведения Ленинградского Лесного института как основание ведущихся сейчас и намечаемых опытов и исследований в учебно-опытных дачах Института. Изд. Лесного института, 1924 г.
- Отчет Агрохимического отдела Носовской опытной станции, 1924 г.
- Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации. 1925 г.
- К вопросу о районе Носовской опытной станции, 1926 г.
- Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция, 1926 г.
- Почва как культурная среда для с.-х. растений, 1926 г.
- Осоление почв, 1926 г.
- Структурность почвы и значение ее в сельском хозяйстве. Изд. Гос. института оп. агрономии, 1926 г.
- Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации. 1927 г.
- Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация. 1928 г.
- Работы вегетационной станции отд. почвоведения ГИОА по Сев.-западной области. Изд. ГИОА, 1928 г. № 5—6, стр. 154.
- Проблема почвы. 1929 г.

- К вопросу о поглощенном натрии в почвах. Почвоведение. 1929 г.  
Универсальный метод определения в почвах емкости обменной способности. Изд. ГИОА, 1929 г.
- Химический анализ почвы. 2-е испр. и доп. изд., 1929 г.  
Учение о поглотительной способности почвы. 2-е испр. и доп. изд., 1929 г.
- К вопросу об обменном водороде и об обменном алюминии в кислых почвах. «Почвоведение», 1930 г.
- Почвенные обменные катионы и растение. 1-е «Удобр. и урожай», 1930 г.
- Главнейшие особенности почвообразовательного процесса Днепровской низины. 1930 г. Статья в работе Боловахи «Грунты району Дніпровського льодовикового язика».
- Действие перекиси водорода на почву. «Удобрение и урожай», 1913 г., № 9.  
По поводу статьи проф. Серебрякова, «Удобрение и урожай», 1930 г., № 9—10, стр. 781.
- Действие перекиси водорода на почву. 2-е 1931 г., № 10.
- Почвенные обменные катионы и растение. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве. «Удобрение и урожай», 1931 г., № 11—12.
- Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелiorация. «Химизация социалистического земледелия», 1932 г., № 1.
- Учение о поглотительной способности почвы. 1932 г. Изд. 3-е.
- Почвенные поглощенные катионы и растение. 3-е.
- Почвенные поглощенные катионы и растение. 4-е Погл. аммоний и растение.
- Работы Агрохимич. отд. НИУ по взаимоотношению между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением.
- Химический анализ почвы. Изд. 3-е.
- В ЖОА, т. I—XXIV, помещено К. К. Г е д р о й ц е м около 2 500 рефератов русских и иностранных работ по агрохимии и почвоведению.
- В журнале «Сельское хозяйство и лесоводство» 1915—1918 гг. им же помещены сводки работ по известкованию, фосфоритованию и по токсическому и антагонистическому действию различных соединений на растения.
- В 1913 г. им переведена с немецкого языка книга С. Мерка «Испытание химических реактивов на чистоту».
- Переводы наиболее интересных работ почвенного Бюро США. Лесной журнал.
- Из поименованных выше работ переведены на английский язык. «Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Солонцы и солончаки». Труды с.-х. химической лаборатории, 1912 г.
- На немецкий язык переведены: «Методы химического анализа почв, принятые в с.-х. химической лаборатории. Труды с.-х. химической лаборатории Мин. земледелия, 1909 г., выпуск VII.
- «Химический анализ почвы». Изд. «Новая деревня», 1923 г.
- «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации», 1927 г.
- «Учение о поглотительной способности почвы. 2-е испр. и доп. изд., 1929 г.

Ч А С Т Ь   В Т О Р А Я

**МАТЕРИАЛЫ ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ ОПЫТАМ**  
акад. К. К. ГЕДРОЙЦА ЗА 1930—1932 гг.

---

**ПОЧВЕННЫЕ ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ И РАСТЕНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ**

*А. Вольская*

Вегетационные опыты акад. К. К. Гедройца по изучению влияния на растения обменных катионов почвы приведены в следующей сводке (см. стр. 166).

Часть перечисленных в таблице опытов, главным образом по II группе, была обработана и опубликована самим Константином Казтаповичем. Изложение всех остальных опытов К. К. Гедройца по этой теме, не опубликованных им или опубликованных только частично в виде предварительных сообщений составляет содержание настоящего раздела этого сборника.

Из аналитических работ в отчете помещены только данные, связанные с вегетационными опытами и выполненные по указаниям К. К. Гедройца кем-либо из его сотрудников.

Материалы по опытам К. К. Гедройца «Почвенные обменные катионы и растение» составлены по следующему плану:

А. Методика работ К. К. Гедройца по вегетационным опытам в маленьких сосудах.

В. Опыты с известкованием и изучением соотношения между обменными кальцием и магнием в почве:

1) на почве, полностью насыщенной водородом (№ опытов по таблице с 1 по 13 вкл.);

2) на торфянистой почве (с № 15 по 20 вкл.).

С. Опыты с поглощенными катионами (Al, Mn и др.) (№ 25, 26, 27).

Тот или иной опыт К. К. Гедройца излагается тем сотрудником, который проводил у него данный опыт.

**А. МЕТОДИКА акад. К. К. ГЕДРОЙЦА В ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТАХ**

*С. Г. Шедеров*

Методика К. К. Гедройца в вегетационных опытах отличается от обычно принятой, поэтому считаем необходимым дать ее краткое описание<sup>1</sup>.

Изучение влияния на растение поглощенных катионов производи-

---

<sup>1</sup> В. Г. Тарановская, Вегетационный метод в работе К. К. Гедройца, «Химия. соц. земледелия», № 1, 1933 г.

лось на почвах, искусственно насыщенных тем или иным катионом или катионами; в зависимости от поставленной цели производилось либо частичное либо полное насыщение почвы.

Изучение вредного действия избытка извести в большей своей части проведено на почве, искусственно насыщенной водородным ионом. Для этих опытов применялся чернозем Каменноостенской опытной станции, обладающий большой емкостью поглощения.

Насыщение чернозема водородом производилось обработкой его 0,05N соляной кислотой. По исследованиям К. К. Гедройца соляная кислота такой слабой концентрации вытесняет своим водородным ионом поглощенные основания, почти не разрушая почвенных соединений<sup>1</sup>.

Навеска почвы в 2,5—3 кг, просеянной через сито в 1 мм, обрабатывалась 0,05N соляной кислотой в эмалированных тазах, затем почва переносилась на фильтр № 602 extra hart Sch. и Sch. в больших воронках в 27 см диаметром и промывалась на них соляной кислотой до полного вытеснения кальция (качественная проба щавелевокислым аммонием); для этого требовалось промыть через взятую навеску около 150 л HCl 0,05N.

После вытеснения поглощенных оснований почва отмывалась от хлоридов дистиллированной водой (реакция на хлор азотнокислым серебром); на это шло 15—20 л воды.

Полная обработка почвы 2,5—3 кг продолжалась обычно 6—7 месяцев, фильтры же через 3—4 месяца загнивали, поэтому почва в середине обработки переносилась на новые фильтры.

Для ускорения процесса вытеснения поглощенных оснований часть почвы обрабатывалась соляной кислотой несколько повышенной концентрации — 0,075N.

По этому же способу производилось насыщение почвы другими катионами. Применялся также другой метод обработки.

Навеска почвы 10—20 кг обрабатывалась в стеклянном сосуде раствором соли соответствующего катиона из расчета 1 л раствора на 1 кг почвы. После оседания почвенных частиц до просветления жидкости производилось сливание отработавшего раствора. Отмывание почвы от раствора солей производилось дистиллированной водой также декантацией.

Количество поглощенного почвой катиона определялось по сумме вытесненных из почвы оснований (в данном случае первоначальная почва полностью насыщена основаниями).

Получение почвы, искусственно насыщенной водородом или иным катионом, требовало много времени и больших затрат, поэтому в целях экономии таких почв опыты на них ставились в малых металлических сосудах рамерами 10×13 см.

На дно такого сосудика вставлялась металлическая вкладка, по одну сторону ее вносилось 100—150 г битого стекла, но так как и при этом сравнительно обильном дренаже все же не доставало почвы, то кроме стекла на дно сосуда накладывалось 250—300 г песка и уже на песок вносилась почва в количестве 500—600 г на сосуд. Почва в сосудах не покрывалась песком, как это обычно принято делать.

<sup>1</sup> «Учение о поглотительной способности почв», стр. 180, изд. 1932 г.

Сводка опытов акад. К. К. Гедройца, проведенных им в НИУ в 1930—1932 гг. по теме «Почвенные обменные катионы и растения»

№ попор.	Название опыта	Годы проведения опыта	Кол-во сосудов	Культура	Ответствен. помощник опыта	Где опубликовано К. К. Гедройцем
1	Известкование почвы, полностью насыщенной N <sup>+</sup> (предварит. опыт).	1929—1931	36 <sup>1</sup>	Горчица, гречиха, лен, вика	В. Тарановская <sup>2</sup> и А. Вольская	Предвар. сообщение в «Зубе и урожае», 1931 г., № 11—12, а также сообщение о подготовке работы о почвенном обмене катионов, 1932 г., гл. 7-я и Химия, сов. союз, 1932 г., № 1
2	Известкование почвы, в разной степени насыщенной N <sup>+</sup> .	1929—1931	36	Горчица и гречиха	В. Тарановская и А. Вольская	
3	Опыт с почвой, полностью насыщенной магнием.	1931—1932	72	Горчица и овес	А. Вольская	
4	Известкование почвы, полностью насыщенной N <sup>+</sup> (основ. опыт 1931 г.).	1931—1932	365	Овес, лен, гречиха, горчица, клевер	С. Шедеров и А. Вольская	
5	Известкование первоначального каменного чернозема.	1931	48	Овес и горчица	С. Шедеров	
6	Известкование в песчаных культурах.	1931	48	Овес	С. Шедеров	
7	Опыт с MgCO <sub>3</sub> , доломитом и магнитом на пернонач. черноземе и в песчаных культурах.	1931	54	Горчица, лен и овес	А. Вольская	
8	Опыт с MgCO <sub>3</sub> и магнитом на фоне CaCO <sub>3</sub> на почве, полностью насыщенной N <sup>+</sup> .	1931—1932	44	Горчица	С. Шедеров	
9	Основной опыт по изучению соотношения обменного Ca: Mg на черноземе, полностью насыщенном N <sup>+</sup> .	1932	320	Лен и овес	А. Вольская	
10	Влияние времени внесения CaCO <sub>3</sub> на эффект известкования.	1932	35	Овес и лен	А. Вольская	

I группа. Опыты по известкованию и отношению между обменными Ca и Mg

<sup>1</sup> Две цифры года опыта указывают на то, что опыт повторялся в тех же сосудах на следующий год. Соответственно о этом количестве сосудов представлено в таких случаях удвоенное против основного.  
<sup>2</sup> Две фамилии исполнителя опыта указывают на то, что первый год опыт велся одним сотрудником, на второй год — другим.

№ по пор.	Название опыта	Годы проведе- ния опыта	Кол-во сеюнок	Культура	Осветлен. площадь опыта	Число опытнических К. В. Г. Д. Р. В. И. О. М.
41	Опыт с различными дозами и видами доломитов на черноземе, полностью насыщенном Н.	1932	136	Лен и горчица	А. Вольская	«Удобрение и уро- жай», 1930 г., № 6
42	Опыт с магнезитом на черноземе, полностью насыщенном Н.	1932	82	Лен, горчица и овес	А. Вольская	
43	Опыт с почвой, полностью насыщенной кальцием.	1932	34	8 разных растений	А. Вольская	
44	Известкование перлонач. каменностепного чернозема, промывного $\text{CO}_2$ .	1931	30	Горчица	А. Вольская	
45	Действие $\text{CaCO}_3$ и доломита на торфянистой почве (рекондицировочный опыт).	1931	9	Горчица	С. Шедеров	
46	Основной опыт по изучению соотношения обменного Са: Mg на торфянистой почве.	1932	352	Овес и лен	С. Шедеров	
47	Действие доломита на торфянистой почве.	1932	40	Лен и овес	С. Шедеров	
48	Действие форм магнезита на торфянистой почве.	1932	88	» »	С. Шедеров	
49	Опыт с $\text{SrCO}_3$ на торфянистой почве.	1932	50	» »	С. Шедеров	
20	Известкование торфянистой почвы, частично насыщенной Са и Са + Mg	1932	47	Лен, овес, клевер, горчица	С. Шедеров	
21	Опыт с $\text{MnCO}_3$ и $\text{CaCO}_3$ на торфянистой почве <sup>1</sup> .	1932	140	Клевер, лен, овес	Э. Магарам	

II группа. Опыт с другими поглощенными катионами

22	Каменностепной чернозем, полностью насыщенный различными катионами.	1929—1931	68	Овес, горчица и вишня	В. Тараповская и А. Вольская	«Удобрение и уро- жай», 1930 г., № 6
23	Тульский чернозем, полностью насыщенный различными катионами.	1929—1931	58	Овес и горчица	В. Тараповская и А. Вольская	

<sup>1</sup> Материалы по опытам № 14 и 21 в сборник не включены.

№ по пер.	Название опыта	Годы проведения опыта	Кол-во сосудов	Культура	Ответствен. исполнит. опыта	Где опубликовано и. К. Г е д р е н ц е в
24	Действие на растение небольших количеств различных металлов, находящихся в почве в поглощенном состоянии . . . . .	1929—1931	96	Овес	В. Тарановская и А. Вольская	«Минеральные удобрения», 1932 г., № 1
25	Опыт с почвой, в различной степени насыщенной Al . . . . .	1931—1932	200	Овес	С. Шедеров	
26	Опыт с почвой, в различной степени насыщенной Mn . . . . .	1931—1932	224	Овес, горчица, гречиха, клевер, лен	С. Шедеров	«Минеральные удобрения», 1932 г., № 2
27	Действие одинаковых количеств поглощенного Cd, Ni и Al при двух различных способах введения их в почву . . . . .	1931—1932	92	Разные растения	А. Вольская и С. Шедеров	
28	Условяемость поглощен. NH <sub>3</sub> в почве . . . . .	1930—1931	12	Овес	В. Тарановская и А. Вольская	«Удобр. и урожай», 1931 г., № 9 и 10
29	Влияние небольших количеств поглощенного Na на подвижность органического N в черноземе . . . . .	1930—1931	30	Овес	В. Тарановская и А. Вольская	
30	Опыт с солонцами <sup>1</sup> . . . . .	1932	406	Разные растения	М. Каталимов	
Несколько опытов стоят следующие опыты						
31	Действие обработки черенком водорода на подвижность органического N в черноземе . . . . .	1930—1931	120	Овес	В. Тарановская и А. Вольская	«Удобр. и урожай», 1931 г., № 9 и 10
32	Влияние различных способов подготовки почвы для вегетат. опытов на ее урожайность <sup>1</sup> . . . . .	1932	80	Овес	Е. Ярилова	
			Итого . . . . .	3 153		

<sup>1</sup> Материалы по опытам № 30 и 32 в сборнике не включены.

К. К. Гедройц требовал сильного уплотнения почвы в сосудах при набивке.

Посев растений обычно производился сухими семенами за исключением овса, который предварительно протравливался в растворе формалина, затем прорастивался.

Вследствие малого объема сосудов почва в них сильно прогрелась и быстро испаряла влагу, поэтому поливка растений в них производилась от 3 до 5 раз в день, чтобы не допускать завядания растений.

## В. ОПЫТЫ ПО ИЗВЕСТКОВАНИЮ И ИЗУЧЕНИЮ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ОБМЕННЫМИ КАЛЬЦИЕМ И МАГНИЕМ В ПОЧВЕ

### 1. Опыт с известкованием на почве, полностью насыщенной водородом

а) Опыт № 1 и 2. Предварительные опыты с известкованием 1929—1931 гг.

#### А. Вольская

Приступая вновь в последние годы к изучению вопросов, связанных с известкованием почвы, К. К. Гедройц остановился в своих опытах не на естественных почвах разной кислотности, но на искусственно приготовленной кислой почве.

Соображения, которые привели его к этому новому подходу в исследовании вопросов известкования, изложены К. К. Гедройцем в двух статьях его 1931 и 1932 гг.<sup>1</sup> Вкратце они сводились к тому, что среди естественных почв невозможно было подобрать группу таких почв, которые отличались бы друг от друга только одним свойством, именно различной степенью кислотности, что нужно было К. К. Гедройцу для его исследования. Вместе с тем этого условия, казалось бы, можно было достигнуть, промывая одну и ту же почву слабой соляной кислотой. Первый небольшой опыт в этом направлении и был поставлен К. К. Гедройцем еще на Носовской опытной станции в 1929 г. и продолжен в 1930 и 1931 гг. на Долгопрудном опытном поле НИУ. Для опыта был взят пахотный горизонт (0—20 см) каменисто-песчаного чернозема, вся емкость обмена которого (около 50 мг-экв.) была полностью насыщена водородом промыванием почвы 0,05N соляной кислотой.

Навеска почвы на сосуд — 600 г. Во все сосуды вносились полное минеральное удобрение: 0,1 г N в  $KNO_3$ , 0,1 г  $P_2O_5$  в  $NaH_2PO_4$  и 0,05 г MgO в  $MgCl_2$ . На этом фоне вносились различные количества  $CaCO_3$  (химически чистый) от 10 до 150 мг-экв. на 100 г почвы. В сосуды были посеяны овес, убранный в зрелом виде. Схема опыта и урожайные данные приведены в таблице 1.

В 1930 г. сосуды этого опыта, перевезенные на Долгопрудное опытное поле, были перебиты с повторным внесением N, P, K и Mg в тех же количествах и солях кроме сосуда № 349, в который питательные растворы на этот раз не вносились, так как в этом сосуде не было получено урожая в предыдущем году. В сосуды с гипсом № 472

<sup>1</sup> «Удобрение и урожай», 1931 г., № 11—12, стр. 1047 и «Хим. соц. земледелия», 1932 г., № 1, стр. 45, а также см. стр. 55 и 116 данного сборника.

и 473 было дано кроме того по 24 г  $\text{CaCO}_3$ . В сосуды была посеяна горчица, убранный в стадии цветения (16 июля).

Сейчас же после уборки горчицы был посеян лен, снятый в зеленом виде.

В 1931 г. сосуды этого опыта снова перебивались, причем полное удобрение давалось в половинной дозе и только в сосуды с 10, 20, 40 и 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ . В сосуды высевалась гречиха (26 мая), убранный в стадии цветения 20 июля.

Сейчас же после уборки гречихи сосуды опять перебивались, причем уже во все сосуды кроме № 349 — без  $\text{CaCO}_3$  и № 492—93 с 3 г  $\text{CaCO}_3$  снова вносилось N, P, K по 0,1 г N в  $\text{HNO}_3$  и 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; кроме того в один из парных сосудов с большими дозами  $\text{CaCO}_3$  вносится по 1 г  $\text{MgCO}_3$  (в № 467, 470 и 471). 25 июля был произведен посев вики, и 16 сентября она была убрана, не достигши стадии цветения.

Результаты этого опыта на всех растениях приводятся в таблице 1.

Не обсуждая во всех деталях данные полученных урожаев, остановимся лишь на основном результате этого опыта. Он заключался в том, что все растения отчетливо и закономерно реагируют на созданные в опыте различные условия кислотности и обнаруживают при этом свои особенности. Не менее важным было еще и то, что, отзываясь сильно положительно на известкование этой почвы до определенной дозы, многие растения почти погибали при некотором избытке  $\text{CaCO}_3$  — факт, который наблюдался и на некоторых естественных почвах в более ранних опытах К. К. Гедройца.

Одновременно с опытом известкования почвы, полностью насыщенной водородом, К. К. Гедройц закладывает в том же 1929 г. опыт с известкованием почвы, в разной степени насыщенной H<sup>+</sup>. Почва для опыта готовилась следующим образом: одинаковые навески каменнотерrestrialного чернозема обрабатывались 250 см<sup>3</sup> 0,05N HCl, причем одна навеска обрабатывалась кислотой 1 раз, другая — 8 раз, третья — 16 раз и четвертая — 40 раз. С каждой почвой, полученной таким образом, набивалось по 4 вегетационных сосуда — два без известки и два с 10 г  $\text{CaCO}_3$ . Во все сосуды вносилось полное удобрение: 0,1 г N в  $\text{KNO}_3$ , 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 г MgO в  $\text{MgCl}_2$ . Так же как и первый, этот опыт носил рекогносцировочный характер и сосуды опыта из года в год пересевались различными растениями.

В 1929 г. в этом опыте первым растением был овес. В 1930 г. после перебивки сосудов с повторным внесением N, P, K и Mg в тех же количествах и формах была посеяна горчица; после уборки горчицы (16 июля) сейчас же, без перебивки сосудов был посеян лен. Лен был убран в зеленом виде 28 августа. В 1931 г. в эти же сосуды, после перебивки и внесения N, P, K и Mg в половинной дозе в сосуды с  $\text{CaCO}_3$ , была посеяна гречиха, убранный в стадии созревания 8 августа.

Результаты этого опыта на всех растениях сведены в таблице 2.

Результаты опыта обнаружили, что ни одно из растений не реагирует с достаточной отчетливостью на различную степень кислотности почвы: все они дают почти одинаковые урожаи на почвах, обработанных с различной интенсивностью соляной кислотой. Действие внесенного  $\text{CaCO}_3$  проявляется вполне определенно, но опять-таки в урожаях до известной различий между почвами не обнаружилось, так что в даль-



Урожай растений в опыте 1929—1931 гг. с известкованием почвы, в различной степени насыщенности N (в граммах на сосуд)

Схема опыта	№ сосуда	Овес в 1929 г.						Горькая в 1930 г.						Ячмень в 1930 г.										
		Зерно		Солома		Егого		Осн. убож.		Общ. урож.		Осн. убож.		Общ. урож.		Осн. убож.		Общ. урож.						
		по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее	по со- судам	среднее					
Почва, обрабо- тавшая 1 раз 250 см <sup>2</sup> 0,05 N HCl	474	1,20	1,18	2,34	2,35	3,54	3,53	1,0	1,2	0,4	0,4	2,5	2,7	5,8	5,6	8,3	8,3	2,9	2,9	5,8	5,6	8,3	8,3	
	475	1,17	1,17	2,35	2,35	3,52	3,52	1,4	1,4	0,4	0,4	4,3	4,3	6,4	6,4	8,3	8,3	4,3	4,3	7,1	7,1	11,3	11,3	
	476	1,54	1,54	3,91	3,91	5,35	5,44	2,4	2,4	0,5	0,5	4,5	4,5	6,7	6,7	11,2	11,2	4,5	4,5	6,9	6,9	11,2	11,2	
	477	1,24	1,29	4,30	4,05	5,54	5,44	2,2	2,2	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, обрабо- тавшая 8 раз	478	1,20	1,20	2,02	2,02	4,01	4,48	1,3	1,3	0,3	0,3	2,6	2,7	5,3	5,8	7,5	7,5	2,6	2,6	5,3	5,8	7,5	7,5	
	479	1,80	1,89	3,55	3,45	4,35	4,35	1,5	1,5	0,3	0,3	4,7	4,7	6,3	6,3	12,3	12,3	2,0	2,0	6,3	6,3	12,3	12,3	
	480	2,10	2,10	4,22	4,22	6,32	6,32	3,0	3,0	0,5	0,5	5,2	5,0	7,7	7,7	13,0	13,0	5,2	5,2	7,7	7,7	13,0	13,0	
	481	—	—	—	—	—	—	2,9	2,9	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, обрабо- тавшая 16 раз	490	1,52	1,50	3,62	3,49	5,14	5,08	1,1	1,1	0,4	0,4	3,7	4,0	5,5	5,7	10,3	10,3	3,7	4,4	5,5	5,7	10,3	10,3	
	491	1,67	1,67	3,35	3,35	5,02	5,02	0,6	0,6	0,4	0,4	4,4	4,4	5,0	5,0	10,3	10,3	4,4	4,4	5,0	5,0	10,3	10,3	
	492	1,97	1,97	5,22	5,22	7,19	7,19	2,4	2,4	0,8	0,8	4,3	4,4	7,1	7,1	11,4	11,4	4,3	4,3	7,1	7,1	11,4	11,4	
	493	—	—	—	—	—	—	2,3	2,3	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Почва, обрабо- тавшая 40 раз	495	1,42	1,54	3,10	3,22	4,51	5,06	1,0	1,0	0,3	0,4	2,7	3,2	5,6	5,9	9,4	9,4	2,7	2,7	5,6	5,9	9,4	9,4	
	496	2,27	2,27	5,33	5,33	7,57	7,57	1,0	1,0	0,5	0,4	3,1	3,1	6,0	6,0	8,7	8,7	3,1	3,1	6,0	6,0	8,7	8,7	
	498	2,15	2,15	5,42	5,42	7,57	7,57	2,8	2,8	0,5	0,5	5,2	5,2	8,4	8,4	13,6	13,6	5,2	5,2	8,4	8,4	13,6	13,6	
	499	—	—	—	—	—	—	2,8	2,8	0,5	0,5	6,2	6,2	7,6	7,6	13,8	13,8	6,2	6,2	7,6	7,6	13,8	13,8	
Почва, непо- сред- ственно известкованная N	549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	499	Углекисл.	—	—	—	—	—	2,0	2,0	0,7	0,7	1,8	1,8	4,7	4,7	6,5	6,5	1,8	1,8	4,7	4,7	6,5	6,5	

$0,1 \text{ r N} = \text{KNO}_3 + 0,1 \text{ r P}_2\text{O}_5 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 + 0,05 \text{ r MgO} + \text{MgCl}_2$   
 $0,1 \text{ r N} = \text{KNO}_3 + 0,1 \text{ r P}_2\text{O}_5 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 + 0,05 \text{ r MgO} + \text{MgCl}_2$   
 $0,1 \text{ r N} = \text{KNO}_3 + 0,1 \text{ r P}_2\text{O}_5 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 + 0,05 \text{ r MgO} + \text{MgCl}_2$   
 $0,1 \text{ r N} = \text{KNO}_3 + 0,1 \text{ r P}_2\text{O}_5 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 + 0,05 \text{ r MgO} + \text{MgCl}_2$

нейших своих исследованиях К. К. Гедройц останавливается не на этом, а на первом способе получения почвы различной степени кислотности.

б) Опыт № 3 с обменным магнием

А. Вольская

Изучая проблему известкования с точки зрения почвенного поглощающего комплекса и состава обменных катионов в нем, К. К. Гедройц одновременно с вышеуказанными опытами по известкованию исследует значение для растений обменного магния в почве. В его опытах 1928—1929 гг., проведенных в Ленинграде и на Псковской опытной станции с различными катионами, полностью насыщающими всю емкость обмена почвы, имелись также сосуды и с магнием. Результаты, получившиеся у К. К. Гедройца с этим катионом, даны в таблице 3.

Как известно, К. К. Гедройц пришел к выводу, что растения способны питаться не только обменным, но в отличие от кальция и необменным магнием; но если вся емкость обмена почвы насыщена одним магнием, растения погибают, если им не давать известки, как это видно из таблицы 3.

Приведенные в последней графе цифры рН указывают на то, что причина этой гибели не в величине реакции почвы, насыщенной магнием.

Таблица 3

Урожай овса и горчицы в опыте 1929 г. в почвой, полностью насыщенной магнием

Схема опыта	Овес в 1929 г.	Горчица в 1931 г.	рН <sup>1</sup> перед уборкой гор- чицы
	Общий Урожай в т/гект		
Первоначальный тульский чернозем по НРК . . . .	2,66	0,21	6,46
То же + 10 г СаСО <sub>3</sub> . . . .	2,05	1,66	8,13
Тульский чернозем, полно- стью насыщенный Mg на фоне НРК . . . . .	0	0	5,54
То же + 10 г СаСО <sub>3</sub> . . . .	1,56	3,68	8,40
Первоначальный каменно- степной чернозем по НРК	5,95	0,54	6,60
То же + 10 г СаСО <sub>3</sub> . . . .	5,60	1,03	7,86
Каменностепной чернозем, насыщенный Mg на фоне НРК . . . . .	0,33	0	6,40
То же + 10 г СаСО <sub>3</sub> . . . .	2,43	0,66	8,13

Для дальнейшего изучения роли обменного магния и влияния катиона кальция на ядовитое действие магния К. К. Гедройц ставит в 1931 г. новый опыт с почвой, полностью насыщенной магнием.

<sup>1</sup> рН определялся электрометрическим методом с каломельным электродом в водной суспензии 1:1.

Для опыта берутся две почвы: 1) первоначальный каменнотенной чернозем с емкостью обмена около 60 мг-экв. и 2) чернозем, полностью насыщенный магнием путем промывания первоначального чернозема раствором  $MgCl_2$ . Навеска почвы 500 г на сосуд (460 г сухой).

Во все сосуды вносилось полное удобрение: по 0,1 г  $P_2O_5$  в виде  $KH_2PO_4$  и 0,1 г N; при этом азот вносился в двух формах — или в виде  $NaNO_3$  или в виде  $Ca(NO_3)_2$ ; последний являлся также и источником Ca как питательного вещества.

В часть сосудов как на одной, так и на другой почве давалось по 15 г  $CaCO_3$  (эквивалентно емкости обмена). Опыт проводился с двумя растениями — овсом и горчицей. С горчицей ставились еще дополнительно два сосуда: один с 5 г  $CaCO_3$ , а другой также с 5 г  $CaCO_3$ , но с увеличенной дозой  $P_2O_5$  — 0,5 г на сосуд.

Посев овса и горчицы был произведен 15 июля; уборка растений в стадии созревания: овса — 21 ноября, горчицы — 25 октября. Во время роста горчицы было внесено добавочно по 0,1 г  $P_2O_5$  в виде  $KH_2PO_4$ , во все сосуды кроме тех, где горчица погибла.

Схема этого опыта и урожайные данные приводятся в таблице 4.

Опыт с овсом дал иные результаты, чем те, которые были получены раньше с почвой, полностью насыщенной магнием.

В то время как тогда овес погибал на почве, вся емкость обмена которой была насыщена магнием, здесь он дает и без  $CaCO_3$  почти нормальный урожай. В своих пояснениях по поводу этого опыта К. К. Гедройц указывал, что в этой почве повидимому осталась какая-то часть обменного кальция, очевидно достаточная для развития овса.

В отношении горчицы результаты излагаемого опыта вполне совпадают с прежними результатами по действию обменного магния. В обоих случаях горчица совершенно не растет на почве, емкость обмена которой насыщена магнием. Внесение кальция как питательного вещества в виде  $Ca(NO_3)_2$  не уничтожает однако губительного действия почвы, полностью насыщенной магнием. При внесении же 15 г  $CaCO_3$ , т. е. эквивалентно емкости обмена почвы, горчица развивается вполне нормально и дает урожай как соломы, так и зерна.

Таким образом этим опытом К. К. Гедройц устанавливает, что на почве, насыщенной магнием, горчица не может расти не только потому, что ей нехватает кальция как питательного вещества, но очевидно и потому, что в данном случае в почвенном растворе имеется слишком большое преобладание магния над кальцием.

Давши такое объяснение полученным результатам этого опыта, К. К. Гедройц проверяет его еще в том же году и уже в конце августа перебивает четыре сосуда из-под горчицы с почвой, насыщенной магнием, в которых последняя погибла. В сосуд № 206 вносится снова 15 г  $CaCO_3$ , в № 207—100 г  $CaCO_3$ , в № 209—магнезит и в № 211—доломит в количествах, эквивалентных 15 г  $CaCO_3$  (по  $CO_2$ ). Однако, несмотря на неоднократные пере-seвы горчицы, добиться ее развития (возможно вследствие позднего посева) не удалось. Единичные всходы горчицы появлялись только в сосудах с 15 и 100 г  $CaCO_3$  и скоро погибали. Весь опыт был оставлен на следующий год.

В 1932 г. все сосуды опыта были перебиты с внесением новой порции питательных растворов в количестве 0,2 г N в  $NaNO_3$  и 0,2 г  $P_2O_5$  в  $KH_2PO_4$  (в сосуды № 206, 207, 209 и 211 было дано по 0,1 г

Урожай овса и горчицы в опыте 1931 г. с пивной, полностью насыщенной магнем  
(в граммах на сосуд)

Основное удобрение: 0,1 г  $P_2O_5$  и  $KH_2PO_4$  и 0,1 г N в разных формах

Схема опыта	Первоначальный казеиновый феррозин						Черезовин, насыщенный магнием						
	Серно		Съёмка		Всего		№ сосудов	Серно		Съёмка		Всего	
	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
О в с е													
KPN-N в $NaNO_3$ . . . . .	{ 189 181	{ 3,1 3,1	{ 10,5 9,5	{ 10,2	{ 13,6 13,0	{ 13,3	188 189	{ 3,1 2,0	{ 7,2 8,6	{ 7,0	{ 10,3 10,7	{ 10,3 10,5	{ 10,3 10,5
KPN-N в $NaNO_3$ +15 г $CaCO_3$ . . . . .	{ 182 183	{ 5,2 5,5	{ 9,3 9,0	{ 9,2	{ 14,5 14,6	{ 14,5	189 191	{ 3,4 4,4	{ 11,4 10,3	{ 10,8	{ 14,8 14,6	{ 14,8 14,6	{ 14,8 14,7
KPN-N в $Ca(NO_3)_2$ . . . . .	{ 184 185	{ 5,1 5,2	{ 11,3 9,5	{ 10,4	{ 16,4 14,7	{ 15,6	192 193	{ 4,0 2,7	{ 8,8 9,0	{ 8,9	{ 10,7 11,7	{ 10,7 11,7	{ 11,3 11,3
KPN-N в $Ca(NO_3)_2$ +15 г $CaCO_3$ . . . . .	{ 186 187	{ 3,1 3,9	{ 11,5 10,8	{ 11,1	{ 14,0 14,7	{ 14,5	194 195	{ 2,7 4,0	{ 10,0 9,5	{ 9,7	{ 12,7 13,5	{ 12,7 13,5	{ 13,1 13,1
Г о р ч и ц а													
KPN-N в $NaNO_3$ . . . . .	{ 196 197	{ 1,3 1,2	{ 4,5 4,7	{ 4,6	{ 5,7 5,9	{ 5,8	206 207	{ 0 0	{ 0 0	{ 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0
KPN-N в $NaNO_3$ +15 г $CaCO_3$ . . . . .	{ 198 199	{ 1,6 1,6	{ 5,7 5,5	{ 5,8	{ 7,4 7,4	{ 7,4	208 210	{ 1,0 1,0	{ 6,3 7,1	{ 6,7	{ 7,9 8,7	{ 7,9 8,7	{ 6,3 6,3
KPN-N в $Ca(NO_3)_2$ . . . . .	{ 200 201	{ 0,9 1,3	{ 3,8 4,7	{ 4,3	{ 4,7 6,0	{ 5,3	209 211	{ 0 0	{ 0 0	{ 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0
KPN-N в $Ca(NO_3)_2$ +15 г $CaCO_3$ . . . . .	{ 202 203	{ 1,7 1,8	{ 5,3 5,8	{ 5,5	{ 7,0 7,6	{ 7,3	212 213	{ 1,7 1,9	{ 6,5 6,3	{ 6,4	{ 8,2 8,3	{ 8,2 8,3	{ 8,2 8,3
KPN-N в $NaNO_3$ +5 г $CaCO_3$ . . . . .	204	1,5	5,1	5,1	6,8	6,6	214	1,7	7,3	7,3	9,0	9,0	9,0
То же, но $P_2O_5$ -0,5 г . . . . .	205	1,6	5,7	5,7	7,4	7,4	215	1,1	5,5	5,5	6,6	6,6	6,6

N и  $P_2O_5$ ); при этом  $NaNO_3$  вносился как в те сосуды, в которые он был внесен в прошлом году, так и в те, в которые раньше был внесен  $Ca(NO_3)_2$ . Растения те же — овес по овсу и горчица по горчице. Результаты этого опыта в 1932 г. представлены в таблице 5.

Оба растения на второй год опыта развивались вообще по всем сосудам хуже, чем в первый год; кроме того по овсу получились сильные расхождения в некоторых парных сосудах (возможно вследствие ошибки при перебивке). Однако общий результат опыта для овса сохранился тот же. Так же как и в первый год опыта, овес развивается нормально и без внесения  $CaCO_3$  на этом образце почвы, насыщенной магнием. Но внесение  $CaCO_3$  значительно вместе с тем повышало урожай зерна, в гораздо большей степени, чем в первый год опыта.

Для горчицы наибольший интерес в учете этого опыта за 1932 г. представляют сосуды № 206, 207, 209 и 211 с  $CaCO_3$ , доломитом и магнезитом на почве, полностью насыщенной магнием. В предыдущем году до внесения этих удобрений горчица в этих сосудах погибала, не развивши даже первой пары листьев. В 1932 г. результаты опыта показывают, что на почве, полностью насыщенной магнием, при внесении  $CaCO_3$  горчица не только получает возможность развиваться, но и выносит колоссальные количества извести в 100 г на сосуд или 400-мг-экв. при емкости обмена почвы в 60 мг-экв. (на 100 г почвы). 100 г  $CaCO_3$  даже несколько увеличивают урожай горчицы против 15 г  $CaCO_3$ .

По доломиту, внесенному в количестве, эквивалентном 15 г  $CaCO_3$  (т. е. эквивалентно емкости обмена), горчица также дает урожай и соломы и зерна. Правда, этот урожай принадлежит только одному растению, сохранившемуся в единственном числе, по пышно развившемуся. По магнезиту, т. е. природному углекислому магнию, горчица, как и следовало ожидать, погибла; она не дала даже всходов, которые все-таки появлялись в этом сосуде до внесения магнезита (в 1-й год опыта).

Эти результаты подтверждали прежний вывод, что на почве, полностью насыщенной магнием, растения не могут развиваться вследствие отсутствия кальция, но не только как источника питания, а и по другим причинам. Подводя итоги первым, предварительным опытам К. К. Гедройца по вопросам известкования и значения в связи с ним обменного магния, можно отметить следующие основные выводы, полученные К. К. Гедройцем из этих опытов:

1. На почве, вся емкость обмена которой насыщена водородом, растения не могут развиваться.

2. При внесении извести в такую почву в постепенно увеличивающихся количествах растения получают способность развиваться; при этом к различным степеням нейтрализации разные растения относятся по-разному.

3. При избыточном сверх емкости обмена<sup>1</sup> известковании поч-

<sup>1</sup> Под емкостью обмена чернозема, полностью насыщенного Н., понимается здесь, как и во всем дальнейшем изложении опытов К. К. Гедройца, та величина емкости обмена, которая определяется суммой поглощенного Са и Mg в исходном каменно-степном черноземе.

Урожай овса и горчицы в 1932 г. в опыте с полей, полностью насыщенными магнием (последствие)  
(в граммах на сосуд)

Постороннее основное удобрение: 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3$  и 0,2 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Схема опыта	Первоначальный насыщенный чернозем						Чернозем, насыщенный магнием						
	Зерно		Сезона		Итого		№ сосудов	Зерно		Сезона		Итого	
	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
О в с	{ 180 181 182 183 184 185 186 187	{ 2,1 0,5 0,9 0,8 2,5 0,8 0,4 4,1	{ 5,1 1,5 2,1 1,5 3,0 2,3 1,3 5,5	{ — — — — — — — —	{ 5,2 2,4 8,1 2,5 6,1 2,8 1,8 9,9	{ — — — — — — — —	{ 188 189 190 191 192 193 194 195	{ 0,2 1,5 3,7 4,5 1,7 3,3 4,1 4,5	{ 1,8 — — — — — — —	{ 6,2 5,5 5,2 5,2 4,5 7,3 4,9 6,1	{ 5,8 — — — — — — —	{ 8,4 7,0 8,9 10,3 6,2 10,6 9,0 11,0	{ 7,7 — 9,6 — — — — —
Г о р ч и ц а	{ 196 197 198 199 200 201	{ 1,0 0,2 0 0 0,1 0,1	{ 6,5 4,0 4,0 3,5 4,5 5,7	{ 0,6 — — — 0,1 —	{ 7,8 4,3 4,0 3,5 4,6 5,5	{ 6,0 — — — — —	{ 208 207 208 210 209 211	{ 0,1 — — — — —	{ 0,1 — — — — —	{ 4,5 6,5 5,5 6,5 6,2 6,1	{ 5,5 — — — — —	{ 4,5 6,7 6,7 6,7 6,5 6,5	{ 5,0 — — — — —
К р о ш е н а	{ 202 203 204 205	{ 2,1 0,9 0 0	{ 2,1 5,4 2,6 3,0	{ — — — —	{ 4,2 (4,2) 2,6 3,0	{ — — — —	{ 212 213 214 215	{ 0,5 0,1 0,1 0	{ 0,3 — — —	{ 7,0 6,1 5,6 3,7	{ 6,5 — — —	{ 7,5 6,2 5,7 3,7	{ 6,8 — — —
К р о ш е н а	{ 206 207 208 209 210 211	{ 2,3 3,2 0 3,2 — —	{ 6,3 7,5 0 6,0 — —	{ — — — — — —	{ 2,3 3,2 0 3,2 — —	{ — — — — — —	{ 206 207 208 209 210 211	{ 2,3 3,2 0 3,2 — —	{ 6,3 7,5 0 6,0 — —	{ — — — — — —	{ 6,3 7,5 0 6,0 — —	{ 9,1 10,7 0 8,2 — —	{ — — — — — —

вы, полностью насыщенного водородом, некоторые растения обнаруживают резкое угнетение в своем развитии.

4. На почве, вся емкость обмена которой насыщена магнием, растения не могут развиваться, даже если им дается кальция как питательное вещество.

5. Гибель растений на почве, насыщенного магнием, обуславливается по видимому не только тем, что им не хватает кальция как питательного вещества.

6. Внесение  $\text{CaCO}_3$  в количестве, эквивалентном емкости обмена почвы, создает условия, при которых растения получают возможность давать нормальный урожай на почве, полностью насыщенного магнием.

**в) Опыт № 4, 5 и 6. Известкование почвы, полностью насыщенного водородом (основной опыт 1931—1932 гг.)**

*С. Г. Шедеров*

Для изучения явления отрицательного действия избыточных доз извести К. К. Гедройц поставил в 1931 г. большой опыт с известкованием почвы, насыщенного водородом.

Почва—чернозем каменисто-степной опытной станции; емкость поглощения — 55 мг-экв. на 100 г почвы. Опыт поставлен с пятью растениями: овсом, горчицей, гречихой, льном и клевером. Известь в форме  $\text{CaCO}_3$  вносились под все растения в возрастающих количествах от 10 до 100 мг-экв. на 100 г воздушносухой почвы.

Таким образом под каждым растением имелся ряд сосудов со следующим содержанием  $\text{CaCO}_3$  на 100 г почвы: 0; 10; 20; 40; 45; 47,5; 50; 52,5; 55; 57,5; 60; 65; 70; 80 и 100 мг-экв. Кроме того под каждое растение поставлено по 4 сосуда с доломитом, из них по 2 сосуда с 40 мг-экв. и по 2 сосуда с 80 мг-экв. Отношение валового кальция к магнию в доломите равно 1 : 1. Известь и доломит перед внесением для лучшего размешивания с почвой растирались с навеской песка в 40 г. В сосуды вносилось по 500 г воздушносухой почвы (460 г сухой).

Опыт проведен на фоне NPK Mg, которые вносились в следующих формах и количествах: 0,1 г N в форме  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 MgO в  $\text{MgSO}_4$ .

Для контроля влияния на почву промывания ее при насыщении N-ионом под каждое растение поставлены по два сосуда с первоначальным черноземом, но промытым предварительно водой.

Повторность в опыте двукратная.

Одновременно с этим опытом по такой же, но несколько сокращенной схеме и с двумя только растениями — овсом и горчицей — поставлено еще два опыта: один опыт с тем же черноземом, но не подвергавшимся никаким изменениям, под названием «Известкование первоначального чернозема».

Опыт поставлен в таких же сосудах и с тем же количеством почвы, что и в предыдущем опыте. Питательные растворы по 0,1 г удобрительного вещества на сосуд даны в формах: N — в  $\text{NaNO}_3$ , K и  $\text{P}_2\text{O}_5$  — в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; магния не вносилось.

Второй опыт под названием «Известкование песчаных культур» поставлен на промытом песке. Песка вносилось по 1 кг в сосуд; известь вносились в тех же количествах, как и в опытах с почвой; питательные

растворы даны в половинных количествах, а именно: 0,05 г N в  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0,05 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и 0,025 г  $\text{MgO}$  в  $\text{MgSO}_4$ .

Наполнение сосудов по всем трем опытам произведено в мае, но за отсутствием в то время вегетационного домика посев произведен только в начале июля. Таким образом сосуды с внесенным в них  $\text{CaCO}_3$  «паровали» около месяца. Посев клевера произведен 8 июля, остальные растения (овес, гречиха, лен и горчица) посеяны 9 июля.

Всходы клевера и горчицы в опыте с почвой, насыщенной Н-ионом, появились 10 июля, овес и гречиха взошли 11 июля, лен 12 июля, причем лен не дал вовсе всходов в сосудах без известки и с 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , всходы же остальных растений в соответствующих сосудах были сильно угнетены. По 20 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  лен дал слабые всходы; подавлены были по такому же количеству известки и всходы горчицы при почти нормальном развитии всходов клевера, гречихи и овса в соответствующих сосудах. Дальнейшее увеличение дозировок  $\text{CaCO}_3$  до 52,5 мг-экв. дает улучшение в развитии всех растений; следующее увеличение количества известки дало снижение, особенно резкое для горчицы и льна, всходы которых по 57,5 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и выше погибли. Всходы клевера за исключением одиночных экземпляров погибли по 70 мг-экв.; всходы гречихи хотя и сохранились во всех сосудах с большими количествами известки, но развитие этого растения прогрессивно ухудшалось с увеличением доз  $\text{CaCO}_3$ . Овес вовсе не реагировал на большие количества известки. Неоднократные пересевы и подсадки в сосудах, где не появлялись или погибали всходы, не дали положительных результатов. По доломиту в 80 мг-экв. все растения развивались совершенно нормально.

Известкование чернозема, насыщенного водородом, резко сказалось и на продолжительности периода вегетации растений. Так созревание горчицы и льна по разным количествам известки растянулось на целый месяц; период созревания овса прошел в 13 дней, гречиха заняла промежуточное положение. Нормально во времени наступало созревание растений по оптимальным дозам известки, по мере же увеличения или уменьшения количества  $\text{CaCO}_3$  созревание растений запаздывало, вследствие чего уборка горчицы, начатая 22 сентября, закончена только 22 октября, уборка льна проходила с 23 октября по 19 ноября, уборка гречихи — с 22 сентября по 7 октября, овес убран с 18 октября по 1 ноября.

Клевер вследствие появления на нем мучнистой росы убран до цветения 20 октября.

В опыте с первоначальным черноземом овес и горчица развивались вполне нормально и по большим количествам известки.

Известкование первоначального чернозема почти не сказалось на длительности вегетации как овса, так и горчицы.

В опыте с известкованием песка также не проявилось вредного действия больших количеств известки. Но вследствие плохого развития растений во всем опыте уборка произведена до созревания 9 августа.

Урожайные данные опыта с черноземом, насыщенном водородом, сведены в таблицах 6—10, урожай по первоначальному чернозему даны в таблицах 11 и 12 и по песку — в таблицах 13 и 14.

Таблица 6

Урожай овса в 1931 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Внесено в гектара, на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
СаСО <sub>3</sub>	Доло- мита		Зерно		Солома		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Первоначальный чернозем								
0		{ 549	6,1	5,9	{ 10,1	10,0	{ 16,2	15,9
		{ 560	5,8		{ 9,9		{ 15,7	
Чернозем, пропашив водой								
0		{ 603	4,2	4,3	{ 7,2	7,4	{ 11,4	11,7
		{ 604	4,4		{ 7,5		{ 11,9	
Чернозем, насыщенный водородом								
0		{ 827	0	0	{ 0	0	{ 0	0
		{ 828	0		{ 0		{ 0	
10		{ 829	0,2	0,2	{ 1,5	1,3	{ 1,7	1,5
		{ 830	0,1		{ 1,1		{ 1,2	
20		{ 831	7,7	7,9	{ 8,8	9,2	{ 16,5	17,1
		{ 832	8,1		{ 9,5		{ 17,6	
40		{ 833	—	—	{ —	—	{ —	—
		{ 834	7,7		{ 12,4		{ 29,1	
0	10	{ 835	8,3	8,4	{ 13,2	12,5	{ 21,5	20,9
		{ 836	8,0		{ 11,8		{ 20,3	
45		{ 837	7,6	7,6	{ 13,3	13,4	{ 20,9	21,0
		{ 838	7,6		{ 13,5		{ 21,1	
47,5		{ 839	8,3	8,7	{ 12,5	12,3	{ 20,8	21,0
		{ 840	9,1		{ 12,2		{ 21,3	
50		{ 841	8,7	9,4	{ 13,1	12,9	{ 22,8	22,3
		{ 842	9,1		{ 12,9		{ 21,9	
52,5		{ 843	8,0	8,6	{ 13,9	12,8	{ 21,9	21,4
		{ 844	9,2		{ 11,8		{ 21,0	
55		{ 845	8,6	7,6	{ 12,2	13,1	{ 20,8	20,7
		{ 846	6,8		{ 13,9		{ 20,5	
57,5		{ 847	7,0	7,4	{ 13,3	13,7	{ 20,3	21,1
		{ 848	7,8		{ 14,1		{ 21,9	
60		{ 849	2,9	—	{ 19,5	16,2	{ 22,4	21,9
		{ 850	8,4		{ 13,0		{ 21,4	
65		{ 851	2,7	2,5	{ 23,0	21,8	{ 25,7	24,3
		{ 852	2,2		{ 20,7		{ 22,9	
70		{ 853	1,2	2,0	{ 19,7	21,7	{ 20,9	23,7
		{ 854	2,8		{ 23,7		{ 26,5	
80		{ 855	2,8	2,6	{ 24,0	23,7	{ 26,8	26,3
		{ 856	2,4		{ 23,4		{ 25,8	
0	80	{ 857	8,4	7,4	{ 16,4	15,5	{ 22,8	22,9
		{ 858	8,3		{ 14,7		{ 23,0	
100		{ 859	2,2	2,5	{ 21,4	23,4	{ 23,6	25,9
		{ 860	2,6		{ 25,4		{ 28,2	

Таблица 7

Урожай льна в 1931 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Внесено в кг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
СаСО <sub>3</sub>	Доло- мита		Зерно		Солома		Всего	
			по сосудам	в среднем	по сосудам	в среднем	по сосудам	в среднем
			Первоначальный чернозем					
0	0	{ 599 600	1,8 1,8	1,8	{ 11,4 11,1	11,2	{ 13,2 12,9	13,0
			Чернозем, промытый водой					
0	0	{ 609 610	1,7 1,3	1,5	{ 9,8 9,7	9,8	{ 11,5 11,0	11,3
			Чернозем, насыщенный водородом					
0	0	{ 895 896	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
10,0		{ 897 898	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
20,0		{ 899 900	0 0	—	{ 0,4 0,3	0,4	{ 0,4 0,3	0,4
40,0		{ 901 902	2,7 3,1	2,9	{ 11,5 12,2	11,8	{ 14,2 15,3	14,7
0	40,0	{ 903 904	3,1 3,3	3,2	{ 13,7 12,9	13,3	{ 16,8 16,2	16,5
45,0		{ 905 906	3,4 3,3	3,4	{ 13,7 13,5	13,6	{ 17,1 16,8	17,0
47,5		{ 907 908	3,6 3,6	3,6	{ 13,3 13,7	13,5	{ 16,9 17,3	17,1
50,0		{ 909 910	3,6 3,5	3,5	{ 13,9 13,3	13,6	{ 17,5 16,8	17,1
52,5		{ 911 912	2,9 3,0	3,0	{ 11,7 12,5	12,1	{ 14,6 15,5	15,1
55,0		{ 913 914	0,3 1,1	0,7	{ 6,6 11,1	8,8	{ 6,9 12,4	9,5
57,5		{ 915 916	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
60,0		{ 917 918	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
65,0		{ 919 920	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
70,0		{ 921 922	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
80,0		{ 923 924	0 0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	0
0	80,0	{ 925 926	2,4 1,7	2,0	{ 14,9 15,6	15,3	{ 17,3 17,3	17,3
100,0		{ 927 —	0 —	—	{ — —	—	{ 0 —	—

Таблица 8

Урожай горчицы в 1931 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

CaCO <sub>3</sub>	Доза- выта	№ со- судов	Урожай в г на сосуд				рН в суспензии <sup>1</sup>					
			Зерно		Солома		Всего		Перед посевом		После уборки	
			по сосудам	сред- нее	по сосудам	сред- нее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
<b>Первоначальный чернозем</b>												
0		{ 573 574	0,4 } 0,1 }	0,2	{ 4,1 3,5 }	3,8	{ 4,5 3,8 }	4,0	{ 6,57 6,07 }	6,62	{ 7,51 7,44 }	7,47
<b>Чернозем, промывтый водой</b>												
0		{ 605 606	0,2 } 0,4 }	0,3	{ 3,5 2,9 }	3,2	{ 3,7 3,3 }	3,5	{ 6,50 6,00 }	6,55	{ 7,75 7,75 }	7,75
<b>Чернозем, насыщенный водородом</b>												
0		{ 929 930	0 } 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 2,51 2,46 }	2,50	{ 2,94 2,84 }	2,89
10		{ 951 952	0 } 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 2,84 2,88 }	2,66	{ 3,36 7,75 <sup>2</sup> }	—
20		{ 933 934	0 } 0,1 }	—	{ 0,9 0,8 }	0,9	{ 0,9 0,9 }	0,9	{ 3,51 3,55 }	3,53	{ 4,02 3,84 }	3,93
40		{ 935 936	1,7 } 1,6 }	1,7	{ 5,6 5,7 }	5,6	{ 7,3 7,3 }	7,3	{ 4,88 4,98 }	4,93	{ 5,43 5,50 }	5,46
0	40	{ 937 938	0,9 } 0,8 }	0,8	{ 2,7 2,2 }	2,5	{ 3,5 3,0 }	3,3	{ 5,12 4,95 }	5,03	{ 5,68 5,75 }	5,71
45		{ 939 940	2,5 } 1,9 }	3,2	{ 7,7 7,1 }	7,4	{ 10,3 9,0 }	9,6	{ 5,28 5,35 }	5,31	{ 5,83 5,81 }	5,83
47,5		{ 941 942	2,0 } 2,2 }	2,1	{ 7,0 6,6 }	6,6	{ 8,0 8,6 }	8,0	{ 5,45 5,55 }	5,50	{ 6,06 6,10 }	6,08
50		{ 943 944	1,7 } 2,5 }	2,1	{ 9,0 9,2 }	9,1	{ 10,7 11,7 }	11,2	{ 5,78 5,81 }	5,80	{ 6,20 6,37 }	6,28
52,5		{ 945 946	1,3 } 2,1 }	1,7	{ 9,3 8,9 }	9,1	{ 10,6 11,0 }	10,8	{ 6,08 6,05 }	6,06	{ 6,47 6,54 }	6,50
55		{ 947 948	0,1 } 0 }	—	{ 9,1 7,8 }	8,5	{ 9,2 7,8 }	8,5	{ 6,37 6,40 }	6,38	{ 6,78 6,70 }	6,74
57,5		{ 949 950	0 } 0 }	0	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 6,64 6,74 }	6,60	{ 6,89 6,96 }	6,92
60		{ 951 952	0 } 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ — 0 }	—	{ 6,80 6,84 }	6,82	{ 7,20 7,34 }	7,27
65		{ 953 954	0 } 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 6,84 6,84 }	6,84	{ 7,58 7,37 }	7,47
70		{ 955 956	0 } 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ — 6,97 }	—	{ 7,54 7,66 }	7,60
80		{ 957 958	0 } 0 }	—	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	—	{ — 6,97 }	—	{ 7,54 7,57 }	7,56
	80	{ 959 960	0,4 } 0,1 }	0,2	{ 10,5 9,9 }	10,2	{ 10,9 10,0 }	10,4	{ — 6,34 }	—	{ 7,51 7,51 }	7,51
100		{ 961 962	0 } 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ — 7,04 }	—	{ 7,68 7,68 }	7,68

<sup>1</sup> Все определения рН принадлежат А. Н. Вольской.<sup>2</sup> В сосуд № 932 в середине лета доведено 70 мг-экв. CaCO<sub>3</sub> и 20 мг-экв. магния.

Таблица 9

Урожай гречихи в 1931 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Внесено в кг-овки, на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
CaCO <sub>2</sub>	Доло- миты		Зерно		Солома		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
			Первоначальный чернозем					
0		{ 597 598	5,0 4,5	4,7	7,6 8,5	8,1	12,6 13,0	12,8
			Чернозем, промытый водой					
0		{ 607 608	4,7 5,2	5,0	6,8 6,9	6,8	11,5 12,1	11,8
			Чернозем, насыщенный водородом					
0		{ 861 862	0 0	0	0 0	0	0 0	0
10		{ 863 864	5,1 0,7	—	4,8 4,5	—	9,9 2,2	—
20		{ 865 866	5,7 5,5	5,6	8,9 8,9	8,9	14,6 14,4	14,5
40		{ 867 868	6,3 6,8	6,6	8,7 10,0	9,4	15,0 16,8	15,9
0	40	{ 869 870	6,2 5,5	5,9	9,5 9,8	9,6	15,7 15,3	15,5
45		{ 871 872	6,8 6,2	6,5	9,6 11,7	10,6	16,4 17,9	17,1
47,5		{ 873 874	6,9 7,1	7,0	9,7 10,1	9,9	16,6 17,2	16,9
50		{ 875 876	7,3 6,4	6,9	10,8 9,5	10,1	18,1 15,9	17,0
52,5		{ 877 878	8,0 8,4	8,2	11,8 11,4	11,6	19,8 19,8	19,8
55		{ 879 880	6,4 7,9	7,2	10,9 11,6	11,2	17,3 19,5	18,4
57,5		{ 881 882	6,9 7,1	7,0	12,2 11,2	11,7	19,1 18,3	18,7
60		{ 883 884	5,8 6,3	6,0	11,6 11,1	11,4	17,4 17,4	17,4
65		{ 885 886	4,1 4,7	4,4	10,0 8,7	9,3	14,1 13,4	13,7
70		{ 887 888	4,2 4,4	4,3	9,6 8,8	9,2	13,8 13,2	13,5
80		{ 889 890	— 0,9	—	— 8,7	—	— 9,6	—
0	80	{ 891 892	7,8 8,1	7,9	11,9 11,9	11,9	19,7 20,0	19,8
100		893	—	0	2,7	—	2,7	—

Таблица 10

Урожай клевера в 1981 г. в опыте «Навосткование чернозема, насыщенного водородом»

Внесено в кг-овк. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд воздушносухой массы	
CaCO <sub>3</sub>	Доломита		по сосудам	среднее
Первоначальный чернозем				
0		{ 601	5,6	5,9
		{ 602	6,2	
Чернозем, промытый водой				
0		{ 611	5,7	5,6
		{ 612	5,4	
Чернозем, насыщенный водородом				
0		{ 963	0	0
		{ 964	0	
10		{ 965	0	0
		{ 966	0	
20		{ 967	2,9	2,7
		{ 968	2,5	
40		{ 969	8,2	8,6
		{ 970	8,9	
—	40	{ 971	8,3	8,4
		{ 972	8,6	
45		{ 973	8,7	9,1
		{ 974	9,4	
47,5		{ 975	8,6	9,5
		{ 976	10,3	
50		{ 977	9,3	9,8
		{ 978	10,2	
52,5		{ 979	9,0	9,4
		{ 980	9,8	
55		{ 981	8,5	8,3
		{ 982	8,1	
57,5		{ 983	7,0	7,2
		{ 984	7,4	
60		{ 985	5,3	5,3
		{ 986	5,4	
65		{ 987	1,0	(2,3)
		{ 988	3,6	
70		{ 989	1,8	—
		{ 990	0	
80		{ 991	0	0
		{ 992	0	
0	80	{ 993	9,8	9,6
		{ 994	9,4	
100		893	1,1	1,1

## Урожай овса в опыте 1931 г. «Известкование первоначального (естественного) чернозема»

Евсено СаСО <sub>2</sub> в-т-ка, на 100 г почвы	№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
		Зерно		Солома		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
0	{ 549 550	{ 6,1 5,8 }	5,9	{ 10,1 9,9 }	10,0	{ 16,2 15,7 }	15,9
2,5	{ 551 552	{ 5,6 6,3 }	5,9	{ 9,1 8,7 }	8,9	{ 14,7 15,0 }	14,8
5,0	{ 553 554	{ 5,9 6,3 }	6,1	{ 9,7 9,2 }	9,4	{ 15,6 15,5 }	15,5
10,0	{ 555 556	{ 6,1 5,2 }	5,6	{ 10,3 11,3 }	10,8	{ 16,4 16,5 }	16,4
20,0	{ 557 558	{ 5,8 5,6 }	5,7	{ 11,2 11,4 }	11,3	{ 17,0 17,0 }	17,0
30,0	{ 559 560	{ 6,0 6,3 }	6,2	{ 8,7 10,3 }	9,5	{ 14,7 16,6 }	15,7
40,0	{ 561 562	{ 6,8 6,5 }	6,7	{ 10,0 10,1 }	10,0	{ 16,8 16,6 }	16,7
50,0	{ 563 564	{ 6,5 6,4 }	6,5	{ 11,4 8,6 }	10,0	{ 17,9 15,0 }	16,5
60,0	{ 565 566	{ 6,3 6,5 }	6,4	{ 11,0 9,8 }	10,4	{ 17,3 16,3 }	16,8
70,0	{ 567 568	{ 6,6 7,2 }	6,9	{ 9,8 9,4 }	9,6	{ 16,4 16,6 }	16,5
80,0	{ 569 570	{ 5,9 6,8 }	6,3	{ 12,2 10,2 }	11,2	{ 18,1 17,0 }	17,5
100,0	{ 571 572	{ 3,6 5,3 }	4,4	{ 11,8 11,9 }	11,8	{ 15,4 17,2 }	16,3

Таблица 12

Урожай горчицы в опыте 1931 г. «Известкование первоначального (естественного) чернозема»

Внесено СаСО <sub>3</sub> , в кг-экв. на 100 г почвы	№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
		Верно		Ожома		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
0	{ 573 574	{ 0,4 0,1 }	0,2	{ 4,1 3,5 }	3,8	{ 4,5 3,6 }	4,0
2,5	{ 575 576	{ 0,7 0,6 }	0,7	{ 4,7 4,7 }	4,7	{ 5,4 5,3 }	5,4
5,0	{ 577 578	{ 0,4 0,4 }	0,4	{ 4,3 3,7 }	4,0	{ 4,7 4,1 }	4,4
10,0	{ 579 580	{ 0,6 0,8 }	0,7	{ 4,9 5,2 }	5,0	{ 5,5 6,0 }	5,7
20,0	{ 581 582	{ 0,9 1,0 }	1,0	{ 5,5 5,2 }	5,3	{ 6,4 6,2 }	6,3
30,0	{ 583 584	{ 1,0 1,3 }	1,2	{ 5,6 5,3 }	5,4	{ 6,6 6,6 }	6,6
40,0	{ 585 586	{ 0,9 0,6 }	0,7	{ 5,3 4,8 }	5,1	{ 6,2 5,4 }	5,8
50,0	{ 587 588	{ 1,0 0,8 }	0,9	{ 4,6 4,7 }	4,6	{ 5,6 5,5 }	5,5
60,0	{ 589 590	{ 1,1 0,8 }	0,9	{ 5,6 4,7 }	5,2	{ 6,7 5,5 }	6,1
70,0	{ 591 592	{ 0,7 1,1 }	0,9	{ 4,6 5,3 }	4,9	{ 5,3 6,4 }	5,8
80,0	{ 593 594	{ 1,0 0,8 }	0,9	{ 5,3 4,9 }	5,1	{ 6,3 5,7 }	6,0
100,0	{ 595 596	{ 1,2 0,9 }	1,1	{ 5,0 4,1 }	4,5	{ 6,2 5,0 }	5,6

Урожай овса в опыте 1931 г. «Известкование песчаных культур»

Внесено СаСО <sub>3</sub> , в кг-д.к. на 100 г почвы	№ осудов	Урожай в г на осуд		Внесено СаСО <sub>3</sub> , в кг-д.к. на 100 г почвы	№ осудов	Урожай в г на осуд	
		В о в о				В с о в о	
		по осудам	среднее			по осудам	среднее
0	{ 501	2,0	2,1	40,0	{ 513	1,6	4,8
	{ 502	2,2				1,9	
2,5	{ 503	2,1	2,1	50,0	{ 515	2,3	2,5
	{ 504	2,0				2,6	
5,0	{ 505	1,9	1,9	60,0	{ 517	2,1	2,1
	{ 506	1,9				2,1	
40,0	{ 507	2,0	2,0	70,0	{ 519	2,2	2,1
	{ 508	1,9				1,9	
20,0	{ 509	2,3	2,3	80,0	{ 521	1,8	1,9
	{ 510	2,3				2,1	
30,0	{ 511	2,0	2,0	100,0	{ 523	1,5	1,8
	{ 512	1,9				2,1	

Урожай горчицы в опыте 1931 г. «Известкование песчаных культур»

Внесено CaCO <sub>3</sub> в мг-экв. на 100 г почвы	№ сосудов	Урожай в г на сосуд		рН в суспензии <sup>1</sup>			
		В с е г о		Перед посевом		После уборки урожа	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
0	{ 525	1,8	1,5	7,07	6,88	7,00	7,05
	{ 526	1,3		6,70		7,10	
2,5	{ 527	1,2	1,2	7,10	6,87	7,54	7,78
	{ 528	1,2		6,64		8,02	
5,0	{ 529	1,1	1,1	6,87	7,13	7,86	8,02
	{ 530	1,1		7,40		8,19	
10,0	{ 531	1,3	1,2	7,04	7,09	—	—
	{ 532	1,0		7,14		8,26	
20,0	{ 533	1,6	1,2	7,30	7,22	8,25	8,32
	{ 534	0,8		7,14		8,40	
30,0	{ 535	1,2	1,1	7,40	7,43	8,12	8,21
	{ 536	1,0		7,47		8,30	
40,0	{ 537	1,4	1,2	7,50	7,50	8,45	8,32
	{ 538	1,0		7,50		8,19	
50,0	{ 539	1,1	1,1	7,67	7,70	8,32	8,25
	{ 540	1,0		7,73		8,19	
60,0	{ 541	1,0	0,9	7,87	7,93	—	—
	{ 542	0,8		8,00		8,26	
70,0	{ 543	1,0	1,1	7,87	7,97	8,35	8,35
	{ 544	1,3		8,07		8,36	
80,0	{ 545	1,3	1,2	8,04	8,02	8,45	8,47
	{ 546	1,2		8,00		8,50	
100,0	{ 547	1,1	1,1	7,84	7,90	8,56	8,53
	{ 548	1,0		7,97		8,50	

<sup>1</sup> Определение рН принадлежит А. Н. Вольской.

В опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом» на одно растение в сосудах без извести не дало урожая. Лен и горчица не дали урожая и по 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ ; по 20 мг-экв. урожай этих растений ничтожный; по 40 же мг-экв. извести они дали урожай более высокие, чем по первоначальному чернозему, несмотря на довольно еще низкий рН — 4,93 перед посевом и 5,46 после уборки.

Дальнейшее увеличение дозы извести до 50 мг-экв. дает небольшое прибавление урожая. По этому количеству  $\text{CaCO}_3$  получен наивысший в этом опыте урожай как льна, так и горчицы, дальнейшее увеличение извести дало небольшое понижение урожая по 52,5 мг-экв., значительное — по 55 мг-экв. и полное отсутствие растений по последующим дозам.

Урожай клевера стоит в такой же зависимости от количества вносимой извести, как и урожай льна и горчицы, но клевер продвинулся несколько дальше в сторону увеличения количества извести, дав урожай по 57,5 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и в одном сосуде по 60 мг-экв.

Таким образом это растение оказалось менее чувствительным к избытку извести, чем лен и горчица. Овес и гречиха дали небольшие урожаи по 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  при полном отсутствии растений у льна, горчицы и клевера в соответствующих сосудах. Максимальный урожай гречихи получен по 57,5 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , соответствующие урожаи других растений получены по 55 мг-экв. Дальнейшее увеличение извести дает падение урожая гречихи, но не такое резкое, как у предыдущих растений, и даже по самым высоким дозам извести получен небольшой урожай гречихи. Овес — единственное из 5 опытных растений, которое не понизило общего урожая от больших количеств извести, но на зерне это понижающее действие избытка извести проявилось. Высокие урожаи всех растений получены по 80 мг-экв. доломита при полной гибели льна, горчицы и клевера и низком урожае гречихи по эквивалентным количествам  $\text{CaCO}_3$ . Безвредным оказалось внесение больших количеств извести на первоначальном черноземе. Также нет отрицательного действия избытка извести и на песке.

Приведенные при урожайных данных величины рН как перед посевом, так и после уборки растений показывают, что причина вредного действия больших количеств извести на почве, насыщенной водородом, не в подщелочении реакции почвы.

Анализируя этот опыт по ходу развития растений, когда не было еще урожайных данных, К. К. Гедройц дает следующее объяснение наблюдающемуся здесь действию извести<sup>1</sup>.

«Действие все повышающихся доз углекислого кальция на почве, полностью насыщенной водородом, представляется мне таким образом. Если такая почва будет вполне обеспечена питательными веществами (N, P, K), то в минимуме в ней будет реакция; все повышающиеся дозы  $\text{CaCO}_3$  будут сначала вызывать все повышающийся урожай всех растений; как мы раньше доказали, растения могут использовать из почвы тот магний, который находится там в обменном состоянии (или который, быть может, неполностью вытесняется и при полном удалении кальция — последние следы обменных катионов вытесняются с большим трудом, а следы по качественной реакции —

<sup>1</sup> «Почвенные обменные катионы и растения», «Удобрение и урожай», № 11—12 за 1931 г., а также см. стр. 56 данного сборника.

это килограммы на гектар); кальций же углекислого кальция с жадностью поглощается почвой; по мере насыщения почвы кальцием и повышения pH создаются, с одной стороны, все лучшие условия в отношении реакции, и, с другой стороны, все возрастает отношение кальция к магнию, доступных корням растений; при том или другом количестве внесенного  $\text{CaCO}_3$  для каждого данного растения создается уже неблагоприятное соотношение между этими элементами, так что наконец начинается превалирование над благоприятным действием  $\text{CaCO}_3$  как нейтрализатора; начинается понижение урожая; этот пункт должен быть различным для различных растений, поскольку различно их отношение к величине pH и величине соотношения кальция и магния; все восходящая сначала линия урожая достигает своего максимума; получаем интервал благоприятного действия углекислого кальция.

Дальше идет падение кривой, имеем интервал неблагоприятного действия  $\text{CaCO}_3$ , вызываемый неблагоприятным повышением отношения Ca к Mg.

С точки зрения выдвинутой К. К. Гедройцем теории находит себе объяснение различное действие больших количеств извести и доломита на почве, насыщенной водородом.

Для удобства сопоставления приведу сводную таблицу 15 средних урожаев всех растений по доломиту и по эквивалентным ему, а также по оптимальным количествам извести.

Таблица 15

	Л е н			Горчица			Клевер всего	Гречиха			О в е с			
	Зерно	Солома	Всего	Зерно	Солома	Всего		Зерно	Солома	Всего	Зерно	Солома	Всего	
Первоначальный чернозем . . . . .	1,8	11,2	13,0	—	3,8	4,0	5,9	4,7	8,1	12,8	5,9	10,0	15,9	
40 мг-экв. {	извести . . . . .	2,9	11,8	14,7	1,7	5,6	7,3	8,6	6,6	9,4	16,0	7,7	12,4	20,1
	доломита . . . . .	3,2	13,3	16,5	0,8	2,5	3,3	8,4	5,9	9,6	15,5	8,4	12,5	20,9
80 мг-экв. {	извести . . . . .	0	0	0	0	0	0	0,9	8,7	9,6	2,6	23,7	26,3	
	доломита . . . . .	2,0	15,3	17,3	—	10,2	10,4	9,6	7,9	11,9	19,8	7,4	15,5	22,9
50 мг-экв. извести . . . . .	3,5	13,6	17,1	2,1	9,1	11,2	9,8	9,2	11,6	19,8 <sup>1</sup>	9,4	12,9	22,3	

Из приведенных урожаев видно, что при 40 мг-экв., пока известь и доломит действуют главным образом как нейтрализаторы кислотности почвы, нет почти никакой разницы в урожаях растений за исключением горчицы, которая по доломиту дала пониженный урожай. Совсем иные результаты получены по 80 мг-экв. извести и доломита.

В этом случае «один углекислый кальций губит или понижает урожай, а сумма углекислого кальция и магния (в данном случае в равных количествах) не только совершенно прекращает гибель, но даже доводит урожай некоторых растений (в данном случае льна,

<sup>1</sup> Оптимальная доза извести для гречихи не 50, а 52,5 мг-экв. По ней и приведены урожай в этой графе.

клевера, гречихи и овса) до максимального», полученного по 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ <sup>1</sup>.

Это положительное действие доломита объясняется созданием в почве благоприятного соотношения между кальцием и магнием. рН в сосуде с 80 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и с эквивалентным количеством доломита, как перед посевом (6,87 по  $\text{CaCO}_3$  и 6,34 по доломиту), так и после уборки (соответственно — 7,36 и 7,51) были почти одинаковой величины, следовательно рН не имела значения в благоприятном действии доломита.

Интересно отметить влияние доломита на отношение зерна к соломе у льна и горчицы. Если 40 мг-экв. доломита повысили это отношение сравнительно с отношением на первоначальном черноземе, то 80 мг-экв. доломита понизили относительный урожай зерна у льна, и почти вовсе не получено урожая зерна у горчицы при большом урожае вегетативных органов; цветение горчицы по 80 мг-экв. доломита проходило вполне нормально; но не завязав плодов, цветы засохли и отпали.

Когда выяснилось, что в интервале вредного действия известки на лен, горчицу и клевер пересевы и подсадки этих растений не дали положительных результатов, была произведена перебивка по одному из сосудов, получивших при основной набивке по 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , и внесено дополнительно по 70 мг-экв; таким образом в сосудах всего содержалось по 80 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ . Зная, что такое количество известки на данной почве уже губит лен, горчицу и клевер, для нейтрализации этого вредного действия  $\text{CaCO}_3$  путем «исправления» соотношения между кальцием и магнием в каждый из этих сосудов внесено по 20 мг-экв. магния в форме аморфного магнезита. Результаты подтвердили сделанное К. К. Гедройцем предположение. Все три растения (лен, горчица и клевер) дали ровные всходы, растения развивались нормально, но вследствие позднего времени не были доведены до созревания, и, убранные в зеленом состоянии, они дали следующие урожаи сухой массы на сосуд: лен — 0,9 г, горчица — 7,2 г, клевер — 1,4 г. 17 июля перебит из-под горчицы сосуд с 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  (№ 961), внесен 1 г  $\text{MgSO}_4$  (4,8 мг-экв. магния) и произведен посев того же растения; появились всходы, но вскоре погибли. 30 июля произведен посев льна, горчицы и клевера в сосудах с 80 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и в параллельные сосуды (№ 923, 957 и 991) внесено по 0,2 г  $\text{MgO}$  в форме  $\text{MgSO}_4$  (2 мг-экв. магния). Всходы растений погибли во всех сосудах.

Разным также соотношением между кальцием и магнием объясняется неодинаковое действие на горчицу больших количеств известки на первоначальном (естественном) черноземе и на черноземе, насыщенном водородом. Внесение одинаковых количеств известки в том и другом случае дало следующие урожаи горчицы (в граммах на сосуд) (табл. 16).

Отсутствие вредного действия больших количеств известки на первоначальном черноземе объясняется содержанием в нем недостаточного количества обменного магния для поддержания благоприятного соотношения  $\text{Ca:Mg}$ . В насыщенном же водородом черноземе это отношение резко нарушено, в результате — полная гибель растения.

Опыт с известкованием чернозема, насыщенного водородом, был

<sup>1</sup> К. К. Гедройц, Почвенные обменные катионы и растения, «Удобрение и урожай» № 11—12, 1931 г., а также см. стр. 68 настоящего сборника.

П о ч в а	CaCO <sub>3</sub> , мг-экв. на 100 г почвы								
	1	10	20	40	50	60	70	80	100
Первоначальный чернозем . . . . .	4,0	5,7	6,3	5,9	5,5	6,1	5,8	6,0	5,6
Чернозем, насыщенный водородом	0	0	0,9	7,3	11,2	0	0	0	0

повторен в тех же сосудах в 1932 г. При перебивке сосудов весной 1932 г. даны питательные растворы по 0,2 г N в NaNO<sub>3</sub> и по 0,2 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> в те сосуды, которые в предыдущем году дали урожай, в сосуды же, в которых не было растений, растворы не вносились;

Посев тех же пяти растений произведен в следующие сроки: посев льна — 11 мая, посев горчицы и клевера — 15 мая, гречихи — 18 мая, овес — 17 мая.

16 мая появились всходы льна; 20 мая взошли клевер и горчица, овес взошел 21 мая, гречиха — 23 мая. Уход за растениями проведен такой же, как и в предыдущем году. Овес, гречиха, лен и горчица убраны в стадии полной спелости, клевер убран до цветения, урожайные данные сведены в таблицах 17—21.

Как видно из урожаев 1932 г., вредное действие больших количеств извести проявилось и на втором году, но действие это значительно понизилось по сравнению с первым годом. Для удобства сопоставления действия извести в первый и второй годы опыта привожу сводную таблицу 22 урожаев за эти два года по большим дозам извести.

Все растения за исключением клевера на второй год дали урожай ниже первого года. Сохранилась общая зависимость урожаев от количества внесенной извести. Но эта зависимость во второй год проявилась не так резко, как в первый год. Так горчица в первый год опыта вовсе не дала урожая по 57,5 мг-экв. CaCO<sub>3</sub>, во второй год в этих же сосудах получен максимальный урожай этого растения; по последующим количествам извести урожай горчицы постепенно падает; в первый же год опыта горчица не дала урожая с 55 мг-экв. CaCO<sub>3</sub> и до конца схемы. Лен во второй год опыта также продвинулся значительно дальше в сторону увеличения количества извести и дал небольшой урожай по 65 мг-экв., в первый год опыта растения погибли по 57,5 мг-экв. CaCO<sub>3</sub>. Клевер и гречиха как в первый, так и во второй год опыта дали почти одинаковое относительное понижение урожаев от избыточных количеств CaCO<sub>3</sub>. В сосудах с 80 мг-экв. CaCO<sub>3</sub> клевер дал значительный урожай в 5,8 г при очень низких (0,7 и 0,3 г) урожаях по 70 и по 100 мг-экв. Для одного из сосудов (№ 991) это повышение урожая может быть объяснено действием MgO, внесенного в этот сосуд в 1931 г. в количестве 1 мг. Причина же повышения урожая в другом сосуде не установлена.

Неодинаковыми оказались действие и последствие больших количеств извести и на урожаях овса. Так, если общий урожай как в первый, так и во второй год не падает от избытка извести, даже в первый год заметно некоторое повышение в конце схемы, то на урожай зерна,

Таблица 17

Урожай овса в 1932 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Дано кг-овк. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
СаСО <sub>3</sub>	Доломита		Зерно		Солома		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
			Первоначальный чернозем					
0	0	600	1,2	—	3,3	—	4,5	—
			Чернозем, промытый водой					
0	0	{ 603 604	0,8 1,4	1,1	2,6 2,8	2,7	3,4 4,2	3,8
			Чернозем, насыщенный водородом					
0		{ 827 828	0 0	—	0,2 0,2	0,2	0,2 0,2	0,2
10		{ 829 830	3,7 3,9	3,8	5,1 5,6	5,4	8,8 9,5	9,2
20		{ 831 832	7,3 6,8	7,0	8,4 8,5	8,5	15,7 15,3	15,5
40		{ 833 834	8,0 7,8	7,9	10,7 10,1	10,4	18,7 17,9	18,3
0	40	{ 835 836	7,9 7,7	7,8	10,3 10,1	10,2	18,2 17,8	18,0
45		{ 837 838	8,6 8,0	8,3	10,9 10,8	10,9	19,5 18,8	19,2
47,5		{ 839 840	8,3 8,8	8,5	11,1 11,1	11,1	19,4 19,9	19,6
50		{ 841 842	7,9 8,4	8,1	10,8 10,1	10,5	18,7 18,5	18,6
52,5		{ 843 844	8,4 8,7	8,6	11,4 10,4	10,9	19,8 19,1	19,5
55		{ 845 846	8,8 8,2	8,5	10,8 10,8	10,8	19,6 19,0	19,3
57,5		{ 847 848	8,6 7,2	7,9	10,4 11,7	11,0	19,0 18,9	18,9
60		{ 849 850	8,5 8,6	8,5	11,9 9,6	10,8	20,3 18,2	19,3
65		{ 851 852	7,8 7,9	7,9	11,1 10,5	10,8	18,9 18,4	18,7
70		{ 853 854	5,9 7,1	6,5	11,3 10,0	10,7	17,2 17,1	17,2
80		{ 855 856	6,5 7,3	6,9	12,6 11,4	12,0	19,1 18,7	18,9
0	80	{ 857 858	8,1 8,1	8,1	10,3 11,0	10,6	18,4 19,1	18,7
100		{ 859 860	4,6 4,8	4,7	13,5 13,6	13,6	18,1 18,4	18,3

Урожай льна в 1932 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Дано пр-ки, на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай льна на сосуд					
CaCO <sub>3</sub>	Допол- нительно		Зерно		Солома		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
			Первоначальный чернозем					
0	0	599	0,2	—	1,9	—	2,1	—
			Чернозем, промытый водой					
0	0	{ 609 610	0,2 0,4	0,3	1,2 1,9	1,5	1,4 2,3	—
			Чернозем, насыщенный водородом					
0	0	{ 895 896	0 0	0	0 0	0	0 0	0
10	0	{ 897 898	0 0	0	0 0,7	—	0 0,7	0
80	20 магн	{ 899 900	0 0	0	0,3 0	—	0,3 0	—
20		{ 901 902	0 0,3	0,2	3,4 7,0	—	3,4 7,3	5,4
40		{ 903 904	0,3 1,2	0,8	7,6 8,9	8,3	7,9 10,1	9,0
0	40	{ 905 906	1,7 0,7	1,2	8,2 8,6	8,4	9,9 9,3	9,6
45		{ 907 908	1,3 1,2	1,3	9,5 10,5	10,0	10,8 11,7	11,3
47,5		{ 909 910	1,1 1,1	1,1	9,1 10,1	9,6	10,2 11,2	10,7
50		{ 911 912	0,8 0,8	0,8	8,5 10,3	9,4	9,3 11,1	10,2
52,5		{ 913 914	0,0 0,1	—	7,7 10,0	8,9	7,7 10,1	8,9
55		{ 915 916	1,3 2,0	1,6	7,0 8,5	7,8	8,3 10,5	9,4
57,5		{ 917 918	0,2 0,7	0,5	7,6 7,8	7,7	7,8 8,5	8,2
60		{ 919 920	0 0	0	0,7 0,4	0,6	0,7 0,4	0,6
65		{ 921 922	0 0	0	— —	—	0 0	—
70		{ 923 924	0 0	—	0 0	—	0 0	—
80		{ 925 926	0 0	0	5,1 4,8	4,9	— 4,8	5,1 4,9
0	80	{ 925 926	0 0	0	5,1 4,8	4,9	— 4,8	5,1 4,9
100		927	0	—	0	—	0	—

Таблица 19

Урожай горчицы в 1932 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Дано		№ опытов	Урожай кг на соуд						
мг-вещ. на 100 г почвы			Зерно		Солома		Всего		
СаСО <sub>3</sub>	Доломита		по соудам	среднее	по соудам	среднее	по соудам	среднее	
			Первоначальный чернозем						
0	0	{ 598	0	0	1,6	1,9	1,6	1,9	
		605	0	0	2,2	—	2,2		
			Чернозем, промытый водой						
0	0	606	0	—	1,1	—	1,1	—	
			Чернозем, насыщенный водородом						
0	20 магн. зиг	{ 929	0	—	0	—	0	—	
		930	0	—	0	—	0	—	
10		931	0	—	0	—	0	—	
30		932	0	—	9,0	—	9,0	—	
20		{ 933	0	—	0	—	0	—	
		934	0	—	0,3	—	0,3	—	
40		{ 935	0,1	—	1,7	—	1,8	—	
		936	0,0	—	0,5	—	0,5	—	
0		40	{ 937	0,8	1,1	4,4	5,6	5,2	6,7
		{ 938	1,4	6,8		8,2			
45		{ 939	0,1	—	2,5	1,9	2,6	2,0	
		940	0	—	1,4		1,4		
47,5		{ 941	0,4	—	3,5	3,2	3,9	3,5	
		942	0,2	—	2,9		3,1		
50		{ 943	0,2	0,2	3,9	3,9	4,1	4,1	
		944	0,2		3,8		4,0		
52,5		{ 945	0,1	—	5,6	4,9	5,7	5,1	
		946	0,3	—	4,2		4,5		
55		{ 947	1,2	1,2	8,9	—	10,1	10,9	
		948	1,1		10,6		11,7		
57	{ 949	0	—	10,7	10,6	10,7	10,8		
	950	0,4	—	10,4		10,8			
60	{ 951	0	0	11,7	9,9	11,7	9,9		
	952	0		8,1		8,1			
65	{ 953	0	0	1,5	—	1,5	—		
	954	0		6,0		6,0			
70	{ 955	0	0	0,7	—	0,7	—		
	956	0		0		0			
80	{ 957	0	—	0	—	0	—		
	958	0		0		0			
0	80	{ 959	0	0	10,4	10,6	10,4		
	960	0	0			10,2		10,2	
100	{ 961	0	0	0	—	—	—		
	962	0		2,1		2,1			

Урожай гречихи в 1932 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Дано мл-ов. на 100 г почвы		№ доудок	Урожай в г на сосуд					
СаСО	Доло- мита		Зерне		Солома		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
			Первоначальный чернозем					
0	0	597	1,3	—	2,1	—	3,4	—
			Чернозем, промытый водой					
0	0	{ 607 608	1,6 } 1,5 }	1,6	2,5 } 2,1 }	2,3	4,1 } 3,6 }	3,9
			Чернозем, насыщенный водородом					
0		{ 861 862	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0
10		{ 863 864	0,6 } 0 }	—	2,1 } 0 }	—	2,7 } 0 }	—
20		{ 865 866	0 } 0,2 }	—	0,3 } 3,1 }	—	0,3 } 3,3 }	—
40		{ 867 868	3,0 } 4,7 }	3,8	5,8 } 6,6 }	6,2	8,8 } 11,3 }	—
—	40	{ 869 870	4,9 } 5,8 }	5,3	7,6 } 7,3 }	7,5	12,5 } 13,1 }	12,8
45		{ 871 872	5,0 } 0,7 }	—	7,4 } 3,3 }	—	12,4 } 4,0 }	—
47,5		{ 873 874	5,6 } 6,3 }	5,9	7,7 } 8,7 }	8,2	13,3 } 15,1 }	14,2
50		{ 875 776	5,3 } 6,0 }	5,6	7,1 } 9,2 }	—	12,4 } 15,2 }	13,8
52,5		{ 877 878	7,0 } 6,2 }	6,6	9,2 } 8,9 }	9,1	16,2 } 15,1 }	15,7
55		{ 879 880	6,1 } 6,7 }	6,4	9,7 } 9,8 }	9,8	15,8 } 16,5 }	16,2
57,5		{ 881 882	7,3 } 6,6 }	7,0	9,7 } 8,9 }	9,3	17,0 } 15,5 }	16,3
60		{ 883 884	6,7 } 6,2 }	6,4	9,2 } 9,4 }	9,3	15,9 } 15,6 }	15,7
65		{ 885 886	5,4 } 5,3 }	5,4	7,0 } 9,8 }	8,4	12,4 } 15,1 }	13,8
70		{ 887 888	3,4 } 5,3 }	4,3	6,7 } 9,2 }	8,0	10,1 } 14,5 }	12,3
80		{ 889 890	3,6 } 0,6 }	—	5,5 } 1,9 }	—	9,1 } 2,5 }	—
0	80	{ 891 892	4,8 } 6,4 }	5,6	9,3 } 9,7 }	9,5	14,1 } 16,1 }	15,1
100		893	2,0	—	5,2	—	7,2	—

Таблица 21

Урожай клевера в 1932 г. в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом»

Дано в мг-эка. на 100 г почвы		№ сосуда	Урожай в г на сосуд воздушносухой массой	
CaCO <sub>3</sub>	Доломита		по сосудам	среднее
		Первоначальный чернозем		
0	0	{ 601   1,3 }	1,3	
		{ 602   1,2 }		
		Чернозем, промытый водой		
0	0	{ 611   1,2 }	1,3	
		{ 612   1,4 }		
		Чернозем, насыщенный водородом		
0	0	{ 963   0 }	0	
		{ 964   0 }		
10		965	—	
80	20 магнезит	966	—	
20		{ 967   4,3 }	5,3	
		{ 968   6,3 }		
40		{ 969   9,6 }	10,1	
		{ 970   10,6 }		
	40	{ 971   10,5 }	10,7	
		{ 972   10,9 }		
45		{ 973   10,3 }	10,9	
		{ 974   11,4 }		
47,5		{ 975   11,2 }	11,2	
		{ 976   11,2 }		
50		{ 977   11,1 }	11,7	
		{ 978   12,2 }		
52,5		{ 979   12,4 }	12,0	
		{ 980   11,5 }		
55		{ 981   11,2 }	11,0	
		{ 982   10,8 }		
57		{ 983   10,6 }	10,9	
		{ 984   11,3 }		
60		{ 985   7,8 }	8,1	
		{ 986   8,5 }		
65		{ 987   0,7 }	1,3	
		{ 988   1,9 }		
70		{ 989   0,6 }	0,7	
		{ 990   0,7 }		
80		{ 991   5,5 }	5,8	
		{ 992   6,0 }		
0	80	{ 993   10,4 }	8,9	
		{ 994   7,4 }		
100		894	0,3	

Таблица 22

Дозы известки в мг-экв. на 100 г почвы	Урожай всей массы в г на сосуд									
	Горчица		Лен		Клевер		Гречиха		Овес	
	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.
50,0	11,2	4,1	17,1	10,7	9,8	11,7	17,0	13,8	22,3	18,6
52,5	10,8	5,1	15,1	10,2	9,4	12,0	19,8	15,7	21,4	19,5
55,0	8,5	10,9	9,5	8,9	8,3	11,0	18,4	16,2	20,7	19,3
57,5	0	10,8	0	9,4	7,2	10,9	18,7	16,3	21,1	18,9
60	0	9,9	0	8,2	5,3	8,1	17,4	15,7	21,9	19,3
65	0	—	0	0,6	2,3	1,3	13,7	13,8	24,3	18,7
70	0	—	0	0	—	0,7	13,5	12,3	23,7	17,2
80	0	0,0	0	0	0	5,8	—	—	26,3	18,9
100	0	1,1	0	0	1,1	0,3	2,7	7,2	25,9	18,3

как уже отмечено, в первый год проявилось понижающее действие избытка известки при одновременном повышении урожая соломы, во второй же год отношение зерна к соломе оставалось нормальным по всем дозам известки.

В разной степени проявилось положительное действие доломита в 1931 и в 1932 гг. Это видно из сводной таблицы 23 общих урожаев всех растений за эти два года по 40 и 80 мг-экв. доломита и по этим же количествам известки.

Таблица 23

Урожай по доломиту и известки за 1931 и 1932 гг.

		Горчица		Лен		Клевер		Гречиха		Овес	
		1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.	1931 г.	1932 г.
		40 мг-экв. { известка . . . . .	7,3	—	14,7	5,4	8,6	10,1	16,0	10,0	20,1
40 мг-экв. { доломит . . . . .	3,3	6,7	16,5	9,1	8,4	10,7	15,5	12,8	20,9	18,0	
80 мг-экв. { известка . . . . .	0	0	0	0	0	?	9,6	—	26,3	18,9	
80 мг-экв. { доломит . . . . .	10,4	10,4	17,3	4,9	9,6	8,9	19,8	15,1	22,9	18,7	
Максимальные урожан	11,2	9,9	17,1	11,3	9,8	12	19,8	16,3	22,3	19,6	
Оптимальные дозы CaCO <sub>3</sub>	50	60	50	47,5	50	52,5	52,5	57,5	50	47,5	

В первый год опыта 40 мг-экв. доломита в сравнении с эквивалентным количеством известки дали пониженный урожай гречихи и особенно горчицы, на второй же год горчица, лен, клевер и гречиха дали более высокий урожай по доломиту, чем по известки, и особенно сильно это проявилось на горчице. 80 мг-экв. доломита и на второй год дали довольно высокие урожан, но в первый год урожан по доломиту были равны максимальным, на второй же год они для всех растений за исключением горчицы ниже максимальных. Значительно варьируют оптимальные дозы CaCO<sub>3</sub> на втором году.

В сосудах с довнесенным до 80 мг-экв. CaCO<sub>3</sub> и 20 мг-экв. магнeзита и на второй год опыта получены урожан всех растений.

Результаты этих опытов можно свести к следующим положениям.

1. После нейтрализации обменной кислотности чернозема, полностью насыщенного водородом, незначительный избыток извести уже губит растение; на естественном же черноземе избыток извести не оказывает вредного влияния; нет вредного действия избытка извести и на песке.

2. Внесением магния можно нейтрализовать вредное действие избытка извести, но необходимо найти соответствующую дозу магния. При этом необходимо учесть и форму, в какой вносится в почву магний, так как формой определяется его подвижность. В приведенном опыте 20 мг-экв. магния в форме аморфного магнезита, внесенные к 80 мг-экв. извести, оказали положительное действие; внесенные же 4,8 мг-экв. магния в форме  $MgCO_3$  (1 г на сосуд) к 100 мг-экв.  $CaCO_3$  и 2 мг-экв. магния в форме  $MgSO_4$  (0,2 г  $MgO$ , на сосуд) к 80 мг-экв.  $CaCO_3$  не оказало положительного действия.

3. Количество доломита, эквивалентное количеству извести губящему растению, не только не оказало вредного действия, но дало максимальный общий урожай; отношение зерна к соломе в урожае по доломиту пониженное.

4. Вредное действие избытка извести в значительной степени, нейтрализуется при повторении посевов на тех же почвах на второй год повидимому вследствие более полного взаимодействия за это время между почвой и  $CaCO_3$ , а также возможно что, здесь имело место и увеличение емкости поглощения почвы. Увеличение емкости обмена почвы от избытка извести констатировано акад. К. К. Г е д р о й ц е м на торфянистой почве<sup>1</sup>.

5. Неправильное соотношение между  $Ca$  и  $Mg$  удлинит вегетационный период растений; особенно резко проявляется это действие при избытке кальция.

6. Неодинаково отношение растений к избытку извести. Наиболее чувствительными оказались лен и горчица; почти не реагирует на избыток извести овес; промежуточное положение занимает клевер и гречиха, причем клевер стоит ближе к льну и горчице, гречиха — к овсу.

г) Опыт № 7. Изучение действия углекислых солей кальция и углекислых солей магния на первоначально черноземе и в песчаных культурах

*А. Вольскан*

Предполагая поставить в 1932 г. ряд опытов по влиянию на растение того или иного соотношения между обменным кальцием и магнием в почвенных условиях, Константин Каэтанович Гедройц предпринимает еще в 1931 г., уже в конце лета, исследование различных углекислых солей как источников  $Ca$  и  $Mg$  при введении их в почвенный поглощающий комплекс. Несколько небольших опытов, проведенных в условиях песчаной и почвенной культуры с овсом, горчицей и льном, имели целью выяснить действие углекислых солей кальция в виде химически чистого  $CaCO_3$  и в виде доломита и углекислых солей магния, также в виде химически чистого  $MgCO_3$  и природного углекислого магния — магнезита. Подробное изложе-

<sup>1</sup> Журнал «Химизация соц. земледелия», № 9—10, 1932 г., стр. 18.

ние этих опытов (не вполне оконченное) сделано акад. Гедройцем самим, и эта последняя его статья помещается в начале данного сборника. Поэтому здесь отмечаются лишь основные результаты этих опытов и приводятся те материалы, которые не были еще использованы К. К. Гедройцем в его статье<sup>1</sup>.

Результаты этих опытов показали, что из четырех изучавшихся углесолей:  $\text{CaCO}_3$ , доломита,  $\text{MgCO}_3$  и магнезита, только  $\text{MgCO}_3$  окзывается ядовитым для растений в условиях песчаной культуры. Уже при самой малой дозе  $\text{MgCO}_3$ —0,5 г — на сосуд (1 000 г песка) горчица и лен погибают, а овес сильно снижает урожай. Остальные углесолы являются совершенно безвредными для всех опытных растений даже при максимальной дозе в 20 г на 1 кг песку.

Лабораторные исследования, проведенные самим К. К. Гедройцем с указанными углесолями, обнаруживают чрезвычайно сильную растворимость  $\text{MgCO}_3$  по сравнению с другими углесолями и значительно более высокую общую щелочность и рН в его насыщенном водном растворе.

Анализируя полученные результаты вегетационного опыта и лабораторных исследований, К. К. Гедройц приходит к тому выводу, что причиной гибели растений по  $\text{MgCO}_3$  в песчаных культурах является не столько повышенная щелочная реакция, сколько нарушение благоприятного соотношения между кальцием, внесенным в виде  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , и магнием вследствие большой растворимости  $\text{MgCO}_3$  и следовательно преобладания иона магния над кальцием.

При внесении тех же углесолей в почву (исходный каменнотенной чернозем), т. е. среду не инертную, как песок, но способную к реакциям обмена с внесенными соединениями, результаты для  $\text{MgCO}_3$  получаются уже другие. В этом случае он не только не губит горчицы, но до определенной дозы даже повышает ее урожай; и только при последней максимальной дозе в 16,8 г на сосуд,  $\text{MgCO}_3$  в отличие от  $\text{CaCO}_3$  снова губит горчицу и сильно понижает урожай овса. Остальные углесолы при внесении в почву оказываются так же, как и в песчаных культурах, совершенно безвредными даже при самых высоких дозах.

Сравнивая действие углесолей в песчаных культурах и в почве, К. К. Гедройц делает заключение, что  $\text{CaCO}_3$ , доломит и магнезит являются соединениями, безвредными для растений как сами по себе (т. е. продуктами своего растворения), так и по тем продуктам, которые могут образоваться при взаимодействии их с черноземом.

В то же время  $\text{MgCO}_3$  является ядовитым для растений сам по себе, если он вносится в инертную среду, но вместе с тем он терлет всю свою яловитость при внесении до известной дозы в чернозем.

«Для того чтобы разобраться в вопросе, что происходило между почвой и  $\text{MgCO}_3$ , остановимся сначала на величине рН в сосудах с черноземом, получивших различные углесолы и в том числе углекислый магний», — говорит в своей последней статье К. К. Гедройц.

На этом обрывается последняя статья Константина Казтановича (вообще и по этому вопросу в частности). Величины рН по различным углесолям на черноземе приводятся в таблице 24.

<sup>1</sup> Цифровой материал по урожайным данным этих опытов см. на стр. 87 этого сборника в статье К. К. Гедройца.

Таблица 24

Определение pH в почвах вегетационного опыта 1931 г. с  $MgCO_3$ , доломитом и магнезитом из-под горчицы (анализы А. Вольской)

Схема опыта	В песке			В черноземе			
	№ сосулов	pH <sup>1</sup>		№ сосулов	pH		
		перед посевом	после уборки		перед посевом	стадия цветения	после уборки
Без удобрения	245	6,45	7,35	225	6,25	7,04	—
$MgCO_3$ :							
0,525 г	246	8,30	7,98	226	6,77	7,73	—
1,05 »	247	8,46	8,41	227	7,17	7,48	—
2,10 »	248	8,46	8,80	228	7,64	7,90	—
4,20 »	249	8,56	8,93	229	8,20	8,27	—
8,40 »	250	8,50	9,00	230	8,50	8,41	—
16,80 »	251	8,90	9,11	231	8,60	8,65	—
Доломит:							
0,6 г	252	7,10	7,07	232	6,53	7,31	—
1,2 »	253	7,0	7,86	233	6,54	7,33	—
2,4 »	254	6,90	7,80	234	6,58	7,60	—
4,8 »	255	6,90	7,73	235	6,84	7,86	—
9,6 »	256	6,70	7,86	236	6,94	7,86	—
19,2 »	257	6,90	7,87	237	7,17	7,86	—
Без удобрения	272	7,0	6,91	265	6,38	6,81	6,82
Магнезит:							
0,55 г	273	7,20	6,81	266	6,62	7,18	7,54
1,10 »	274	7,30	7,33	267	6,75	7,22	7,67
2,20 »	275	7,33	7,27	268	6,96	7,36	7,87
4,40 »	276	7,40	7,21	269	7,20	7,70	7,77
8,80 »	277	7,53	7,27	270	7,64	7,86	7,98
17,60 »	278	7,65	7,84	271	7,70	7,86	8,12

Приведенные цифры показывают, что pH по  $MgCO_3$  на черноземе оказывается по всем внесенным дозам ниже, чем в условиях песчаной культуры. Это объясняется большей буферностью почвы, чем песка. Но вместе с тем здесь, так же как и в песке, pH по  $MgCO_3$  выше, чем по доломиту и магнезиту, достигая при двух последних дозах величин 8,4—8,6.

Однако величиной pH нельзя полностью объяснить гибели горчицы при последней дозе  $MgCO_3$  в 16,8 г на сосуд, имея в виду, что на предыдущей дозе  $MgCO_3$  pH было лишь немного кислее (—8,41), а горчица развивалась нормально. Точно так же например по  $CaCO_3$  в песчаных культурах<sup>2</sup> pH поднималось до 8,5, но горчица не обнаруживала никакого страдания.

Следует К. К. Гедройцу, все результаты излагаемого опыта хорошо могут быть объяснены отношениями кальция к магнию в почвенном растворе. С этой точки зрения безвредность  $MgCO_3$  (до известной дозы) на черноземе в отличие от песка обуславливается тем, что продукт растворения  $MgCO_3$ —магний—не остается в почвенном растворе, но вступает в обменную реакцию с поглощенным каль-

<sup>1</sup> pH определялся электрометрическим методом с каломельным электродом в водной суспензии 1:1.

<sup>2</sup> См. таблицу 14.

нием чернозема, и таким путем в почвенном растворе создается известное равновесие между Са и Mg, вполне благоприятное для развития растений; в частности для горчицы, судя по урожайным данным, даже более благоприятное, чем оно имеется на черноземе без  $MgCO_3$ . Внесение некоторой избыточной дозы  $MgCO_3$  нарушает это равновесие в сторону преобладания магния над кальцием, и чувствительное к этому отношению между Са и Mg растение — горчица — гибнет, а более выносливое — овес, хотя и не гибнет, но сильно снижает урожай.

Особенно подчеркнутый акад. Гедройцем в его статье факт повышения урожая горчицы при внесении в первоначальный чернозем больших доз  $CaCO_3$ , не могущий быть объясненным нейтрализацией кислотности нейтрального чернозема, становится более понятным в свете данного толкования К. К. Гедройца. Здесь видимо также играет роль образование в почвенном растворе более благоприятного соотношения между кальцием и магнием в результате обменной реакции между внесенным  $CaCO_3$  и поглощенным магнием чернозема.

В дополнение к вышеизложенным исследованиям различных углекислых солей кальция и магния К. К. Гедройцем было поставлено зимой исследование быстроты разложения этих солей сильно кислой почвой — каменностепным черноземом, полностью насыщенным водородом. Методика этой работы была следующая: 5 г почвы, полностью насыщенной водородом, помещалось в колбу Эрленмейера от аппарата Кноппа для определения  $CO_2$ . Через воронку прибавлялось к почве 0,2 г той или иной углесоли с небольшим количеством обычной дистиллированной воды. Колба соединялась с поглотительными трубками, и через всю систему протягивался воздух, лишенный  $CO_2$ . Через каждые 3 часа производилось взвешивание трубок. После нескольких взвешиваний содержимое колбы кипятилось в течение получаса, и через 3 часа протягивания воздуха трубки снова взвешивались. Такое получасовое кипячение с последующим трехчасовым протягиванием воздуха без  $CO_2$  и взвешиванием трубок повторялось несколько раз.

О ходе разложения углесоли судилось по количеству выделившейся углекислоты. Остаток неиспользованной углесоли определялся в конце опыта после 10-минутного кипячения содержимого колбы с 10%  $HCl$ . Исследование было проведено с  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$  и с доломитом, взятыми приблизительно в эквивалентных количествах (по  $CO_2$ ). Результаты представлены в таблице 25.

Из таблицы видно, что по характеру разложения кислой почвой особенно резко выделяется из всех углесолей  $MgCO_3$ . В то время как  $CaCO_3$  и доломит очень быстро разлагаются почвой еще до кипячения,  $MgCO_3$  взаимодействует с почвой очень медленно. Предполагая, что почва, данная К. К. Гедройцем для этого исследования, содержала 50—60 мг-экв. водорода на 100 г, находим, что при нейтрализации всего Н-иона в 5 г почвы должно было выделиться 0,0550—0,0660 г  $CO_2$ . При нейтрализации доломитом и  $CaCO_3$  очень быстро, еще до кипячения, выделяется уже 0,0300—0,0400 г  $CO_2$ , т. е. нейтрализуется большая половина всего обменного Н<sup>+</sup> почвы; в то же время при  $MgCO_3$  выделяется до кипячения только 0,0080—0,0070 г  $CO_2$ , т. е. разложе-

Скорость разложения различных углесодя почвой, полностью насыщенной водородом

Случаи почвенных	CaCO <sub>3</sub>				MgCO <sub>3</sub>				Итого	
	13,15% CO <sub>2</sub>		39,55% CO <sub>2</sub>		44,0% CO <sub>2</sub>					
	1-я проба 5,0000 г + + 0,2016 г	2-я проба 5,0000 г + + 0,2004 г	1-я проба 5,0004 г + + 0,2510 г	2-я проба 5,0004 г + + 0,2502 г	3-я проба <sup>1</sup> 4,9996 г + + 0,2568 г	1-я проба 5,0000 г + + 0,2000 г	2-я проба 5,0000 г + + 0,2002 г			
Конечно выделенной CO <sub>2</sub> в граммах										
До кипения:	0,0144	0,0094	0,0012	0,0020	0,0014	0,0016	0,0200	0,016	0,0200	0,016
2-е . . . . .	0,0176	0,0188	0,0022	0,0010	0,0005	0,0009	0,0084	0,0094	0,0084	0,0094
3-е . . . . .	—	—	0,0020	0,0012	0,0012	0,0012	0,0084	0,010	0,0084	0,010
4-е . . . . .	—	—	0,0020	0,0008	0,0020	0,0020	0,0036	0,702	0,0036	0,702
5-е . . . . .	—	—	0,0006	0,0016	0,0028	—	—	—	—	—
После 1/2-часового кипения:										
6-е . . . . .	0,0370	0,0384	0,0866	0,0882	0,0726	0,0194	0,0194	0,0190	0,0194	0,0190
7-е . . . . .	0,0000	0,0000	0,0020	0,0018	0,0118	0,0026	0,0030	0,0030	0,0026	0,0030
8-е . . . . .	0,0000	0,0000	0,0012	0,0018	0,0004	—	—	—	—	—
9-е . . . . .	—	—	— <sup>2</sup>	0,0014	0,0000	—	—	—	—	—
10-е . . . . .	—	—	0,0016	0,0000	—	—	—	—	—	—
11-е . . . . .	—	—	0,0020	0,0026	—	—	—	—	—	—
12-е . . . . .	—	—	0,0010	0,0012	—	—	—	—	—	—
Итого выделено CO <sub>2</sub> . . . . .										
Осталось углесодя, не использованной в почве (в CO <sub>2</sub> ) . . . . .	0,0106	0,0104	0,0022	0,0050	0,0020	0,0524	0,0606	Не определено		0,0606
Осталось на воронке . . . . .	0,0065	0,0038	Не было	Не было	Не было	Не было	Не было		Не было	
Всего найдено CO <sub>2</sub> анализами										
Содержало CO <sub>2</sub> во взятых на-весах углесодя . . . . .	0,0561	0,0508	0,1046	0,1094	0,0948	0,0883	0,0883	0,0881	0,0883	0,0881
0,0869	0,0864	0,0917	0,0914	0,0865	0,0883	0,0883	0,0883	0,0881	0,0883	0,0881

<sup>1</sup> 3 проба с MgCO<sub>3</sub> была поставлена позднее для проверки результатов, получившихся с этой углесодя.

<sup>2</sup> Перед взвешиванием нагронная трубка разбилась.

ние  $MgCO_3$  и поглощение магния идет очень медленно. Кроме того разложение  $CaCO_3$  и доломита, как это видно из таблицы, идет только под влиянием кислотности почвы и как только весь обменный  $H^+$  почвы был насыщен ими (при этом должно было выделиться 0,066 г.  $CO_2$ ), выделения  $CO_2$  уже не происходит.

В отличие от них по  $MgCO_3$  выделение  $CO_2$  продолжается и после того, как был нейтрализован весь обменный  $H^+$  во взятой навеске почвы.

Таким образом всеми вышеизложенными лабораторными исследованиями разных углесолей и вегетационными опытами с ними К. К. Геройц отчетливо выявил все их различия. Основные выводы по этому вопросу сводятся к следующему:

1.  $CaCO_3$  (химически чистый) является соединением сам по себе совершенно безвредным для растений даже при очень больших его дозах (до 125 т на 1 га). Он безвреден как своим катионом кальция, так и своей щелочностью (доходящей в песчаных культурах до рН 8,2—8,5). Несмотря на слабую растворимость, он очень быстро разлагается кислой почвой вследствие довольно высокой энергии поглощения катиона кальция.

2.  $MgCO_3$  (химически чистый), наоборот, является очень ядовитым для растений вследствие своей более высокой растворимости. Он ядовит не только щелочной реакцией, получающейся при его растворении (рН в песчаных культурах может доходить до 9), но и значительной концентрацией иона магния в растворе. Но если ион магния уравнивается ионом кальция,  $MgCO_3$  до известной дозы теряет всю свою ядовитость. Наряду с высокой растворимостью  $MgCO_3$  он вместе с тем много слабее, чем  $CaCO_3$ , разлагается кислой почвой очевидно вследствие меньшей энергии поглощения иона магния.

3. Природный углекислый магниевый-магнезит (аморфная форма) в отличие от  $MgCO_3$  является соединением совершенно безвредным для растений вследствие своей очень слабой растворимости (меньшей, чем у  $CaCO_3$ ).

4. Доломит (тот образец, который был в исследовании), представляющий двойную соль  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ , также оказался соединением не ядовитым для растений как в условиях песчаной, так и в почвенной культуре. По энергии разложения кислой почвой он почти одинаков с  $CaCO_3$  (но не с  $MgCO_3$ ).

**д) Опыт № 8 с  $MgCO_3$  и магнезитом на фоне  $CaCO_3$  на черноземе, насыщенном водородом**

**С. Г. Шедеров**

В развитие теории о роли соотношения кальция и магния К. К. Геройц в том же 1931 г. поставил несколько опытов рекогносцировочного характера. Эти опыты были проведены на разных субстратах на почве, насыщенной водородом, на первоначальном черноземе, на торфянистой почве и на песке. Опыты на песке и на первоначальном черноземе были изложены выше, в статье А. Н. Вольской.

Небольшой опыт на черноземе, насыщенном водородом, поставлен с внесением в почву на фоне углекислого кальция разных количеств  $MgCO_3$  в одном ряду сосудов и магнезита — в другом.

В сосуды внесено по 500 г воздушносухой почвы. Питательные растворы даны: по 0,1 г N в  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 г MgO в  $\text{MgSO}_4$  на сосуд. Посев горчицы произведен 14 августа. Всходы появились 16 августа. Вследствие наступления холодов растения не были доведены до созревания и убраны в цвет 23 октября. Сосуды с почвой оставлены для повторения опыта на следующий год. Весной 1932 г. произведена перебивка сосудов и даны вновь питательные растворы в сосуды, давшие урожай в прошлом году; азота внесено 0,2 г в  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ —0,2 г в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . 11 мая произведен посев горчицы.

16 мая появились неровные и редкие всходы, вследствие чего 19 мая произведен пересев горчицы. 23 мая появились нормальные всходы. Начало цветения горчицы в сосудах с одним углекислым кальцием — 20 июня, в сосудах с добавлением  $\text{MgCO}_3$  или магнезита начало цветения — 23 июня. Уборка горчицы произведена 30 июля. Урожай горчицы за два года приведены в табл. 26.

Таблица 26  
Урожай горчицы за 1931 и 1932 гг.

№ сосудов	Дано в мг-эки. на 100 г почвы			Урожай сухой массы в 1931 г. в г на сосуд	Урожай 1932 г. в г на сосуд		
	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	Магнезита		Зерно	Соломы	Всего
501	50	0	0	8,3	2,5	10,5	13,0
502	0	50	0	0	0	0	0
503	0	0	50	0	0	0	0
504	100	0	0	8,4	0,1	10,1	10,2
505	0	100	0	0	0	0	0
506	0	0	100	0	0	0	0
507	60	0	0	8,1	0,7	9,8	10,5
508	60	2,5	0	9,2	0	11,4	11,4
509	60	5,0	0	5,7	0,9	13,2	14,1
510	60	10,0	0	8,3	0	10,0	10,0
511	60	0	2,5	8,3	0	9,1	9,1
512	60	0	5,0	8,0	0,3	11,6	11,9
513	60	0	10,0	9,0	0,1	11,4	11,5
514	60	0	20	8,4	0,2	11,1	11,3
515	100	2,5	0	7,2	0,1	10,8	10,9
516	100	5,0	0	8,6	0,4	10,6	11,0
517	100	10,0	0	8,7	0	12,0	12,0
518	100	25,0	0	8,6	0	10,0	10,0
519	100	0	2,5	9,3	0	11,2	11,2
520	100	0	5,0	9,1	0,1	10,3	10,4
521	100	0	10,0	8,2	0,2	9,4	9,6
522	100	0	20,0	8,3	0	11,0	11,0

В этом опыте против ожидания не проявилось вредного действия на горчицу больших доз извести. Если в опыте «Известкование чернозема, насыщенного водородом» уже 57,5 мг-эки.  $\text{CaCO}_3$  совершенно губили горчицу, то в данном опыте это растение вполне нормально развивалось и дало в первый год почти одинаково высокий урожай как по 50, так и по 60 мг-эки.  $\text{CaCO}_3$  и не понизило урожая даже по 100 мг-эки. К. К. Г е д р о й ц<sup>1</sup> объясняет это явление тем, что вред-

<sup>1</sup> Почвенные обменные катионы и растения («Удобрение и урожай», 1931, № 11—12).

ное действие избытка извести зависит не только от почвы, но и от метеорологических условий. Чем сильнее транспирация, тем вреднее одна и та же доза извести. Поэтому горчица погибла в тех опытах, посевы в которых производились в жаркую погоду. В рассматриваемом же опыте посев горчицы произведен во второй половине лета, когда транспирация растений значительно понизилась. По этой же повидимому причине в первый год опыта не проявилось заметного действия ни углекислого магния, ни магнезита. Во второй год опыта 60 и 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  уже дали небольшое понижение урожая горчицы (от 13,0 г до 10,5 и 10,2 г) по сравнению с 50 мг-экв.

В сосуде с 50 и с 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  и в сосудах с эквивалентными количествами магнезита горчица не дала урожая как в первый, так и во второй год опыта, причем по  $\text{MgCO}_3$  горчица вовсе не дала всходов, по магнезиту же всходы появлялись, но вскоре погибали (по 100 мг-экв. через 3 дня, по 50 мг-экв. через полмесяца).

- е) Основной опыт (№ 9) 1932 г. по изучению соотношения между обменными кальцием и магнием на черноземе, полностью насыщенном водородом

#### А. Вольская

Большинство опытов 1932 г. по теме «Известкование почвы и отношение между количествами обменного магния и кальция» являются первым подходом К. К. Гедройца в его задаче доказать непосредственным образом значение отношения между Са и Mg именно в почвенных условиях. Опыты ставились в двух направлениях: с одной стороны, путем создания в почве различного соотношения обменного кальция к обменному магнию внесением  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , с другой стороны, путем изучения действия различных доломитов. Опытов первого типа на почве, полностью насыщенной  $\text{H}^+$ , было поставлено два: один со льном на 226 сосудов, другой с овсом на 80 сосудов.

Опыт со льном. Для опыта был взят каменностепной чернозем, полностью насыщенный  $\text{H}^+$  с емкостью обмена в 53,5 мг-экв. на 100 г воздушносухой почвы (46,5 мг-экв. Са и 7,0 мг-экв. Mg<sup>1</sup>). Навеска почвы — 500 г на сосуд (465 г сухой). Под почвой в сосуде был положен песок (250 г), промытый  $\text{HCl}$  и водой. Во все сосуды вносились полное удобрение по 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3$  и 0,2 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Схема опыта, имевшая целью получить различные градации в соотношении между Са и Mg, построена следующим образом: готовились 7 групп почв, в различной степени насыщенных магнием путем внесения различных количеств  $\text{MgCO}_3$  от 0 до 100 мг-экв. (на 100 г почвы); затем в каждую из этих почв вносились различные количества  $\text{CaCO}_3$  также от 0 до 100 мг-экв., но в более дробном подразделении. Таким образом получалось  $7 \times 16 = 112$  различных вариаций отдельного и совместного внесения  $\text{CaCO}_3$  с  $\text{MgCO}_3$ . Зная, что  $\text{MgCO}_3$  медленно реагирует с кислой почвой, и вместе с тем не имея практической возможности осуществить насыщение ее магнием надлежащим образом, пришлось ограничиться лишь предварительным смешиванием почвы

<sup>1</sup> Анализ А. Вольской.

с  $MgCO_3$ . Почва с  $MgCO_3$  (химически чистым) и питательными растворами, помещенная в сосуды без дренажа и трубочек, была полита до 60% влагоемкости и оставлена до внесения  $CaCO_3$ ; через 10 дней почва перебивалась с внесением  $CaCO_3$  (аптекарский мел) и соответствующей монтировкой сосудов.

Посев льна произведен 9 мая, уборка льна — в конце июля (коробочки срезались и раньше по мере созревания). Схема опыта и средние урожаи общей массы представлены в таблице 27. Подробные урожайные данные по сосудам приведены в таблице 28.

Таблица 27

Урожай общей массы льна в опыте 1932 г. с разным соотношением между Ca и Mg на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup> (в граммах на сосуд)

CaCO <sub>3</sub> (в мг-экв. на 100 г почвы)	MgCO <sub>3</sub>	В мг-экв. на 100 почвы					
		5	10	15	25	50	100
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0,7	4,0	7,2	0	0
15	0	1,4	3,6	6,7	9,6	0	0
20	1,8	4,0	6,7	8,1	10,2	0	0
25	7,2	7,5	8,6	9,4	12,4	0	0
30	8,8	8,4	9,0	11,0	7,6	0	0
35	9,7	9,3	10,8	9,5	0	0	0
40	10,7	12,0	10,2	0	0	0	0
45	13,0	6,2	0	0	0	0	0
50	6,2	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0

Из полученных результатов опыта следует, что при внесении в почву, полностью насыщенную Н<sup>+</sup> углекислого магния, лен не дает даже всходов ни при одной дозе  $MgCO_3$ . Многократные посевы льна в эти сосуды и сухими и проросшими семенами давали те же результаты — всходы не появлялись. Попытка посеять в эти сосуды клевер дала ту же картину — всходы клевера так же не появлялись.

Первоначальный каменностепной чернозем по NPK дал общий урожай 7,3 г.

В отличие от  $MgCO_3$  нейтрализация не насыщенного чернозема углекислым кальцием создает условия, при которых лен уже получает возможность развиваться. По мере увеличения вносимой дозы  $CaCO_3$  увеличивается и урожай льна, достигая максимума при дозе 45 мг-экв.  $CaCO_3$ , но уже при небольшом избытке извести сверх емкости обмена<sup>1</sup> при дозе 55 мг-экв. лен полностью погибает. Как известно, К. К. Г е д р о й ц выдвинул предположение, что причиной гибели некоторых растений от избыточного известкования на почвах, не содержащих

<sup>1</sup> См. примечание к стр. 8.

Урожай льна в опыте 1932 г. с разным соотношением между кальцием и магнием на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup> (в граммах на сосуд)

Схема опыта				№ сосудов	Зерно		Солома		Всего		% зерна от общего урожая
в мг.-лн. на 100 г почвы		в граммах на сосуд			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>								

Основное удобрение: 0,2 г N в NaNO<sub>3</sub> + 0,2 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

0	0	0	0	{ 1019 1020	0	0	0	0	0	0	0	—
»	10	»	2,5	{ 1021 1022	0	0	0	0	0	0	0	—
»	15	»	3,75	{ 1023 1024	0	0	0	0	0	0	0	—
»	20	»	5,0	{ 1025 1026	0 0	0	0,87 2,73	(1,80)	0,87 2,73	(1,80)	0	—
»	25	»	6,25	{ 1027 1028	0,20 0,55	(0,37)	6,41 7,21	6,81	6,61 7,67	7,18	5	—
»	30	»	7,50	{ 1029 1030	0,36 0,28	0,32	8,20 7,83	8,01	8,56 8,11	8,33	4	—
»	35	»	8,75	{ 1031 1032	0,82 0,45	(0,63)	8,96 9,16	9,06	9,78 9,61	9,69	6,5	—
»	40	»	10,0	{ 1033 1034	1,47 2,60	(2,03)	7,97 9,62	8,70	9,44 12,02	(10,73)	18	—
»	45	»	11,25	{ 1035 1036	3,24 2,95	3,10	9,45 10,40	9,93	12,69 13,35	13,02	24	—
»	50	»	12,50	{ 1037 1038	1,50 0,60	(1,05)	5,30 4,90	5,10	6,80 5,50	6,15	17	—
»	55	»	13,75	{ 1039 1040	0	0	0	0	0	0	0	—
»	60	»	15,0	1041—42	0	0	0	0	0	0	0	—
»	65	»	16,25	1043—44	0	0	0	0	0	0	0	—
»	70	»	17,50	1045—46	0	0	0	0	0	0	0	—
»	80	»	20,0	1047—48	0	0	0	0	0	0	0	—
»	100	»	25,0	1049—50	0	0	0	0	0	0	0	—
5	0	1,05	0	1051—52	0	0	0	0	0	0	0	—
»	10	»	2,5	1053—54	0	0	0	0	0	0	0	—
»	15	»	3,75	1055 1056	0 0	0	1,27 1,62	1,44	1,27 1,62	1,44	0	—
»	20	»	5,0	{ 1057 1058	0,13 0,01	—	2,32 5,45	(3,88)	2,45 5,46	(3,95)	2	—
»	25	»	6,25	{ 1059 1060	0,43 0,38	0,40	7,76 6,42	7,09	8,19 6,80	7,50	5	—

Таблица 28 (продолжение)

Схема опыта				№ сосуд.	Зерно		Сокота		Всего		% зерна от общего урожая
в мг-мил. на 100 почвы		в г на сосуд.			по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>								
5	30	1,05	7,50	{ 1061 1062	{ 0,53 0,31	0,42	{ 7,95 8,10	8,03	{ 8,48 8,41	8,45	5
»	35	»	8,75	{ 1063 1064	{ 0,61 1,10	(0,85)	{ 8,10 8,84	8,47	{ 8,71 9,94	9,32	9
»	40	»	10,00	{ 1065 1066	{ 2,80 2,10	2,45	{ 10,55 8,50	9,52	{ 13,35 10,60	(11,97)	20
»	45	»	11,25	{ 1067 1068	{ 2,09 0,60	(1,34)	{ 7,62 2,09	(4,85)	{ 9,71 2,60	(6,20)	(22)
»	50	»	12,50	1069—70	0	0	0	0	0	0	—
»	55	»	13,75	1071—72	0	0	0	0	0	0	—
»	60	»	15,0	1073—74	0	0	0	0	0	0	—
»	65	»	16,25	1075—76	0	0	0	0	0	0	—
»	70	»	17,50	1077—78	0	0	0	0	0	0	—
»	80	»	20,00	1079—80	0	0	0	0	0	0	—
»	100	»	25,00	1081—82	0	0	0	0	0	0	—
10	0	2,10	0	{ 1083 1084	0	0	0	0	0	0	—
»	10	»	2,5	{ 1085 1086	{ 0 0	0	{ 0,50 0,85	0,67	{ 0,50 0,85	0,67	0
»	15	»	3,75	{ 1087 1088	{ 0 0,05	—	{ 3,45 3,62	3,53	{ 3,45 3,67	3,55	0
»	20	»	5,0	{ 1089 1090	{ 0,21 0,01	—	{ 6,64 6,54	6,59	{ 6,85 6,55	6,70	16
»	25	»	6,25	{ 1091 1092	{ 0,39 0,90	—	{ 8,06 7,81	7,93	{ 8,45 8,71	8,58	7
»	30	»	7,50	{ 1093 1094	{ 1,38 0,23	—	{ 8,32 8,08	8,20	{ 9,70 8,31	9,00	9
»	35	»	8,75	{ 1095 1096	{ 1,67 1,03	1,35	{ 9,15 9,79	9,47	{ 10,82 10,82	10,82	12
»	40	»	10,00	{ 1097 1098	{ 2,27 2,28	2,28	{ 9,45 6,35	(7,90)	{ 11,72 8,63	(10,18)	22
»	45	»	11,25	1099—1100	0	0	0	0	0	0	—
»	50	»	12,50	1101—102	0	0	0	0	0	0	—
»	55	»	13,75	1103—104	0	0	0	0	0	0	—
»	60	»	15,00	1105—106	0	0	0	0	0	0	—
»	65	»	16,25	1107—108	0	0	0	0	0	0	—
»	70	»	17,50	1109—110	0	0	0	0	0	0	—
»	80	»	20,00	1111—112	0	0	0	0	0	0	—
»	100	»	25,00	1113—114	0	0	0	0	0	0	—

Таблица 28 (продолжение)

Схема опыта				№ сосудов	Зерно		Солома		Всего		% зерна от общ. урожая
в мг-овых, на 100 г почвы		в г на сосуд			по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>								
15	0	3,15	0	1115--11	0	0	0	0	0	0	—
»	10	»	2,5	{ 1117 1118	{ 0 0	0	{ 4,05 4,00	4,02	{ 4,05 4,00	4,02	0
»	15	»	3,75	{ 1119 1120	{ 0,05 0,05	0,05	{ 6,89 6,37	6,63	{ 6,94 6,42	6,66	0,8
»	20	»	5,0	{ 1121 1122	{ 0,45 0,25	(0,35)	{ 7,43 8,00	7,71	{ 7,88 8,25	8,06	4
»	25	»	6,25	{ 1123 1124	{ 0,67 0,27	(0,47)	{ 9,00 8,77	8,88	{ 9,57 9,04	9,35	5
»	30	»	7,50	{ 1125 1126	{ 2,42 1,35	(1,88)	{ 9,43 8,82	9,12	{ 11,85 10,17	11,00	17
»	35	»	8,75	{ 1127 1128	{ 1,88 0,80	(1,34)	{ 9,60 6,69	(8,14)	{ 11,48 7,49	(9,48)	14
»	40	»	10,0	1129—30	0	0	0	0	0	0	—
»	45	»	11,25	1131—32	0	0	0	0	0	0	—
»	50	»	12,50	1133—34	0	0	0	0	0	0	—
»	55	»	13,75	1135—36	0	0	0	0	0	0	—
»	60	»	15,0	1137—38	0	0	0	0	0	0	—
»	65	»	16,25	1139—40	0	0	0	0	0	0	—
»	70	»	17,50	1141—42	0	0	0	0	0	0	—
»	80	»	20,0	1143—44	0	0	0	0	0	0	—
»	100	»	25,0	1145—46	0	0	0	0	0	0	—
25	0	5,25	0	1147—48	0	0	0	0	0	0	—
»	10	»	2,5	{ 1149 1150	{ 0,02 0,00	} 0,01	{ 7,26 7,17	7,21	{ 7,28 7,17	7,23	0
»	15	»	3,75	{ 1151 1152	{ 0,05 0,09	0,07	{ 9,07 10,03	9,55	{ 9,12 10,12	9,62	0,7
»	20	»	5,0	{ 1153 1154	{ 0,30 0,20	0,25	{ 9,40 10,58	9,99	{ 9,70 10,78	10,24	2
»	25	»	6,25	{ 1155 1156	{ 2,57 2,05	2,31	{ 9,68 10,47	10,07	{ 12,25 12,52	12,38	18
»	30	»	7,50	{ 1157 1158	{ 0,80 0,69	0,74	{ 6,30 7,42	6,86	{ 7,10 8,11	7,60	10
»	35	»	8,75	1159—60	0	0	0	0	0	0	0
»	40	»	10,0	1161—62	—	—	—	—	—	—	—
»	45	»	11,25	1163—64	—	—	—	—	—	—	—
»	50	»	12,50	1165—66	—	—	—	—	—	—	—
»	55	»	13,75	1167—68	—	—	—	—	—	—	—

Растения погибли в стадии  
выходов

Таблица 28 (продолжение)

Схема опыта				№ поселов	Зерно		Созона		Всего		% зерна от посева	
в кг-ов на 100 г почвы		в г на себу			по себу	реда	по посева	средн.	по посева	средн.		
МгСО	СаСО	МгСО	СаСО									
25	60	5,25	15,00	1169—70	Растения погибли в стадии всходов							
»	65	»	16,25	1171—72								
»	70	»	17,50	1173—74								
»	80	»	20,0	1175—76								
»	100	»	25,0	1177—78								
50	0	10,5	0	1179—80	Растения погибли в стадии всходов							
»	10	»	2,5	1181—82								
»	15	»	3,75	1183—84								
»	20	»	5,00	1185—86								
»	25	»	6,25	1187—88								
»	30	»	7,50	1189—90								
»	35	»	8,75	1191—92								
»	40	»	10,00	1193—94								
»	45	»	11,25	1195—96								
»	50	»	12,50	1197—98								
»	55	»	13,75	1199—1200								
»	60	»	15,00	1201—02								
»	65	»	16,25	1203—04								
»	70	»	17,50	1205—06								
»	80	»	20,00	1207—08								
»	100	»	25,00	1209—10								
100	0	21,0	0	1211—12	Всходы льна не появились							
»	10	»	2,50	1213—14								
»	15	»	3,75	1215—16								
»	20	»	5,00	1217—18								
»	25	»	6,25	1219—20								
»	30	»	7,50	1221—22								
»	35	»	8,75	1223—24								
»	40	»	10,00	1225—29								
»	45	»	11,25	1227—28								
»	50	»	12,50	1229—30								
»	55	»	13,75	1231—32								
»	60	»	15,00	1233—34								
»	65	»	16,25	1235—36								
»	70	»	17,50	1237—38								
»	80	»	20,0	1239—40								
»	100	»	25,0	1241—42								
На первоначальном каменно-степном черноземе по НРК получено:					{ 1243 1244	{ 1,37 0,22	0,80	{ 7,68 5,42	6,55	{ 9,05 5,64	7,35	11

обменного магния или содержащих его очень мало, является нарушение благоприятного соотношения между кальцием и магнием вследствие избытка кальция при недостатке магния. Замена части внесенного  $\text{CaCO}_3$  углекислым магнием, создавая ту же избыточную степень нейтрализации ненасыщенной почвы, как и при одном  $\text{CaCO}_3$ , должна в то же время исправлять положение в соотношении  $\text{Ca} : \text{Mg}$ .

Соответствующие урожайные данные излагаемого опыта приведены в таблице 29.

Таблица 29

Влияние замены части кальция магнием на урожай льна при избыточном известковании почвы, полиостью насыщенной Н<sup>+</sup>

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы			Отношение внесенных Са:Мг	Урожай в г на сосуд		
$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	Сумма		Зерно	Солома	Всего
55	0	55	0	0	0	0
50	5	»	10,0:1	0	0	0
45	10	»	4,5:1	0	0	0
40	15	»	2,6:1	0	0	0
30	25	»	1,2:1	0,7	6,86	7,60

Из таблицы 29 совершенно ясно видно действительно громадное значение магния для исправления губительного действия избыточного известкования одним  $\text{CaCO}_3$ . В то время как при внесении одного  $\text{CaCO}_3$  в количестве 55 мг-экв. лен погибал едва появлялись его всходы, при замене определенной части  $\text{CaCO}_3$  углекислым магнием (30 мг-экв.  $\text{CaCO}_3 + 25$  мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ ) лен получил возможность развиваться при той же избыточной дозе нейтрализаторов и дал урожай в 7,6 г на сосуд<sup>1</sup>.

Точно так же положительное влияние магния проявляется и при менее сильном известковании—в дозе 50 мг-экв., когда лен хотя и не погиб, но уже вдвое понизил урожай против оптимальной дозы известки. В этом случае замена части  $\text{CaCO}_3$  углекислым магнием увеличивает урожай льна с 6,2 до 12,4 г. как это видно из следующих цифр:

Таблица 29а

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы			Отношение внесенных Са:Мг	Урожай льна в г на сосуд	
$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	Сумма		Всего	Зерно
50	0	50	0	6,2	1,1
45	5	»	9:1	6,2	1,3
40	10	»	4:1	10,2	2,3
35	15	»	2,3:1	9,5	1,3
25	25	»	1:1	12,4	2,3

<sup>1</sup> При внесении 30 мг-экв. одного  $\text{CaCO}_3$ , без Mg урожай льна получился 8,3 г. Однако этот урожай нельзя сравнивать с урожаем при 30 мг-экв.  $\text{CaCO}_3 + 25$  мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , т. е. в сумме 55 мг-экв. нейтрализаторов, так как степень нейтрализации ненасыщенного чернозема в этих двух случаях совершенно различна.

Таким образом положительная роль магния при известковании в избыточных количествах выявлена в этом опыте вполне определенно.

Но помимо этого результаты опыта позволяют установить, что магний может оказывать при известковании почвы и отрицательное действие. Это наблюдается в тех случаях, когда известкование производится в количествах, меньших, чем нужно для полной нейтрализации обменного Н почвы. Соответствующие цифры приведены в табл. 30.

Цифры таблицы 30 показывают, что в случаях неполной нейтрализации всего обменного водорода почвы, т. е. до 45 мг-экв. внесенных углесоей, один  $\text{CaCO}_3$  действует лучше, чем совместно с  $\text{MgCO}_3$ . При всех ступенях нейтрализации от 20 до 45 мг-экв. вкл. введение  $\text{MgCO}_3$  в общую сумму нейтрализаторов понижает и общий урожай льна и выход зерна по сравнению с действием одного  $\text{CaCO}_3$ . Чем больше доля  $\text{MgCO}_3$  в общей сумме нейтрализаторов, тем меньше получается урожай, и при нейтрализации одним  $\text{MgCO}_3$  не появляется даже и всходов льна.

Таким образом, говоря словами Константина Казтановича: «...этим опытом нам удалось доказать с несомненностью наличие взаимного антагонизма между кальцием и магнием в почвенных культурах»<sup>1</sup>. Опыт сопровождался многочисленными аналитическими определениями.

Программа этих определений была дана еще К. К. Гедройцем, но выполнять ее пришлось уже без него. Она заключалась в анализе водных вытяжек из почв, бывших в вегетационном опыте.

Вытяжки готовились с отношением почвы к воде 1 : 5 (150 г воздушносухой почвы), и в них определялось следующее: 1) сухой и прокаленный остаток; 2) общая щелочность и кислотность; 3) рН; 4) воднорастворимый гумус; 5)  $\text{SiO}_2$  и полуторные окислы; 6) воднорастворимые Са и Mg. Вытяжки были 3-х минутные.

Все анализы производились по методам, указанным в книге К. К. Гедройца «Химический анализ почвы», раздел «Водные вытяжки». Отметим только следующие моменты: при выпаривании вытяжек к ним прибавлялось 0,02 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в количествах, эквивалентных общей щелочности, ввиду содержания в почвах вместе с  $\text{CaCO}_3$  также и  $\text{MgCO}_3$ ; по той же причине кальций определялся в сухом остатке двойным, а иногда даже тройным осаждением  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  (после отделения полуторных окислов ацетатным методом) с последующим титрованием.

Воднорастворимый гумус делался по Кубель-Тиманну; при этом вследствие большого количества органического вещества в вытяжках последних приходилось брать только 25 см<sup>3</sup> и прибавлять 30, а иногда даже 60 см<sup>3</sup> 0,05 N  $\text{KMnO}_4$ , чтобы добиться полного окисления.

Весь аналитический материал представлен в таблице 31.

В отношении рН водной вытяжки приведенные данные показывают, что, будучи сильно кислым на почве, полностью насыщенной Н (рН=3,5), рН увеличивается по мере внесения того или иного нейтрализатора, но нигде не достигает величины более щелочной, чем 7,7, за исключением одной-двух выскакивающих из общего ряда цифр (в сосуде № 1210 рН=7,87; в сосуде № 1234

<sup>1</sup> См. К. К. Гедройц, Работы Агрохимического отдела НИУ, стр. 97 данного сборника.

Таблица 30

Влияние на урожай льна замены члети  $\text{CaCO}_3$  углекислым магнием при известковании до полной нейтрализации обменного Н<sup>+</sup> почвы

Внесено кг-овца на 100 г почвы			Отношение полевника Са:Ма	Урожай : г на сосуд		% зерна
СаСО <sub>3</sub>	МаСО <sub>3</sub>	Сушка		Всего	Зерно	
20	0	20	0	1,8	0	—
15	5	»	3:1	1,4	0	—
10	10	»	1:1	0,67	0	—
25	0	25	0	7,2	0,4	—
20	5	»	4:1	4,0	0,1	—
15	10	»	1,5:1	3,5	0	—
10	15	»	0,6:1	4,0	0	—
0	25	»	0	0	0	—
30	0	30	0	8,3	0,3	3,6
25	5	»	5:1	7,5	0,4	5,0
20	10	»	2:1	6,7	0,1	1,5
15	15	»	1:1	6,7	0,1	1,5
35	0	35	0	9,7	0,6	6,5
30	5	»	6:1	8,5	0,4	5
25	10	»	2,5:1	8,6	0,6	7
20	15	»	1,3:1	8,1	0,4	4
10	25	»	0,4:1	7,2	0	0
40	0	40	0	10,7	2,1	18
35	5	»	7:1	9,3	0,8	9
30	10	»	3:1	9,0	0,8	9
25	15	»	1,6:1	9,3	0,5	5
15	25	»	0,6:1	9,6	0,1	0,7
45	0	45	0	13,0	3,1	24
40	5	»	8:1	12,0	2,5	20
35	10	»	3,5:1	10,8	1,4	12
30	15	»	2:1	11,0	1,9	17
20	25	»	0,8:1	10,2	0,3	3

Таблица 31  
 Результаты анализа подвиг из почв вегетационного опыта с разным соотношением между Са и Mg на глинисто-степном черноземе, полностью насыщенном Н<sup>+</sup> (анализы А. Вольской)

Схема опыта		№	Цвет почвы высушено	рН	Общая кислотность и г НСО <sub>3</sub> на 100 г почвы	Лимонитовый г. на 100 г почвы	Сухой остаток	Прекисляющий остаток	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Са	Mg	
в мг-ста на 100 г почвы	в мг												
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	0	0	7,37	0,0220	1,6	50,6	0,113	0,050	0,0056	0,0012	0,0136	0,0028

Первоначальный каменно-степной чернозем

Чернозем, полностью насыщенным Н<sup>+</sup>

№	Схема опыта	Почва не окрашена	рН	Общая кислотность и г НСО <sub>3</sub> на 100 г почвы	Лимонитовый г. на 100 г почвы	Сухой остаток	Прекисляющий остаток	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Са	Mg
0	Почва не окрашена	3,52	0	19,0	248	0,342	0,110	0,0036	0,0012	0,0011	0,0046
35	Темнобурая	5,04	0,0220	7,9	325	0,226	0,060	0,0260	0,0100	0,0035	Следы
40	»	6,34	0,0244	7,4	263	0,221	0,061	0,0258	0,0080	0,0038	»
45	»	6,61	0,0281	5,5	268	0,221	0,064	0,0244	0,0092	0,0031	»
50	Желтая	7,20	0,0305	3,2	120	0,207	0,104	0,0176	0,0060	0,0105	0,0013
55	»	6,88	0,0463	4,7	145	0,333	0,144	0,0092	0,0008	0,0257	0,0014
100	Светложелтая	7,29	0,0683	4,0	146	0,420	0,207	0,0158	0,0004	0,0547	0,0031
1052	Слабокислая	3,65	0	14,3	205	0,303	0,108	0,0060	0,0020	0,0014	0,0064
1054	»	3,85	0	13,5	232	0,334	0,110	0,0024	0,0024	0,0014	0,0080
1116	»	4,23	0	11,1	250	0,366	0,120	0,0020	0,0024	0,0012	0,0118
1148	»	4,87	0,0085	7,9	252	0,353	0,123	0,0052	0,0063	0,0015	0,0131
1180	Светлобурая	6,66	0,0244	4,7	300	0,400	0,133	0,0092	—	0,0011	0,0195
1212	Цвет крепк. чая	7,60	0,1378	2,4	698	0,706	0,225	0,0040	0,0012	0,0012	0,0521

Т а б л и ц а 31 (продолжение)

Схема опыта		№ соудов	Цвет водной вытяжки	рН	Общая щелочность в г $\text{HCO}_3^-$ на 100 г почвы	Общая кислотность в экв. $\% \text{H}^+$ на 100 г почвы	Всплошная часть остатков	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	Mg			
в мг-%, на 100 г почвы	Метод											CaCO <sub>3</sub>		
5		0	Слабоязкая	3,65	0,0000	14,3	205	0,303	0,108	0,0060	0,0020	0,0014	0,0064	
		30	Бурая	6,10	0,0158	5,5	278	0,197	0,050	0,0192	0,0068	0,0030	0,0010	0,0010
		35	»	6,37	0,0244	5,5	380	0,194	0,061	0,0072	0,0023	0,0023	0,0026	0,0006
		40	»	6,71	0,0207	4,7	255	0,188	0,055	0,0144	0,0060	0,0038	0,0011	0,0011
		45	Желтая	5,54	0,0158	4,0	138	0,243	0,101	0,0128	0,0024	0,0122	0,0027	0,0027
		50	»	6,88	0,0244	3,2	174	0,352	0,146	0,0092	0,0044	0,0215	0,0046	0,0046
		55	Светложелтая	7,18	0,0537	4,7	202	0,419	0,201	0,0124	0,0024	0,0332	0,0024	0,0050
60		0	Слабоязкая	3,85	0,0000	13,5	232	0,334	0,110	0,0024	0,0014	0,0080	0,0080	
		25	Бурая	6,25	0,0122	5,5	213	0,159	0,052	0,0016	0,0092	0,0026	0,0009	0,0009
		30	»	6,63	0,0124	5,5	253	0,205	0,066	0,0256	0,0072	0,0035	0,0011	0,0011
		35	»	6,81	0,0244	4,0	282	0,207	0,064	0,0220	0,0080	0,0035	0,0005	0,0005
		40	Желтая	6,80	0,0232	3,6	174	0,202	0,080	0,0084	0,0056	0,0058	0,0020	0,0020
		45	»	6,85	0,0317	2,4	198	0,381	0,159	0,0104	0,0016	0,0200	0,0071	0,0071
		50	»	7,22	0,0451	3,2	198	0,402	0,179	0,0116	0,0012	0,0258	0,0083	0,0083
55	»	7,40	0,0573	1,5	191	0,426	0,193	0,0124	0,0012	0,0330	0,0080	0,0080		
65		0	Слабоязкая	4,23	0,0000	11,1	250	0,366	0,120	0,0020	0,0012	0,0118	0,0118	
		20	Бурая	6,27	0,0171	5,5	298	0,227	0,067	0,0104	0,0092	0,0026	0,0022	0,0022
		25	»	6,61	0,0220	4,7	270	0,210	0,068	0,0208	0,0096	0,0025	0,0026	0,0026
		30	»	6,67	0,0268	5,5	294	0,234	0,082	0,0248	0,0108	0,0036	0,0016	0,0016
		35	»	6,98	0,0366	4,0	252	0,225	0,091	0,0268	0,0116	0,0040	0,0019	0,0019
		40	Желтая	6,87	0,0293	4,0	253	0,387	0,155	0,0116	0,0016	0,0171	0,0091	0,0091
		45	»	7,18	0,0390	3,2	234	0,413	0,171	0,0104	0,0020	0,0315	0,0088	0,0088
50	»	7,35	0,0512	3,2	206	0,445	0,201	0,0068	0,0012	0,0273	0,0107	0,0107		
55	»	7,38	0,0561	2,4	224	0,449	0,185	0,0096	0,0016	0,0265	0,0091	0,0091		



pH=8,05). Даже при внесении 100 мг-экв.  $MgCO_3$  pH водной вытяжки равно 7,73. В данном случае  $MgCO_3$  мало отличается от  $CaCO_3$ , при 100 мг-экв. которого pH получилось 7,29. Точно так же и при совместном внесении  $MgCO_3$  с  $CaCO_3$  как до момента нейтрализации обменного  $H^+$  почвы, так и сверх этого количества величины pH остаются в тех же пределах.

В таблице 32 приведены еще цифры pH, определенные в водной суспензии почвы при внесении различных доз одного  $MgCO_3$  и 100 мг-экв.  $MgCO_3$  + различные дозы  $CaCO_3$ .

Цифры показывают, что при определении в водной суспензии pH щелочнее, чем в водной вытяжке в щелочном интервале и кислее — в кислом.

При избытке внесенного  $MgCO_3$ , при 100 мг-экв. его, pH достигает максимума в 8,5, обусловленного буферной системой из  $CO_2$  и  $Mg(HCO_3)_2$ , и не изменяется поэтому при прибавлении  $CaCO_3$ . Напомним, что при внесении  $CaCO_3$  в почву, полностью насыщенную водородом pH в водной суспензии, получалось при 50 мг-экв.  $CaCO_3$  6,28, при 100 мг-экв. — 7,68<sup>1</sup>.

Общая щелочность, так же как и pH, увеличивается по мере увеличения вносимой дозы углесолей, но на этой величине уже более резко отражается и различная природа  $CaCO_3$  и  $MgCO_3$ , с одной стороны, и роль пункта нейтрализации обменного  $H^+$  почвы — с другой. Углекислый магний при внесении его в количестве 50 мг-экв., т. е. приблизительно около пункта нейтрализации, дает такую же общую щелочность и даже несколько меньшую, чем эквивалентное количество  $CaCO_3$  (0,0244% по  $MgCO_3$  и 0,0305% по  $CaCO_3$ ), но при избыточном внесении углесолей, например при 100 мг-экв.,  $MgCO_3$  создает общую щелочность уже вдвое большую, чем эквивалентное количество  $CaCO_3$  (0,1378% и 0,0688%). Это вполне объясняется большей растворимостью внесенного сверх нейтрализации обменного  $H^+$  почвы избытка  $MgCO_3$ , чем такого же избытка  $CaCO_3$ .

Воднорастворимое органическое вещество при внесении  $CaCO_3$  в почву, полностью насыщенную водородом, в количестве, еще недостаточном для нейтрализации всего обменного  $H^+$  почвы, не уменьшается, как можно было бы думать, исходя из представления о коагулирующей роли Ca, а увеличивается. Вместе с тем изменяется и природа вымываемого органического вещества, насколько об этом можно судить по цвету водных вытяжек. В одной из своих работ<sup>2</sup> К. К. Гедройц отметил возможность такого влияния кальция на сильно ненасыщенных почвах вследствие того, что «повидимому кальций дает с органическими веществами таких почв какие-то воднорастворимые соединения».

При дальнейшем увеличении внесенных доз  $CaCO_3$ , когда обменный водород почвы был уже нейтрализован, т. е. начиная с дозы в 50 мг-экв.  $CaCO_3$ , кальций проявляет свое коагулирующее влияние и количество растворимого органического вещества резко уменьшается по сравнению с ненасыщенным черноземом.

Наибольшие отклонения в общем ходе изменений, кажущиеся

<sup>1</sup> См. таблицу 8.

<sup>2</sup> «Учение о поглотительной способности почвы». 1932 г., стр. 155.

Таблица 32

pH в водной суспензии почв из вегетационного опыта 1932 г. с равным соотношением Ca: Mg на почве, полностью насыщенной H<sup>+</sup>.

(анализ А. Вольской)

Схема опыта	№ сосудов	pH (средн. из 2 сосудов)	Примечание
Без MgCO <sub>3</sub> и без CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1019—1020	3,00	Определение сделано 2/VI из сосудов, где не появилось всходов льна
5 мг-экв. MgCO <sub>3</sub> . . . . .	1051—1052	3,00	
10 " " . . . . .	1083—1084	3,12	Параллельные определения из парных сосудов расходились в сотых pH
15 " " . . . . .	1115—1116	3,51	
25 " " . . . . .	1147—1148	4,13	
50 " " . . . . .	1179—1180	5,68	
100 " " . . . . .	1211—1212	8,46	
100 мг-экв. MgCO <sub>3</sub> + 10 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	1213—1214	8,46	
" " " 15 "	1215—1216	8,43	
" " " 20 "	1217—1218	8,48	
" " " 25 "	1219—1220	8,51	
" " " 30 "	1221—1222	8,45	
" " " 35 "	1223—1224	8,60	
" " " 40 "	1225—1226	8,55	
" " " 45 "	1227—1228	8,53	
" " " 50 "	1229—1230	8,52	
" " " 55 "	1231—1232	8,52	
" " " 60 "	1233—1234	8,50	
" " " 65 "	1235—1236	8,42	
" " " 70 "	1237—1238	8,48	
" " " 80 "	1239—1240	8,46	
" " " 100 "	1241—1242	8,50	

с первого взгляда не совсем ясными, обнаруживают цифры воднорастворимого кальция и магния.

На почве, полностью насыщенной водородом, без внесения в нее  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{MgCO}_3$  было однако найдено 0,0011% Ca и 0,0046% Mg. Эти цифры могут вызвать некоторые сомнения, так как, казалось бы, что из почвы, все обменные катионы которой замещены водородом, не должно переходить в водную вытяжку ни Ca, ни Mg. Но они могут быть объяснены тем, что в результате гидролиза алюмосиликатных соединений почвы в водную вытяжку переходят кальций и магний и из необменного состояния, особенно последний.

Во всяком случае повторные вытяжки из ненасыщенного чернозема дали близкие цифры — 0,0012% для Ca и 0,0044% для Mg. С другой стороны, при внесении в такой чернозем одного  $\text{MgCO}_3$ , без  $\text{CaCO}_3$ , в водных вытяжках также был найден кальций в тех же величинах — 0,0011—0,0015%.

При внесении в эту почву увеличивающихся доз одного  $\text{CaCO}_3$  количество воднорастворимого кальция увеличивается сначала очень слабо, но после пункта нейтрализации оно сразу резко повышается от 0,0051% при 45 мг-экв. до 0,0105% при 50 и 0,0257% при 55 мг-экв. Такой характер перехода кальция в воднорастворимое состояние был объяснен К. К. Гедройцем тем, что пока в поглощающий комплекс ненасыщенного чернозема введено недостаточное для полного насыщения почвы количество кальция этот последний очень прочно удерживается почвой, и при воздействии воды в раствор переходят сравнительно небольшие количества кальция; по чем ближе к точке насыщения, тем слабее связывается обменный кальций почвой и тем больше может перейти его в водную вытяжку, а «появление в почве даже небольшого избытка  $\text{CaCO}_3$  (сверх нейтрализации), остающегося в почве в неизменном состоянии, сразу чрезвычайно сильно повышает в почвенном растворе концентрацию иона Ca: количество кальция, извлекаемое водой из углекислого кальция в почвенных условиях, значительно больше, чем количество его, извлекаемое водой из поглощающего комплекса первоначального чернозема»<sup>1</sup>.

Это положение и эта закономерность в количествах воднорастворимого кальция подтверждаются и другими цифрами приведенных анализов, именно при внесении  $\text{CaCO}_3$  на фоне различных доз  $\text{MgCO}_3$ . Здесь также в водных вытяжках находятся небольшие и малоизменяющиеся количества Ca, пока количество внесенных углесолей не превышает емкости обмена почвы; но как только общая сумма  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  превышает 50—55 мг-экв., наблюдается резкий скачок в содержании кальция.

Однако при внесении  $\text{CaCO}_3$  на фоне 50 и 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  появляются уже другие факторы, изменяющие такой характер растворения внесенного  $\text{CaCO}_3$ . При внесении 100 мг-экв. одного  $\text{MgCO}_3$  в водной вытяжке было найдено 0,0012% Ca, но при внесении на этом фоне  $\text{CaCO}_3$  от 20 до 100 мг-экв. в водной вытяжке оказалось тоже только 0,0010—0,0011% кальция. Это может быть объяснено тем, что при внесении 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  приблизительно половина его (50 мг-экв.)

<sup>1</sup> К. К. Гедройц, Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация, «Хим. соц. земледелия», № 1, 1932 г., стр. 46, а также на стр. 110 зашого сборника.



Таблица 33

Урожай льна в опыте 1932 г. с известкованием почвы, полностью насыщен-  
ной Н<sup>+</sup> и обработанной 10 мг-экв. MgCO<sub>3</sub>.  
(в граммах на сосуд)

Схема опыта	№ сосуда	Зерно		Солома		Всего	
		по сосуд	средн.	по сосуд	средн.	по сосуд	средн.
Каменно-степной черно- зем, полн. насыщ. Н <sup>+</sup>	{ 1477	0	0	0	0	0	0
	{ 1478	0		0			
Он же, обработанный 10 мг-экв. MgCO <sub>3</sub> . . .	{ 1479	0	0	0	0	0	0
	{ 1480	0		0			
То же + 35 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	{ 1481	3,10	3,05	6,85	6,48	9,95	9,53
	{ 1482	3,00		6,10		9,10	
То же + 40 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	{ 1483	2,45	2,80	6,15	6,51	8,60	9,31
	{ 1484	3,15		6,87		10,02	
То же + 45 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	{ 1485	2,95	3,05	8,02	7,93	10,97	10,98
	{ 1486	3,15		7,85		11,00	
То же + 50 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	{ 1487	0	0	0	0	0	0
	{ 1488	0		0			

Таблица 34

Влияние магния при известковании на урожай льна при различных способах  
внесения MgCO<sub>3</sub> в почву полностью насыщенную Н<sup>+</sup>

Схема опыта	Урожай основного опыта в сосуде			Урожай вспомога- тельного опыта в сосуде		
	Всего	Зерно	% зерна	Всего	Зерно	% зерна
Без MgCO <sub>3</sub> и без CaCO <sub>3</sub> . . . . .	0	0	—	0	0	—
10 мг-экв. MgCO <sub>3</sub> . . . . .	0	0	—	0	0	—
» » + 35 мг-экв. CaCO <sub>3</sub> . . . . .	10,22	1,35	13	9,53	3,05	33
» » + 40 мг-экв. » . . . . .	10,17	2,28	22	9,31	2,80	30
» » + 45 мг-экв. » . . . . .	0	0	—	10,98	3,05	28
» » + 50 мг-экв. » . . . . .	0	0	—	0	0	—

совершенном способе введения магния в почвенный поглощающий комплекс лен дает нормальный урожай и при соотношении 10 мг-экв. MgCO<sub>3</sub>+45 мг-экв. CaCO<sub>3</sub>. Кроме того, когда магний входит в почвенный поглощающий комплекс действительно в количестве 10 мг-экв., то он не только не понижает процент зерна от общего урожая, но повышает его даже и в случаях еще неполной нейтрализации обменного Н<sup>+</sup> почвы общей суммой нейтрализаторов<sup>1</sup>. Это видно из следующих цифр в таблице 35.

<sup>1</sup> Ср. с таблицей 30 данного отчета.

Таблица 35

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы	Урожай основного опыта в г/сосул			Урожай дополнительного опыта в г/сосул		
	Всего	Зерно	% зерна	Всего	Зерно	% зерна
CaCO <sub>3</sub> 45 . . . . .	13,02	3,10	24	—	—	—
CaCO <sub>3</sub> 35+10 MgCO <sub>3</sub> . . . . .	10,82	1,95	12	9,53	3,05	33
CaCO <sub>3</sub> 50 . . . . .	6,15	1,05	17	—	—	—
CaCO <sub>3</sub> 40+10 MgCO <sub>3</sub> . . . . .	10,17	2,28	22	9,31	2,80	30

Все эти факты указывают на то, насколько различно влияние магния, находящегося в почве в обменном состоянии, от влияния его при содержании в почве в виде простой соли — MgCO<sub>3</sub>.

Опыт с овсом. Все условия постановки опыта с овсом по вопросу о соотношении между Ca и Mg были те же, что и в опыте со льном; только схема опыта была несколько более сокращенной.

Посев овса был произведен 17 мая, уборка в стадии созревания — 30 июля. Схема опыта и урожай общей массы овса представлены в табл. 36. Подробные результаты опыта даны в таблице 37.

Таблица 36

Урожай общей массы овса в опыте 1932 г. с разным соотношением между Ca и Mg на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup> (в граммах на сосуд)

CaCO <sub>3</sub> в мг-экв. на 100 г почвы	MgCO <sub>3</sub>	в мг-экв. на 100 г почвы			
		0	10	25	100
0	0	0	0	0	0
10	4,80	14,78	16,28	0	0
20	15,66	17,39	17,48	0	0
30	16,61	15,72	17,44	0	0
40	17,62	16,99	16,88	0	0
50	18,34	22,30	15,80	0	0
55	17,15	18,58	16,66	0	0
60	18,21	15,29	16,03	0	0
80	16,71	15,93	15,90	0	0
100	15,75	14,78	14,40	0	0

Примечание. На исходном каменностенном черноземе по НРК общий урожай — 15,81 г.

Результаты опыта показывают, что овес является значительно менее чувствительным растением, чем лен, к изучаемым в этом опыте факторам. В отличие от льна он гораздо лучше переносит как избыточную кислотность почвы, так и избыточное известкование. В то время как лен начинал развиваться более или менее нормально на почве,

Урожай овса в опыте 1932 г. с разным соотношением между кальцием и магнием на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>

Схема опыта		№ сосудов	Зерно		Солома		Всего		% зерна от общего урожая
Высело в мг-вкл. на 100 г почвы			по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	
MgCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>								

Основное удобрение: 0,2г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,2г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

0	0	{ 1 2	0	0	0	0	0	0	—
»	10	{ 3 4	1,54 0,79	(1,16)	4,97 2,30	(3,63)	6,51 3,09	(4,80)	24
»	20	{ 5 6	6,75 7,27	7,01	8,78 8,52	8,65	15,53 15,79	15,66	44
»	30	{ 7 8	7,30 7,70	7,50	8,92 9,30	9,11	16,22 17,00	16,61	45
»	40	{ 9 10	8,42 7,80	8,11	9,70 9,32	9,51	18,12 17,12	17,62	46
»	50	{ 11 12	8,12 8,77	8,44	9,80 10,00	9,90	17,92 18,77	18,34	46
»	55	{ 13 14	6,54 6,92	6,73	11,00 9,85	10,42	17,54 16,77	17,15	39
»	60	{ 15 <sup>1</sup> 16	3,15 2,75	2,95	15,00 15,52	15,26	18,15 18,27	18,21	16
»	80	{ 17 18	2,45 2,57	2,51	14,20 14,20	14,20	16,65 16,77	16,71	15
»	100	{ 19 20	2,37 2,37	2,37	13,67 13,10	13,38	16,04 15,47	15,75	15
10	0	{ 21 22	0	0	0	0	0	0	—
»	10	{ 23 24	6,32 7,15	6,73	7,00 9,10	8,05	13,32 16,25	14,78	45
»	20	{ 25 26	8,83 6,45	7,64	11,50 8,00	9,75	20,33 14,45	17,39	45
»	30	{ 27 28	6,88 7,34	7,11	8,55 8,67	8,61	15,43 16,01	15,72	46
»	40	{ 29 30	7,67 8,03	7,85	8,75 9,53	9,14	16,42 17,56	16,99	46
»	50	{ 31 32	5,60 8,45	7,53	13,03 17,50	15,26	18,63 25,95	(22,30)	34
»	55	{ 33 <sup>2</sup> 34	3,07 3,72	3,39	14,62 15,75	15,19	17,69 19,47	18,58	18

<sup>1</sup> В сосудах № 15—20 вкл. много подгона с зелеными метелками.

<sup>2</sup> В сосудах с № 33 по 40 вкл. и с 49 по 60 много подгона с зелеными метелками.

Таблица 37 (продолжение)

Схема опыта		№ сосудов	Зерно		Солома		Всего		% зерна от об- щего урожая
Внесено в кг-экв. на 100 г почвы			по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>								
10	60	{ 35 36 }	{ 2,80 2,40 }	2,60	{ 14,76 10,62 }	12,69	{ 17,56 13,02 }	15,29	17
»	80	{ 37 38 }	{ 2,87 2,77 }	2,82	{ 11,82 14,39 }	13,10	{ 14,69 17,16 }	15,93	17
»	100	{ 39 40 }	{ 2,42 2,93 }	2,67	{ 11,30 12,92 }	12,11	{ 13,72 15,85 }	14,78	18
25	0	{ 41 42 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	—
»	10	{ 43 44 }	{ 6,47 6,60 }	6,53	{ 9,13 10,37 }	9,75	{ 15,60 16,97 }	16,28	40
»	20	{ 45 46 }	{ 7,72 7,88 }	7,80	{ 10,07 9,30 }	9,68	{ 17,79 17,18 }	17,48	44
»	30	{ 47 48 }	{ 8,15 7,75 }	7,95	{ 9,45 9,53 }	9,49	{ 17,60 17,28 }	17,44	45
»	40	{ 49 50 }	{ 3,63 4,02 }	3,82	{ 12,72 13,40 }	13,06	{ 16,35 17,42 }	16,88	22
»	50	{ 51 52 }	{ 2,40 3,07 }	2,73	{ 11,74 14,40 }	13,07	{ 14,14 17,47 }	15,80	17
»	55	{ 53 54 }	{ 2,78 3,25 }	3,01	{ 13,80 13,50 }	13,65	{ 16,58 16,75 }	16,66	18
»	60	{ 55 56 }	{ 2,97 3,25 }	3,11	{ 12,70 13,15 }	12,92	{ 15,67 16,40 }	16,03	19
»	80	{ 57 58 }	{ 2,80 3,13 }	2,97	{ 13,20 12,67 }	12,93	{ 16,00 15,80 }	15,90	18
»	100	{ 59 60 }	{ 1,92 3,27 }	2,60	{ 10,65 12,97 }	11,81	{ 12,57 16,24 }	14,41	18
100 мг- экв.	0	61—62	Всходы были, но погибли в стадии 2-го листа						
»	10	63—64							
»	20	65—66							
»	30	67—68							
»	40	69—70							
»	50	71—72							
»	55	73—74							
»	60	75—76							
»	80	77—78							
»	100	79—80							
Первонач. на- менностепной чернозем по НРК . . . . .		81 82	6,37 6,52	6,44	9,70 9,12	9,41	16,07 15,64	15,85	41

полностью насыщенной Н<sup>+</sup> только при 25 мг-экв. СаСО<sub>3</sub>, овес растет уже при 10 мг-экв., а при 20 мг-экв. дает уже вполне нормальный урожай в 15,6 г на сосуд. При избыточном известковании лен уже полностью погибал при 55 мг-экв. СаСО<sub>3</sub>, овес дает урожай даже и при 100 мг-экв. Падение урожая овса от избытка извести проявляется однако довольно сильно на зерне, начиная с дозы в 60 мг-экв., когда вместо 7—8 г зерна получалось 2—3 г зерна на сосуд. Вместе с этим овес, так же как и лен, совершенно не переносит одного MgCO<sub>3</sub> на этой почве. По всем дозам MgCO<sub>3</sub> овес давал с большим запозданием слабые всходы, которые вскоре погибали. Причины гибели овса при внесении в почву, полностью насыщенную Н<sup>+</sup>, одного MgCO<sub>3</sub> достаточно ясны: недостаток кальция как питательного вещества, так как необменный кальций не доступен растениям, и ядовитое действие катиона магния, не уравновешенного катионом кальция. Губительное действие MgCO<sub>3</sub> исправляется однако при дозах его в 10 и 25 мг-экв., как и для льна, внесением СаСО<sub>3</sub>; при этом в отличие от льна овес переносит очень широкие пределы в соотношении Са к Mg, и внесение 10 мг-экв. или 100 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> на фоне одной и той же дозы MgCO<sub>3</sub> давало совершенно одинаковый эффект по урожаю общей массы овса. Но вместе с этим значение определенного соотношения между кальцием и магнием проявляется и для овса в урожаях его зерна, как это видно из таблицы 38. Цифры показывают, что при избыточном известковании еще только в 55 мг-экв. начинается уже некоторое понижение выхода зерна от общего урожая овса, а при 60 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> процент зерна уменьшается почти в 3 раза; фенологическими наблюдениями было отмечено, что, начиная с 60 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> и до конца схемы, у овса развивалось очень много зеленого подгона, не дававшего зерна. Однако введение магния в общую сумму нейтрализаторов исправляет это вредное действие извести при избыточных ее количествах, создавая очевидно более благоприятное отношение Са : Mg в почвенном растворе.

Таблица 38

Влияние магния при известковании на выход зерна в урожае овса на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы			Общий урожай в г/сосуд	Зерно в г/сосуд	% зерна от общего урожая
СаСО <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	Сумма			
50	0	50	18,34	8,44	46
40	10	»	16,99	7,85	46
55	0	55	17,15	6,73	39
30	25	»	17,44	7,95	45
60	0	60	18,21	2,95	16
50	10	»	22,30	7,53	34

Основные выводы по опытам 1932 г. о значении соотношения Са : Mg на почве, полностью насыщенной водородом, сводятся к следующему:

1. «Этими опытами нам удалось доказать с несомненностью существование взаимного антагонизма между кальцием и магнием в почвенных культурах» (К. К. Г е д р о й ц).

2. Гибель растений (льна) при избыточном известковании на почве, полностью насыщенной водородом, может быть объяснена (до известных пределов избытка извести) нарушением благоприятного соотношения между обменными кальцием и магнием при избыточном известковании.

3. Исправление неблагоприятного соотношения между обменными Са и Mg при избыточном известковании путем замены части вносимого СаСО<sub>3</sub> углекислым магнием создает условия, при которых растения получают возможность нормально развиваться при том же избытке внесенных углесолей (до известного предела).

4. Значение теории Лёва для почвенных условий может быть выявлено путем учета именно только обменного Са и Mg; избыток внесенных углесолей, не прореагировавших с кислой почвой, особенно MgСО<sub>3</sub>, повидному затушевывает имеющиеся здесь законности по значению отношения Са : Mg.

5. Установленное Лёвом в физиологических опытах оптимальное отношение Са : Mg для льна и овса, как 1 : 1, будет иметь для почвенных условий повидному другие величины, зависящие между прочим от степени насыщенности почвы и степени избыточного известкования.

Необходимость регулирования известного равновесия между Са и Mg в почвенных условиях имеет особенное значение при избыточном сверх емкости обмена известковании почв, мало содержащих обменного магния.

ж) Опыт № 10. Влияние времени внесения СаСО<sub>3</sub> на эффект известкования

#### *А. Вольская*

Этот небольшой опыт на 35 сосудов имел целью установить, оказывает ли какое-нибудь влияние на урожай растений во всех предыдущих опытах по известкованию почвы, полностью насыщенной водородом, непосредственное, незадолго перед посевом внесение СаСО<sub>3</sub>. Опыт был поставлен следующим образом. Четыре навески почвы, полностью насыщенной водородом (тот же образец, что и во всех опытах 1932 г.), были смешаны с углекислым кальцием (аптекарский мел) за четыре месяца до набивки в сосуды — 31 декабря 1931 г. СаСО<sub>3</sub> вносился по расчету 20 мг-экв. на 100 г почвы, 40, 50 и 100. Перемешанная с СаСО<sub>3</sub> почва была оставлена в больших тазах до весны и поддерживалась при влажности 60% влагоемкости. Пятая навеска почвы стояла в тех же условиях без внесения СаСО<sub>3</sub>.

Весной, 15 апреля, эта почва после подсушки на воздухе была набита в сосуды. Одновременно набивались сосуды по такой же схеме с непосредственным внесением СаСО<sub>3</sub>. Во все сосуды вносилось полное удобрение: 0,2 г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,2 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KN<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; под почвой в сосудах был положен промытый песок — 255 г на сосуд.

Посев овса и льна был произведен 17 мая; уборка овса — 28 июля, льна — 1 августа. Урожайные данные представлены в таблице 39. Результат этого опыта достаточно ясен. Время внесения СаСО<sub>3</sub> не ока-

Влияние времени внесения  $\text{CaCO}_3$  на эффект известкования почвы, полностью насыщеней Н.  
(урожаи в г на сосуд)

Способ внесения $\text{CaCO}_3$	Весовое $\text{CaCO}_3$ , на 100 г почвы в кг-опт.	Урожай пшеницы						Урожай овса												
		№ по-судов	Зерно		Сезона		Всего	№ по-судов	Зерно		Сезона		Всего							
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее								
Непосредственно при заливке	0	{ 83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	20	{ 84	0	0	0	2,80	2,80	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		{ 85	0	0	0	3,15	3,15		2,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	{ 86	0	0	0	8,20	10,87	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		{ 87	2,67	2,37	2,07	9,10	11,17		11,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	55	{ 88	2,07	0	0	0	0	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
{ 89		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	{ 90	0	0	0	0	0	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	{ 91	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
{ 92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Предварительно до заливки	0	{ 93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	{ 94	0	0	0	0,22	0,22	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		{ 95	0	0	0	0,62	0,62		0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	{ 96	0	0	0	9,88	11,28	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		{ 97	1,40	1,57	1,75	9,32	11,07		11,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	55	{ 98	1,75	0	0	0	0	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
{ 99		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	{ 100	0	0	0	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	{ 101	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
{ 102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Основное удобрение: 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3$  и 0,2 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

зывает в условиях опыта никакого влияния на получающиеся от известкования результаты. При избыточном известковании в 55 и 100 мг-экв. лен потибают независимо от времени внесения  $\text{CaCO}_3$ . Овес также дает одинаковые урожаи как при заблаговременном, так и при непосредственном при набивке внесении  $\text{CaCO}_3$ .

О ходе нейтрализации почвы, полностью насыщенной водородом, углекислым кальцием дают некоторое представление цифры рН, приведенные в таблице 40 (электрометрическое определение в водной суспензии 1 : 1).

Цифры показывают, что нейтрализация углекислым кальцием происходит (в условиях опыта) очень быстро. В связи с этим реакция почвы перед посевом оказывается совершенно одинаковой, вносить ли  $\text{CaCO}_3$  задолго до посева или более или менее непосредственно перед посевом.

Таким образом этот опыт опровергает все попытки объяснять причину гибели растений при избыточном известковании в опытах К. К. Гедройца влиянием непосредственного, перед посевом, внесения  $\text{CaCO}_3$  в такую сильно кислую почву, как каменистопесчаный чернозем, полностью насыщенный Н<sup>+</sup>.

Таблица 40

Определение рН в почвах вегетационного опыта по влиянию времени внесения  $\text{CaCO}_3$  на эффект известкования на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>  
(анализы А. Вольской)

Дозы $\text{CaCO}_3$ в мг-экв. на 100 г почвы	1-е опред.	2-е опред.	3-е опред.	4-е опред. перед посевом дозой 10/V	
	Тотчас после внесения $\text{CaCO}_3$ 31/XII 1931 г.	Через день после внесения $\text{CaCO}_3$ 2/I 1933 г.	Через 7 дней после внесения $\text{CaCO}_3$ 7/I 1933 г.	В сосудах с заблаговременным внесением $\text{CaCO}_3$	В сосудах с непосредственным при набивке внесением $\text{CaCO}_3$
0	3,10	3,43	3,0	2,72	2,74
20	4,90	4,56	4,13	3,70	3,77
40	6,41	5,93	5,52	5,02	4,98
55	6,90	7,54	7,35	6,56	6,58
100	7,06	7,85	7,70	7,33	7,34

в) Опыт № 11 с различными видами и дозами доломитов на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>.

А. Вольская

Параллельно с опытами по совместному внесению  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  для изучения роли соотношения Са : Mg К. К. Гедройцем были поставлены в том же 1932 г. опыты с доломитами. Доломиты рассматривались как материал, могущий нейтрализовать кислотность ненасыщенных почв так же, как и  $\text{CaCO}_3$ , но в то же время поддерживать в почве правильное соотношение между кальцием и магнием при избыточном их внесении. Вместе с тем учитывалось, что различные доломиты могут обладать разными свойствами в отношении растворимости их  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  и вообще их химического состава. Поэтому опыты с доломитами ставились в двух направлениях: два опыта были

с различными дозами от 0 до 200 мг-экв. на 100 г почвы одного и того же доломита и два опыта — с различными видами доломитов, изменявшихся только в двух дозах — оптимальной (45 мг-экв.) и избыточной (90 мг-экв.).

**Опыт с дозами доломита.** Все условия постановки этого опыта: почва, питательные растворы и т. д., были те же, что и в основном опыте со льном по соотношению Са : Mg. Доломит для опыта был получен из Казани от проф. Ищерекова и содержал 57,4% СаСО<sub>3</sub> и 39,9% MgСО<sub>3</sub>. Образец был просеян через сито 0,17 мм. Доломит вносился непосредственно при набивке сосудов и так же, как обычно, растирался с 50 г песка для лучшего перемешивания с почвой. Опыт ставился с двумя растениями: льном и горчицей. Набивка сосудов была произведена 27 мая; посев льна и горчицы — 28 мая. Уборка льна — 16 августа, горчицы — 1 августа. Урожайные данные по льну представлены в таблице 41.

Из приведенной таблицы видно, что по мере нейтрализации кислотности почвы доломитом лен начинает развиваться все лучше и при дозе в 45 мг-экв. дает оптимальный урожай (по зерну). После 45 мг-экв. лен еще растет при 50 мг-экв., 55 и отчасти при 60 мг-экв. доломита, но уже не образует зерна. Если сопоставить урожай льна по доломиту с урожаями по СаСО<sub>3</sub> из основного опыта (табл. 42), то увидим, что действие доломита отличается от действия СаСО<sub>3</sub> в двух направлениях: с одной стороны, доломит дает более высокие урожай общей массы льна, чем известь, и гибель льна наступает при более высоких дозах доломита, чем при СаСО<sub>3</sub>; но с другой стороны, по этому образцу<sup>1</sup> доломита получается значительно меньший выход зерна, чем по СаСО<sub>3</sub><sup>2</sup>.

Таблица 41

Урожай льна и рН в опыте 1932 г. с дозами доломита на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup> (в г на сосуд)

Доломит из Казани 1932 г.		Мг сосудов	Зерно		Сосиска		Всего		рН <sup>1</sup> после уборки урожая
в мг-вн. на 100 г почвы	в г на сосуд		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	

Основное удобрение: 0,2 г N в NaNO<sub>3</sub> + 0,2 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

10	2,37	{ 1245 1246	0	0	0	0	0	0	3,44
45	3,56	{ 1247 1248	0}	0	{ 0,25 0,35	0,30	{ 0,25 0,35	0,30	3,83
20	4,74	{ 1249 1250	0}	0	{ 2,75 4,65	3,70	{ 2,75 4,75	3,75	4,34

<sup>1</sup> Среднее из двух сосудов. Анализы А. Вольской.

<sup>2</sup> В ниже излагаемом опыте с разными доломитами будет видно, что имеются и такие доломиты, которые почти не снижают процента зерна в урожаях льна по сравнению с СаСО<sub>3</sub>.

Таблица 41 (продолжение)

Доломит на Казани 1932 г.		№ сосудов	Зерно		Сожена		Всего		рН после уборки урожая
в мг-м. на 100 г почвы	в г на сосуд		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
25	5,93	{ 1251 1252 }	{ 0,05 0,05 }	0,05	{ 8,05 8,05 }	8,05	{ 8,10 8,10 }	8,10	4,72
30	7,11	{ 1253 1254 }	{ 0,43 0,57 }	0,50	{ 9,90 9,35 }	9,62	{ 10,33 9,92 }	10,12	5,01
35	8,30	{ 1255 1256 }	{ 0,95 0,60 }	0,77	{ 10,95 10,65 }	10,80	{ 11,90 11,25 }	11,57	5,33
40	9,48	{ 1257 1258 }	{ 1,60 1,00 }	1,30	{ 11,25 10,30 }	10,77	{ 12,85 11,30 }	12,07	5,65
45	10,67	{ 1259 1260 }	{ 1,75 2,37 }	2,06	{ 10,40 9,70 }	10,05	{ 12,15 12,07 }	12,11	6,03
50	11,85	{ 1261 1262 }	{ 0,67 0,25 }	0,46	{ 12,40 12,50 }	12,45	{ 13,07 12,75 }	12,91	6,40
55	13,04	{ 1263 1264 }	{ 0 0 }	0	{ 11,65 9,45 }	10,55	{ 11,65 9,45 }	10,55	6,78
60	14,22	{ 1265 1266 }	{ 0 0 }	0	{ 0 1,40 }	—	{ 0 1,40 }	—	6,96
65	15,41	1267—68	0	0	0	0	0	0	7,12
70	16,60	1269—70	0	0	0	0	0	0	7,05
80	18,96	1271—72	0	0	0	0	0	0	7,19
100	23,70	1273—74	0	0	0	0	0	0	7,25
200	47,40	1275—76	0	0	0	0	0	0	7,48

Таблица 42

Сравнение действия  $\text{CaCO}_3$  и доломита на почве, полностью насыщенной Н-, по урожаям льна (в г на сосуд)

Дозы в мг-м. на 100 г почвы	$\text{CaCO}_3$			Доломит		
	Общий урожай	Зерно	% зерна	Общий урожай	Зерно	% зерна
10	0	0	—	0	0	—
15	0	0	—	0,3	0	0
20	1,8	0	0	3,8	0,1	3
25	7,2	0,4	6	8,1	0,1	1
30	8,3	0,3	4	10,1	0,1	1
35	9,7	0,6	6	11,6	0,8	7
40	10,7	2,0	18	12,1	4,3	11
45	13,0	3,1	24	12,1	2,1	17
50	6,2	1,1	17	12,9	0,5	4
55	0	0	—	10,6	0	0
60	0	0	—	1,4	0	0
65	0	0	—	0	0	—

В этом опыте обращает на себя внимание тот факт, что лен полностью гибнет уже при 65 мг-экв. доломита, тогда как в опыте 1931 г. с известкованием на 5 растениях лен давал хороший урожай при 80 мг-экв. доломита. Вместе с тем по своему валовому химическому составу эти два доломита очень близки. В доломите 1931 г. было 58,6%  $\text{CaCO}_3$  и 38,2%  $\text{MgCO}_3$ , в этом доломите содержалось 57,4%  $\text{CaCO}_3$  и 39,90%  $\text{MgCO}_3$ . Различное действие разных доломитов К. К. Гедройц объясняет, исходя из следующего предположения: «При применении в этом случае доломитов<sup>1</sup> нужно иметь в виду, что в них связь между углекислым кальцием и углекислым магнием очень различна в зависимости очевидно от их химического состава, а так же от их происхождения».

Результаты аналогичного опыта с дозами доломита на горчице приведены в таблице 43. Урожайные данные показывают, что и по отношению к горчице этот образец доломита оказался менее эффективным, чем доломит в опыте 1931 г. Правда, в опыте 1931 г. с известкованием на пяти растениях горчица гибла по  $\text{CaCO}_3$  уже при 55 мг-экв., а по доломиту в этом опыте 1932 г. она гибнет только при 65—70 мг-экв., однако того эффекта, который давал доломит в 1931 г., т. е. хороший урожай горчицы при 80 мг-экв., с этим образцом доломита на горчице, как и на льне, получить не удалось. Помимо того что здесь могут играть роль свойства этого доломита, одной из возможных причин такого эффекта от него является еще количество питательных растворов, которые были даны в этом опыте. Дело в том, что обычно в опытах 1930 и 1931 гг. К. К. Гедройц давал по 0,1 г N и по 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  на маленький сосуд (500 г почвы). В 1932 г. он увеличил эту дозу до 0,2 г N и  $\text{P}_2\text{O}_5$  как в основном опыте по соотношению Ca : Mg, так и в этом опыте с дозами доломита. Когда определилась картина развития растений в этом последнем опыте и оказалось, что в данном случае доломит проявил себя менее эффективно, чем доломит 1931 г., К. К. Гедройц поставил несколько сосудов с той же почвой и с доломитом 1931 г.<sup>2</sup> при двух его дозах — 45 и 90 мг-экв. на 100 г почвы по следующей схеме:

1) 0,1 г N в  $\text{NaNO}_3 + 0,1$  г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , т. е. обычно применявшиеся К. К. Гедройцем дозы;

2) 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3 + 0,2$  г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , т. е. двойное количество, которое применялось в опыте 1932 г. с дозами доломита;

3) 0,1 г N в  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 0,1$  г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4 + 0,05$  г MgO в  $\text{MgSO}_4$ , т. е. те количества и формы питательных солей, которые употреблялись в 1931 г. в опыте с известкованием на пяти растениях, когда доломит 1931 г. из НИУ давал хороший урожай при 80 мг-экв. его.

Урожайные данные льна и горчицы, полученные по этим сосудам, приведены в таблице 44.

Из результатов этого небольшого проверочного опыта обнаруживается, что двойная доза N и  $\text{P}_2\text{O}_5$  незначительно изменяет урожай льна и горчицы при дозе доломита в 45 мг-экв.; но при дозе того же доломита в 90 мг-экв. двойное количество питательных солей оказы-

<sup>1</sup> К. Гедройц имеет здесь в виду создание правильного соотношения Ca : Mg.

<sup>2</sup> Доломит 1931 г. был получен на НИУ один раз в 1931 г., другой раз в 1932 г. на основании анализа, приложенного к образцу, полученному в 1931 г. Но все же по видимому это были несколько различные образцы.

Урожай горчицы в опыте 1932 г. с дозами доломита на почве, полностью насыщенной Н

(в г на сосуд)

Доломит на Казани 1932 г.		№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
в мг-ов. на 100 г почвы	в г на сосуд.		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Основное удобрение 0,2 г N в $\text{NaNO}_3$ + 0,2 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$								
10	2,37	{ 1277 1278 }	0	0	0	0	0	0
15	3,56	{ 1279 1280 }	0	0	0	0	0	0
20	4,74	{ 1281 1282 }	0,70 } 0,70 }	0,70	1,62 } 3,87 }	(2,75)	2,32 } 4,57 }	(3,45)
25	5,93	{ 1283 1284 }	1,32 } 1,82 }	1,57	4,60 } 7,80 }	(6,20)	5,92 } 12,62 }	(9,27)
30	7,11	{ 1285 1286 }	1,97 } 2,17 }	2,07	8,07 } 9,10 }	8,58	10,04 } 11,27 }	10,65
35	8,30	{ 1287 1288 }	2,47 } 2,25 }	2,36	8,32 } 9,40 }	8,86	10,79 } 11,65 }	11,22
40	9,48	{ 1289 1290 }	2,34 } 2,27 }	2,30	9,70 } 9,92 }	9,81	12,04 } 12,19 }	12,11
45	10,67	{ 1291 1292 }	1,18 } 0,58 }	0,88	9,40 } 10,70 }	10,05	10,58 } 11,28 }	10,93
50	11,85	{ 1293 1294 }	0,02 } 0,13 }	0,07	10,82 } 11,90 }	11,36	10,84 } 12,03 }	11,43
55	13,04	{ 1295 1296 }	0 } 0 }	0	10,80 } 11,45 }	11,12	10,80 } 11,45 }	11,12
60	14,22	{ 1297 1298 }	0 } 0 }	0	4,45 } 8,22 }	(6,33)	4,45 } 8,22 }	(6,33)
65	15,41	{ 1299 1300 }	0 } 0 }	0	0 } 2,47 }	—	0 } 2,47 }	—
70	16,60	{ 1301 1302 }	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0
80	18,96	{ 1303 1304 }	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0
100	23,70	{ 1305 1306 }	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0
200	47,40	{ 1307 1308 }	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0	0 } 0 }	0

Действие доломита на почву, полностью насыщенной N, при различном составе питательных растворов

Состав питательных растворов	Доломит из НИУ 1931 г.					
	45 мг-экв.			90 мг-экв.		
	Зерно	Солома	Всего	Зерно	Солома	Всего
	В г на сосуд			В г на сосуд		
<b>Лен</b>						
0,1 г N в $\text{NaNO}_3$ + 0,1 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . . . . .	1,7	9,8	11,4	1,2	8,1	9,3
0,2 г N в $\text{NaNO}_3$ + 0,2 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . . . . .	1,2	12,7	13,8	0	0,3	0,3
0,1 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + 0,1 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$ + 0,05 г MgO в $\text{MgSO}_4$ . . . . .	2,3	8,8	11,1	1,5	7,3	8,8
<b>Горчица</b>						
0,1 г N в $\text{NaNO}_3$ + 0,1 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . . . . .	1,6	5,9	7,5	0	6,7	6,7
0,2 г N в $\text{NaNO}_3$ + 0,2 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . . . . .	1,7	7,6	9,3	0	5,8	5,8
0,1 г N в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + 0,1 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$ + 0,05 г MgO в $\text{MgSO}_4$ . . . . .	1,1	5,8	6,9	0	8,2	8,2

вает губительное влияние на развитие льна и несколько понижает урожай горчицы. Третья комбинация питательных растворов с  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{MgSO}_4$ , применявшаяся в 1931 г. в опыте с известкованием, не оказала существенного влияния на действие доломита по сравнению с первой комбинацией.

Опыт с различными видами доломитов. Этот опыт имел задачей изучить действие различных доломитов с точки зрения создания правильного соотношения между кальцием и магнием при их внесении в почву. Опыт ставился на том же черноземе, полностью насыщенном водородом, который был вообще в опытах 1932 г. Основное удобрение в сосудах было дано в количестве 0,1 г N в  $\text{NaNO}_3$  и 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , т. е. доза N и  $\text{P}_2\text{O}_5$  была вдвое меньше, чем в предыдущем опыте с дозами доломита. Различные доломиты — всего 6 образцов — вносились в двух дозах: 45 мг-экв. на 100 г почвы — оптимальная доза по действию  $\text{CaCO}_3$  в опытах этого года — и 90 мг-экв. — двойная, избыточная доза. Опыт ставился с двумя растениями — со льном и горчицей.

Набивка сосудов с внесением доломитов была произведена 20 июня; посев — 21 июня. Уборка обоих растений производилась в стадии созревания: льна — 26 августа, горчицы — 16 августа. Урожайные данные опыта приведены в таблицах 45 и 46.

Результаты опыта обнаруживают, что в то время как по  $\text{CaCO}_3$  при избыточной дозе в 90 мг-экв. оба растения погибают очень скоро после появления всходов, при внесении доломитов в той же дозе и лен

Урожай льна в опыте 1932 г. с различными видами доломитов на поже, полностью намыченной Н.  
(в г на сосуд)

Таблица 45

Доломиты	45 мг-эв. из 100 г поже						90 мг-эв. из 100 г поже												
	Зерно			Солема			Всего			Зерно			Солема			Всего			
	№ сосудов	по сосудам	среднее	№ сосудов	по сосудам	среднее	№ сосудов	по сосудам	среднее	№ сосудов	по сосудам	среднее	№ сосудов	по сосудам	среднее	№ сосудов	по сосудам	среднее	
СаСО <sub>3</sub> . . . . .	{ 1391 1392	{ 2,27 2,29	{ 8,62 8,82	{ 10,89 11,11	{ 1393 1394	{ 0 0	{ 0 0	{ 11,0 11,1	{ 1395 1396	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	{ 0 0	
Из ННУ 1932 г. . . . .	{ 1397 1398	{ 1,82 2,18	{ 9,00 8,68	{ 10,82 10,86	{ 1399 1400	{ 0,27 0	{ — —	{ 10,84 10,86	{ 1401 1402	{ 2,57 2,37	{ 2,47 —	{ 2,58 4,17	{ (3,38) —	{ 2,85 4,17	{ (3,54) —	{ 2,85 4,17	{ (3,54) —	{ 2,85 4,17	{ (3,54) —
Ананьевский . . . . .	{ 1401 1402	{ 0,72 0,92	{ 9,57 10,52	{ 10,29 11,44	{ 1403 1404	{ 2,57 2,37	{ 2,47 —	{ 10,87 10,86	{ 1405 1406	{ 0 0	{ 0 0	{ 1,45 0,35	{ (0,90) —	{ 1,45 0,35	{ (0,90) —	{ 1,45 0,35	{ (0,90) —	{ 1,45 0,35	{ (0,90) —
Щуровский № 4 . . . . .	{ 1405 1406	{ 1,95 2,00	{ 9,05 8,57	{ 11,00 10,57	{ 1407 1408	{ 0 0	{ 0 0	{ 10,78 10,57	{ 1409 1410	{ 0,67 0,73	{ 0,70 —	{ 4,02 5,97	{ 5,00 6,70	{ 4,69 6,70	{ 5,70 —	{ 4,69 6,70	{ 5,70 —	{ 4,69 6,70	{ 5,70 —
Подольский «ОО» . . . . .	{ 1409 1410	{ 0,72 2,05	{ 10,70 8,15	{ 11,42 10,20	{ 1411 1412	{ 0,67 0,73	{ 0,70 —	{ 10,81 10,20	{ 1413 1414	{ 1,95 1,45	{ 1,70 —	{ 1,22 2,75	{ 1,99 —	{ 1,22 2,75	{ 2,87 —	{ 1,22 2,75	{ 2,87 —	{ 1,22 2,75	{ 2,87 —
Из Казани 1932 г. . . . .	{ 1413 1414	{ 1,95 1,45	{ 9,00 9,97	{ 10,95 11,42	{ 1415 1416	{ 0 0,12	{ — —	{ 10,95 11,42	{ 1417 1418	{ 1,05 1,37	{ 1,21 —	{ 8,82 7,40	{ 8,41 —	{ 9,87 8,77	{ 9,32 —	{ 8,82 7,40	{ 8,41 —	{ 9,87 8,77	{ 9,32 —
Из ННУ 1931 г. . . . .	{ 1417 1418	{ 2,42 1,20	{ 9,10 10,45	{ 11,22 11,65	{ 1419 1420	{ 1,05 1,37	{ 1,21 —	{ 11,44 11,65											

Основное удобрение: 0,1 г N в NaNO<sub>3</sub> + 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

Урожай горчицы в опыте 1932 г. с различными видами доломитов на почве, полностью насыщенной N.  
(в г на сосуд)

Доломиты	45 мг-экв. на 100 г почвы				№ сосуда	50 мг-экв. на 100 г почвы				
	Зерно		Союза			Зерно		Союза		
	по соудам	срешне	по соудам	срешне		по соудам	срешне	по соудам	срешне	
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	{ 1,425	1,40	7,10	8,50	1,427	0	0	0	0	0
	{ 1,426	1,45	5,90	7,35	1,428	0	0	0	0	
Из НИУ 1932 г. . . . .	{ 1,431	1,60	6,45	8,05	1,433	0	0	4,50	4,50	4,40
	{ 1,432	1,45	5,58	7,03	1,434	0	0	4,30	4,30	
Аланьевский . . . . .	{ 1,435	1,40	4,85	6,25	1,437	0,40	0,52	6,85	6,85	7,17
	{ 1,436	1,20	5,25	6,45	1,438	0,65	0,52	6,45	6,45	
Щуровский № 4 . . . . .	{ 1,439	1,70	6,00	7,70	1,441	0	0	2,35	2,35	2,72
	{ 1,440	1,45	5,40	6,85	1,442	0	0	3,10	3,10	
Подольский «ОО» . . . . .	{ 1,443	1,40	6,10	7,50	1,445	0	0	5,20	5,20	5,25
	{ 1,444	1,45	6,30	7,75	1,446	0	0	5,30	5,30	
Из Каапн 1932 г. . . . .	{ 1,447	1,50	5,30	6,80	1,449	0	0	2,60	2,60	2,15
	{ 1,448	1,45	6,05	7,50	1,450	0	0	1,70	1,70	
Из НИУ 1931 г. . . . .	{ 1,451	1,65	5,88	7,53	1,453	0	0	7,40	7,40	6,66
	{ 1,452	1,53	6,00	7,53	1,454	0	0	5,80	5,80	

Основное удобрение: 0,1 г N в NaNO<sub>3</sub>+0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

и горчица развиваются более или менее нормально в зависимости от применявшегося доломита.

В таблице 47 приводятся данные по определению рН в сосудах этого опыта.

Таблица 47

Определения рН в почвах вегетационного опыта с различными видами доломитов на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>

(анализы А. Вольской).

Д о л о м и т ы	45 мг-экв. на 100 г почвы		90 мг-экв. на 100 г почвы	
	№ сосуд.	рН среднее из 2 сосудов.	№ сосуд.	рН среднее из 2 сосудов.
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	1391— 92	5,41	1394— 95	7,76
Доломит из НИУ 1932 г. . . . .	1397— 98	5,65	1399—1400	7,26
» Ананьевский . . . . .	1401—1402	5,51	1403—1404	6,96
» Щуровский № 4 . . . . .	1405—1406	5,51	1407—1408	7,26
» Подольский «ОО» . . . . .	1409—1410	5,56	1411—1412	7,81
» из Казани 1932 г. . . . .	1413—1414	5,68	1415—1416	7,21
» из НИУ 1931 г. . . . .	1417—1418	5,65	1419—1420	7,40

Цифры рН показывают, что больших различий в актуальной реакции почвы при внесении CaCO<sub>3</sub>, с одной стороны, и доломитов— с другой, при обеих дозах в 45 и 90 мг-экв. не получается, и таким образом величиной рН нельзя объяснить причину развития растений при внесении доломитов в сильно избыточной дозе (по которой однако при CaCO<sub>3</sub> растения погибали).

Химический состав доломитов по анализам солянокислых вытяжек из них, выполненных техником-аналитиком С. Поповым под непосредственным руководством К. К. Гедройца, приводится в таблице 48.

Для процентов CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub> приводятся также цифры, сообщенные Институтом строительных материалов, от которого были получены некоторые образцы доломитов для этого опыта. Несколько отличаясь от данных анализа С. Попова, они имеют значение, главным образом потому, что на основании их делались расчеты при внесении доломитов в вегетационные сосуды (на 460 г сухой почвы). Результаты анализа обнаруживают, что по валовому количеству CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub> многие доломиты более или менее одинаковы; выделяются только щуровский доломит пониженным содержанием MgCO<sub>3</sub> и ананьевский — одинаковым содержанием CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub> (по эквивалентам).

Одновременно с опытом с формами доломитов К. К. Гедройц поставил еще пару сосудов с почвой, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>, в которые были внесены 90 мг-экв. нейтрализаторов в виде CaCO<sub>3</sub>+CaSO<sub>4</sub>. Схема и урожайные данные этих сосудов даны в таблице 49. Результаты опыта обнаружили, что, несмотря на отсутствие магния, лен и горчица прекрасно развиваются и при 90 мг-экв., внесенных нейтрализаторов.

Таблица 48

Валовой анализ доломитов (20-процентная солиноидная вытяжка)<sup>1</sup>  
(анализом С. Попова)

Доломит	По анализу Института строительных материалов																	
	В г на 100 г доломита					МгСО <sub>3</sub> в %												
	Карбонатная вода	CO <sub>2</sub>	Потери от прокаливания		Нерастопимый остаток	SiO <sub>2</sub>	Полугорючая окислы		SO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>							
		окислов	сильных			глина	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										
Из НИУ 1932 г. . . . .	0,200	43,04	32,75	44,00	1,22	0,16	0,60	—	0,94	57,00	41,58	58,00	44,83	1160	996	1,16:1	49	44
Ананьевский . . . . .	0,620	44,40	22,16	46,12	2,00	0,20	1,20	0,96	0,24	53,50	45,00	53,40	43,17	1068	1028	1,03:1	46	44
Щуровский № 4 . . . . .	1,114	35,05	13,75	37,60	19,20	0,63	2,65	1,60	1,05	48,37	28,70	54,85	25,75	1037	613	1,7:1	57	33
Подольский «ОО» . . . . .	0,401	44,51	25,05	45,65	2,90	0,34	1,24	1,00	0,24	54,37	42,70	57,40	38,68	1148	921	1,2:1	50	40
Из Кавани 1932 г. . . . .	0,107	43,97	10,45	45,65	1,13	0,20	0,62	—	—	57,50	42,00	57,40	39,90	1165	942	1,2:1	50	40
Из НИУ 1931 г. . . . .	0,208	44,00	22,72	45,44	2,57	0,51	1,13	—	—	58,76	39,90	58,60	38,2	1200	881	1,4:1	52	38

<sup>1</sup> 5 г доломита обрабатывались 50 см<sup>3</sup> воды и прибавлялось 35 см<sup>3</sup> 20-процентной HCl; по выделению CO<sub>2</sub> вытяжка инвентарилась и фильтровалась.

При внесении  $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$  рН водной суспензии получается значительно более кислым, чем при внесении одного  $\text{CaCO}_3$  в эквивалентном количестве, рН по которому было равно 7,76<sup>1</sup>; по видимому здесь дело все-таки не в реакции, так как например по доломиту из НИУ 1931 г. реакция, так же как и по  $\text{CaCO}_3$ , была много щелочнее, чем в сосуде с  $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$ , именно рН было 7,4, а урожаем льна по доломиту все-таки получился в 6,6 г на сосуд.

В дополнение к характеристике доломитов в таблице 54 приводятся результаты анализа растворов, насыщенных доломитами. Растворы готовились следующим образом: 5 г доломита + 1 л дистиллированной воды помещались в цилиндры с притертыми пробками и настаивались в течение 4 дней при двукратном сильном взбалтывании ежедневно. После фильтрования растворы поступали в анализ.

Цифры таблицы 50 показывают, что относительная растворимость  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  у разных доломитов действительно различна. В то время как по соотношению между валовыми количествами Ca и Mg доломиты мало различались между собой (табл. 48), имея соотношение валовых Ca : Mg от 1:1 до 1,7:1, соотношение воднорастворимых Ca:Mg сильно колеблется от 1,8:1 до 4,2:1. Но вместе с этим общая растворимость всех доломитов оказывается несколько не меньшей, чем растворимость углекислого кальция, а даже большей, если судить по количеству сухого остатка; по анализу К. К. Г е д р о й ц а<sup>2</sup> сухой остаток из насыщенного раствора  $\text{CaCO}_3$  был 0,0914 г на литр, а по всем доломитам за исключением апаньевского сухой остаток оказался выше, чем 0,1000 г на литр.

Этот факт может до известной степени противоречить тому возможному предположению, что при 90 мг-экв. доломитов растения развиваются вследствие меньшей их растворимости и следовательно меньшего отрицательного влияния избытка внесенных доломитов, чем углекислого кальция.

Но вообще на основании всей совокупности приведенных данных вопрос о причинах положительного действия доломитов при избыточной дозе в 90 мг-экв. следует считать пока не вполне разрешенным.

Основные выводы по опытам с доломитами на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>, следующие:

1. «Между доломитами встречаются такие, избыточное внесение которых на сильно кислых почвах вовсе не вредит урожаю таких чувствительных к избыточному известкованию растений, как лен и горчица, но есть и такие, которые в этом случае почти губят эти растения; такое различие в их действии вовсе не находится в прямой зависимости от химического состава доломитов» (К. К. Г е д р о й ц).

2. Благоприятное действие некоторых доломитов при тех и з б ы т о ч н ы х дозах, при которых по одному  $\text{CaCO}_3$  растения гибнут, не может быть объяснено ни величиной рН ни степенью растворимости доломитов по сравнению с  $\text{CaCO}_3$ .

3. Выдвигая К. К. Г е д р о й ц е м точку зрения, что в благоприятном действии доломитов при избыточном их внесении в почву

<sup>1</sup> См. таблицу 47.

<sup>2</sup> См. последнюю статью К. К. Г е д р о й ц а об опытах с углесольми, помещенную в начале настоящего отчета на стр. 87.

Урожай овса в опыте 1932 г. с магнетитом на почве, полностью насыщенной водородом (в г на сосуд)

Схема опыта		№ сосудов	Общий урожай		Схема опыта		№ сосудов	Общий урожай	
Внесено			по сосудам	среднее	Внесено			по сосудам	среднее
в мг-экв. на 100 г почвы	в г на сосуд				в мг-экв. на 100 г почвы	в г на сосуд			

Основное удобрение: 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3 + 0,2$  г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Магнетит				Магнетит + $\text{CaCO}_3$					
2,5	1,53	{ 1311 1312 }	{ 0,27 0,35 }	0,31	5+95	3,06+23,75	{ 1335 1336 }	{ 16,35 17,85 }	17,10
5	3,06	{ 1313 1314 }	{ 0,42 2,08 }	—	20+80	12,2 + 20,0	{ 1337 1338 }	{ 21,57 17,50 }	19,53
10	6,12	{ 1315 1316 }	{ 0,50 0,37 }	0,43	35+65	21,4 + 16,25	{ 1339 1340 }	{ 16,25 13,67 }	14,96
20	12,24	{ 1317 1318 }	{ 0,15 0,15 }	0,15	50+50	30,6 + 12,5	{ 1341 1342 }	{ 14,40 12,40 }	13,40
35	21,42	{ 1319 1320 }	{ 0,14 0,07 }	(0,10)	Один $\text{CaCO}_3$				
50	30,6	{ 1321 1322 }	{ 0,12 0,14 }	0,13	50	12,5	{ 1343 1344 }	{ 15,90 14,12 }	15,01
На фоне 100 мг-экв. $\text{CaCO}_3$ Магнетит					65	16,25	{ 1345 1346 }	{ 17,33 16,64 }	16,98
2,5	1,53	{ 1323 1324 }	{ 16,12 15,62 }	15,87	80	20,0	{ 1347 1348 }	{ 16,75 16,35 }	16,55
5	3,06	{ 1325 1326 }	{ 18,25 15,35 }	16,80	95	23,75	{ 1349 1350 }	{ 12,65 15,25 }	13,95
10	6,12	{ 1327 1328 }	{ 16,32 14,40 }	15,36					
20	12,24	{ 1329 1330 }	{ 13,92 13,90 }	13,91					
35	21,42	{ 1331 1332 }	{ 10,00 14,55 }	12,27					
50	30,6	{ 1333 1334 }	{ 9,73 10,02 }	9,87					

Определения рН в водной суспензии почв вегетац. опыта с магнием на почве, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>  
(анализы А. Вольской)

О х о н а о ш н а	№ сосудов	рН средн. из 2 со- судов	Пр и м е ч а н и е
Магний — 2,5 мг-экв. на 100 г почвы . . . . .	1311—12	3,26	рН определялось элек- тродметрически в водной суспензии 1:1 после ги- бели всходов льна пер- вого посева
» 5 . . . . .	1313—14	3,60	
» 10 . . . . .	1315—16	4,23	
» 20 . . . . .	1317—18	5,05	
» 35 . . . . .	1319—20	6,13	
» 50 . . . . .	1321—22	6,76	
100 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> + 2,5 мг-экв. магния	1323—24	7,55	
» + 5 »	1325—26	7,51	
» + 10 »	1327—28	7,49	
» + 20 »	1329—30	7,53	
» + 35 »			
» + 50 »	1331—32	7,44	
95 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> + 5 мг-экв. магния	1333—34	7,57	
80 » + 20 »	1335—36	7,40	
65 » + 35 »	1337—38	7,41	
50 » + 50 »	1339—40	7,53	
	1341—42	7,26	
50 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	1343—44	6,58	
65 » » . . . . .	1345—46	7,48	
80 » » . . . . .	1347—48	7,51	
95 » » . . . . .	1349—50	7,54	

почву, полностью насыщенную кальцием. Почва — каменнотепной чернозем с 46,5 мг-экв. обменного кальция и 7,0 мг-экв. обменного магния и тот же чернозем, но полностью насыщенный одним кальцием путем промывания его 1,0 N раствором СаСl<sub>2</sub>. Навеска почвы на сосуд — 500 г воздушносухой; песок под почвой — 250 г. Основное удобрение на сосуд давалось в виде 0,1 г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KN<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.

Опыт ставился на восьми различных растениях. Посев всех растений был произведен 1 июля; уборка — в разные сроки по мере созревания растений.

Результаты опыта представлены в таблице 53.

Из прежних опытов К. К. Гедройца, опубликованных им самим, известно, что среди всех исследованных К. К. Гедройцем катионов при условии, что каждый из них полностью насыщает собою всю емкость обмена почвы, кальций занимает особое место; при насыщении почвы кальцием овес развивался нормально и давал урожай, не меньший, чем на первоначальном черноземе. Результаты

Урожай различных растений в опыте 1932 г. с почвой, полностью насыщенной кальцием (в г на сосуд)

Растение	Первонач. каменнестенной черлозем						Опыта, полностью насыщенной кальцием					
	Зерно		Солома		Всего		Зерно		Солома		Всего	
	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Овес . . . . .	{ 1489 1490	{ 4,50 3,90	{ 8,20 7,82	{ 3,01	{ 12,70 11,72	{ 12,21	{ 1459 1460	{ 4,00 4,40	{ 6,80 6,80	{ 10,80 11,20	{ 11,0	
Горчица . . . . .	{ 1491 1492	{ 4,25 1,35	{ 5,07 4,80	{ 4,93	{ 6,31 6,15	{ 6,23	{ 1461 1462	{ 4,30 1,00	{ 5,20 4,92	{ 6,50 5,92	{ 6,21	
Лен . . . . .	{ 1493 1494	{ 4,02 0,80	{ 5,55 4,35	{ 4,95	{ 6,57 5,20	{ 5,88	{ 1463 1464	{ 1,59 1,30	{ 5,77 4,65	{ 7,36 5,95	{ 6,65	
Лен по 0,1 г MgO и MgSO <sub>4</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	{ 1465 1466	{ 2,15 1,72	{ 5,75 5,15	{ 7,90 6,87	{ 7,38	
Клевер . . . . .	{ 1495 1496	{ — —	{ — —	{ —	{ 8,15 7,50	{ 7,82	{ 1467 1468	{ — —	{ — —	{ 5,20 4,95	{ 5,07	
Просо . . . . .	{ 1497 1498	{ 4,05 4,15	{ 9,56 10,20	{ 9,88	{ 13,61 14,35	{ 13,98	{ 1469 1470	{ 0,60 0,87	{ 5,22 4,90	{ 5,82 5,77	{ 5,80	
Гречиха . . . . .	{ 1499 1500	{ 3,95 4,35	{ 8,15 7,53	{ 7,84	{ 12,10 11,87	{ 12,00	{ 1471 1472	{ 4,60 3,95	{ 7,95 8,60	{ 12,55 12,55	{ 12,55	
Вика . . . . .	{ 1501 1502	{ 0,47 0,32	{ 8,20 8,50	{ 8,35	{ 8,67 8,82	{ 8,75	{ 1473 1474	{ 0,35 0,25	{ 6,77 6,03	{ 7,12 6,28	{ 6,70	
Люцерна . . . . .	{ 1503 1504	{ — —	{ — —	{ —	{ 6,15 6,80	{ 6,47	{ 1475 1476	{ — —	{ — —	{ 4,20 4,40	{ 4,30	

Основное удобрение: 0,1 г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.

излагаемого опыта обнаруживают, что имеется еще целый ряд растений, которые реагируют так же, как овес на почву, полностью насыщенную кальцием. Это — горчица, лен и гречиха, которые дали на этой почве (при отсутствии магния как питательного вещества) такой же урожай, как на первоначальном черноземе, содержащем кроме кальция еще 7 мг-экв. обменного магния. Вместе с тем имеется группа растений, которая очень чувствительна к отсутствию в почве обменного магния и на почве, полностью насыщенной одним кальцием, хотя и не гибнет, но дает урожай, меньший, чем на первоначальном черноземе. Особенно чувствительным в этом отношении оказывается просо, затем идут люцерна, клевер и вика.

Таким образом этот опыт, с одной стороны, подтверждает прежние выводы К. К. Гедройца о том, что, во-первых, катион кальция является безвредным для растений, даже если он полностью насыщает емкость обмена почвы, и, во-вторых, растения способны питаться не только обменным, но в отличие от кальция и необменным магнием; с другой стороны, этот опыт выявил группу растений, которые особенно чувствительны к недостатку в почве магния.

Результаты этого опыта ни в коей мере не противоречат выдвинутому К. К. Гедройцем положению о значении отношения  $Ca:Mg$  в почвенных культурах. Из всех вышеизложенных опытов К. К. Гедройца следует, что нарушение благоприятного соотношения между кальцием и магнием может происходить повидимому только в том случае, когда  $CaCO_3$  вносится в избытке сверх емкости поглощения данной почвы, когда он не реагирует уже с насыщенными основаниями почвы и остается в ней как таковой. В этом случае в почвенный раствор будет переходить воднорастворимого кальция больше, чем из почвы без наличия избытка  $CaCO_3$ . Для уравновешивания этого повышенного количества кальция в почвенном растворе уже не будет хватать того количества магния, который может переходить в почвенный раствор из необменного состояния (при отсутствии или недостатке в почве магния в обменном состоянии), и в почве будет налицо то нарушение в соотношении между кальцием и магнием, которое может привести к гибели тех или иных растений при избыточном внесении  $CaCO_3$ .

Опыт с почвой полностью насыщенной Са заканчиваются исследования К. К. Гедройца с искусственно приготовленными почвами по вопросам известкования.

Те краткие основные выводы, которые были сделаны выше при изложении этих опытов К. К. Гедройца, далеко не исчерпывают всего богатства фактов, полученных К. К. Гедройцем в опытах с почвой, полностью насыщенной водородом, которая по его мнению «действительно оказалась незаменимым объектом для изучения вопросов известкования». Но эта сторона исследований К. К. Гедройца, требующая глубокого изучения его опытов, выходит за пределы задач настоящего отчета.

Вопрос о соотношении между кальцием и магнием исследовался К. К. Гедройцем не только на искусственно приготовленной, но и на естественной, сильно кислой торфянистой почве.

Изложение этих опытов К. К. Гедройца дается ниже в статьях С. Г. Шедерова.

## 2. Опыты с известкованием на торфянистой почве

а) Опыт № 15. Действие  $\text{CaCO}_3$  и доломита на торфянистой почве

С. Г. Шедеров

Торфянистая почва для опыта получена из Охтенского лесничества. С этой почвой К. К. Гедройд работал и раньше и констатировал на ней вредное действие избытка извести. Рекогноспировочный опыт с этой почвой поставлен в июле 1931 г. в малых сосудах с 200 г воздушно-сухой почвы на сосуд. Полное удобрение внесено по 0,1 г питательного вещества на сосуд; азот дан в  $\text{NaNO}_3$ , фосфор и калий — в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Известь вносилась в следующих количествах: 0; 50; 100 и 250 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на 100 г воздушносухой почвы. Кроме того поставлено еще два сосуда; в один из них дан доломит в количестве 250 мг-экв. (соотношение кальция и магния в этом доломите равно 1:1), во второй сосуд внесена механическая смесь из 125 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и 125 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , т. е. в том же соотношении и в тех же абсолютных количествах, как и в сосуде с доломитом.

17 июля произведен посев горчицы. Вполне нормальные всходы и дальнейшее развитие растения получены по разным дозам извести и по доломиту; в сосуде же со смесью  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  всходы были неровные, развивались плохо и вскоре погибли. Пересевы этого сосуда горчицей и затем льном не дали положительных результатов.

Это резкое различие в действии одинаковых количеств  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  при одинаковом их соотношении, но внесенных в почву в одном случае в виде доломита, в другом — в механической смеси, объяснено К. К. Гедройдом неодинаковой растворимостью кальция и магния в одном и другом случаях. 25 июля поставлено еще 3 вегетационных сосуда с той же почвой. В один сосуд внесено 500 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , в другой — 500 мг-экв. доломита и в третий — 475 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и 25 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ .

И в этом случае общее количество кальция и магния в смеси было такое же, как и в сосуде с доломитом, но  $\text{MgCO}_3$  взято значительно меньше, чем  $\text{CaCO}_3$ ; в этих сосудах посеяна также горчица. Всходы и развитие растений вполне нормальны в обоих сосудах.

Урожайные данные представлены в таблице 54.

Таблица 54

№ сосудов	Содержание	Урожай в г на сосуд			
		Зерно	Стебель	Солома	Всего
216	0 . . . . .	0	0,1	1,4	1,5
217	50 мг-экв. $\text{CaCO}_3$ . . . . .	0,1	0,3	10,8	11,2
218	100 » $\text{CaCO}_3$ . . . . .	0,2	0,7	11,5	12,4
219	250 » $\text{CaCO}_3$ . . . . .	0,3	1,5	10,8	12,7
220	125 » $\text{CaCO}_3 + 12$ мг-экв. $\text{MgCO}_3$ . . . . .	0	0	0	0
221	250 мг-экв. доломита . . . . .	0,1	0,4	12,6	13,1
222	500 » $\text{CaCO}_3$ . . . . .	0,4	1,7	11,7	13,8
223	475 » $\text{CaCO}_3 + 25$ мг-экв. $\text{MgCO}_3$ . . . . .	0,4	1,5	12,2	14,1
224	500 мг-экв. доломита . . . . .	0	0	12,8	12,8

Из приведенных урожаев видно почти одинаковое положительное действие извести и доломита на горчицу во всех сосудах и резкое различие в действии смесей  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ; так, если по смеси в 125 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и 125 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  всходы погибли, то при ином соотношении между кальцием и магнием в смеси 475 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ —25 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  получен урожай не ниже, даже несколько выше, чем по эквивалентному количеству доломита.

Параллельно с увеличением доз извести увеличивается в урожаях и отношение зерна к соломе в сторону увеличения зерна. По доломиту в 250 мг-экв. сравнительно с эквивалентным количеством извести получено резкое снижение этого отношения в сторону уменьшения урожая зерна при несколько более высоком урожае соломы; по 500 мг-экв. доломита зерно совсем отсутствует, по эквивалентному же количеству извести отношение зерна к соломе довольно благоприятное; по смеси 475 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и 25 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  отношение это хотя и меньше, чем по 500 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , но все же еще достаточно высокое. В данном случае повторяется отмеченное в предыдущих опытах неблагоприятное действие магния на урожай зерна, проявляющееся в большей или меньшей степени в зависимости от количества его и формы, в какой этот элемент вносится в почву.

При сильном положительном в этом опыте действии 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  не проявилось вредного действия избытка его при 100 и 250 мг-экв.; не дало также понижения урожая и дальнейшее при расширении опыта увеличение извести до 500 мг-экв. Причины этого явления повидному в несколько более позднем посеве по сравнению с посевами, на которых проявилось вредное действие избытка извести, а также в содержании небольших количеств обменного магния в самой почве.

На следующий год в опытах с этой же почвой проявилось вредное действие на льне больших количеств извести, начиная со 100 мг-экв. и выше.

#### 6) Опыт № 16. Соотношение обменного Са. Mg на торфянистой почве

*С. Г. Шедеро*

В 1932 г. в продолжение работ по изучению действия на растение различных соотношений между кальцием и магнием К. К. Гедро й ц заложил большой опыт на торфянистой почве из того же Охтенского лесничества, откуда в 1931 г. взята почва для рекогносцировочного опыта. Эта почва содержала 12,6 мг-экв. обменного Са; 3,6 мг-экв. обменного Mg и 30,8 мг-экв. обменного водорода при 58,8 мг-экв. всей гидролитической кислотности (анализы К. К. Гедро й ц а).

Опыт состоит из восьми групп с разным в каждой группе содержанием  $\text{MgCO}_3$ , которое меняется от 0 в первой группе и до 100 мг-экв. в последней группе. В каждую из восьми групп внесен углекислый кальций в возрастающих количествах от 0 до 500 мг.-экв.

Средние урожай всего растения по этой схеме приведены в таблице 55. Урожай зерна и соломы по сосудам даются в табл. 56—59.

Таким образом в этой схеме имеются различные отношения между кальцием и магнием в количествах до 500 мг-экв. для первого и по

Таблица 55

Средние общие урожан льна на торфянистой почве в 1932 г.

CaCO <sub>3</sub> в мг-экв. на 100 г почвы	MgCO <sub>3</sub>	Урожай сухой массы в г на сосуд							
		0	5	10	20	35	50	75	100
0		5,7	30,0	25,2	1,8	0	0	0	0
40		32,2	32,5	34,0	36,0	35,3	21,2	0	0
25		34,3	32,2	37,3	36,9	33,2	24,4	0,4	0
50		36,7	36,8	32,1	25,8	—	6,8	0,5	0
75		31,1	24,8	19,1	16,8	—	5,1	0,4	0
100		—	16,9	15,6	—	—	3,3	0,6	0
150		14,8	20,4	24,5	15,7	14,4	—	0,2	0
200		—	18,5	24,8	—	8,4	—	0,2	0
300		13,6	21,2	16,2	—	12,1	—	0,2	0
400		19,2	22,8	23,7	—	15,0	—	0,4	0
500		22,2	27,0	21,8	23,6	20,0	9,0	0,4	0

100 мг-экв. для второго элемента. Опыт заложен в двух сериях сосудов; одна серия с овсом, другая — со льном. В сосуды вносилось по 1 300 г торфянистой почвы при влажности 40,8%, что составляет 923,3 г сухой почвы на сосуд.

Сосуды в этом опыте стеклянные, размеры их 15×20 см.

Так как внесение углекислого кальция в почву одновременно с MgCO<sub>3</sub> может воспрепятствовать последнему полностью прореагировать с почвой вследствие большей энергии поглощения кальция, чем магния, то перед основной набивкой сосудов производилось предварительное в течение одного месяца компостирование почвы в вегетационных сосудах с внесением в них соответствующих количеств MgCO<sub>3</sub>. Одновременно с этим даны питательные растворы в количестве 0,25 г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,25 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Компосты поставлены 2—8 марта, почва при этом увлажнялась до 70% от полной влагоемкости. Во время компостирования почва не поливалась; компосты хранились в полевой лаборатории при комнатной температуре.

2—4 апреля почва выгружена из сосудов, внесены соответствующие в почву каждого сосуда количества углекислого кальция и произведена основная набивка сосудов. 21 апреля произведена поливка сосудов с доведением почвы до 60% от полной ее влагоемкости (176%). 9 мая сосуды перенесены из лаборатории в вегетационный домик; 10 мая в одной серии сосудов произведен посев льна; 14 мая во второй серии сосудов посеян овес. Поливка из расчета 60% от полной влагоемкости почвы производилась 3 раза в день; один раз по весу и два раза по объему; в жаркие дни растения поливались дополнительно. Поливку требовалось довести до 80% от влагоемкости, но за недостатком дистиллированной воды сделать это не представлялось возможным.

С 13 по 15 мая зарегистрировано появление всходов льна, причем вовсе не появились всходы в группе с 100 мг-экв. MgCO<sub>3</sub> как в сосудах без CaCO<sub>3</sub>, так и в сосудах с разными количествами углекислого кальция; группы с 35, 50 и 75 мг-экв. MgCO<sub>3</sub> не дали всходов лишь

в сосудах с одним углекислым магнием, в сосудах же с тем или иным количеством  $\text{CaCO}_3$  всходы были нормальные за исключением группы с 75 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , в которой всходы значительно запоздали; также задержались всходы в контрольных, без  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , сосудах. Пересевы сосудов, не давших всходов, льном, а затем и горчицей не дали положительных результатов. 27 мая отмечено появление желтых пятен на листьях льна в сосудах с одним  $\text{MgCO}_3$  в количестве 20 мг-экв; лен в этих сосудах резко отстал от нормально развивающихся растений в других сосудах этой группы, получивших то или иное количество  $\text{CaCO}_3$ .

31 мая начало намечаться на всходах понижающее действие избытка извести. 7 июня уже более определенно проявилось вредное действие больших количеств извести, которое полностью отразилось в урожаях льна.

Во время вегетации растений по разным причинам разбито 35 сосудов со льном и овсом, почва с растениями переносилась при этом в другие сосуды, но это в той или иной степени сказалось на урожаях, вследствие чего получены значительные расхождения в урожаях параллельных сосудов. Урожай этих сосудов в таблицах урожаев заключены в скобки. Известкование и здесь отразилось на продолжительности вегетации льна. Нормально по времени наступило созревание льна по 0; 10; 25 и 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  независимо от количества внесенного  $\text{MgCO}_3$ . Дальнейшее увеличение доз углекислого кальция уже удлиняет продолжительность вегетации, вследствие чего уборка льна, начатая 4 августа, продолжалась до 7 сентября, причем и к этому времени растения по большим количествам  $\text{CaCO}_3$  не созрели и убраны в зеленом виде. Урожай льна приведены в таблице 56.

В контрольных сосудах без  $\text{MgCO}_3$  и без  $\text{CaCO}_3$  (№ 177 и 178) получен низкий урожай льна — 5,7 г. Внесение 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  уже дало резкое, почти в 6 раз, повышение урожая (32,2 г). Следующие две дозы тоже повышают урожай, но не так резко. По 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  получен максимальный урожай. Дальнейшее увеличение извести уже понижает урожай; 75 мг-экв. дают небольшое падение, 100 мг-экв. дали резкое, больше чем в 2 раза, понижение урожая от максимального; примерно такие же урожаи получены по 150, 200 и 300 мг-экв; 400 мг-экв. повысили урожай льна, 500 мг-экв. дали дальнейший прирост. В других группах по разным фонам  $\text{MgCO}_3$  получена такая же зависимость урожаев от количества внесенного  $\text{CaCO}_3$ .

Небольшой урожай льна получен на этой почве и без внесения  $\text{CaCO}_3$ , с другой стороны, большие количества извести только понижают, но не губят урожай льна, что объясняется наличием в почве обменного магния (3,6 мг-экв.).

Иного характера действие на этой почве  $\text{MgCO}_3$ . Небольшие его количества в 5 мг-экв., недостаточные еще для нейтрализации поглощенного водорода, дают предельный по  $\text{MgCO}_3$  урожай 30,0 г; 10 мг-экв. дали небольшое понижение; 20 мг-экв. резко снизили урожай до 1,3 г; а 35 мг-экв. и последующие дозы совершенно губят растение.

Таким образом и  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  до известного для каждого элемента предела действуют положительно на урожай льна; дальней-

Урожай льна в 1932 г. в опыте действия  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  на торфянистой почве

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
$\text{MgCO}_3$	$\text{CaCO}_3$		Зерно		Солона		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
0 мг-экв. $\text{MgCO}_3$	0	{ 177	0,1	0,1	{ 6,3	5,6	{ 6,4	5,7
		{ 178	0,1		{ 5,0		{ 5,1	
	10	{ 179	9,9	9,9	{ 21,2	22,3	{ 31,1	32,2
		{ 180	9,9		{ 23,4		{ 33,3	
	25	{ 181	9,8	10,2	{ 23,4	24,1	{ 33,2	34,3
		{ 182	10,5		{ 24,9		{ 35,4	
	50	{ 183	13,6	14,5	{ 21,8	22,2	{ 35,4	36,7
		{ 184	15,4		{ 22,6		{ 38,0	
	75	{ 185	12,5	12,0	{ 23,2	19,1	{ 35,7	31,1
		{ 186	11,5		{ 15,0		{ 26,5	
	100	{ 187	—	—	{ —	—	{ —	—
		{ 188	3,8		{ 10,7		{ 14,6	
	150	{ 189	3,1	4,1	{ 9,0	10,7	{ 12,1	14,8
		{ 190	5,0		{ 12,5		{ 17,5	
	200	{ 191	4,7	—	{ 13,4	—	{ 18,1	—
		{ 192	2,7		{ 8,7		{ 4,4	
300	{ 193	4,4	3,9	{ 9,4	9,7	{ 13,8	13,6	
	{ 194	3,4		{ 10,1		{ 13,5		
400	{ 195	5,5	6,0	{ 11,8	13,2	{ 17,3	19,2	
	{ 196	6,5		{ 14,7		{ 21,2		
500	{ 197	6,0	6,8	{ 14,6	15,4	{ 20,6	22,2	
	{ 198	7,6		{ 16,3		{ 23,9		
6 мг-экв. $\text{MgCO}_3$	0	{ 199	0,2	0,2	{ 30,6	29,8	{ 30,8	30,0
		{ 200	0,2		{ 28,9		{ 29,1	
	10	{ 201	10,3	9,9	{ 24,9	(22,6)	{ 35,2	(32,5)
		{ 202	9,5		{ 20,2		{ 29,7	
	25	{ 203	6,2	(8,8)	{ 20,4	(23,4)	{ 26,6	(32,2)
		{ 204	11,3		{ 26,5		{ 37,8	
	50	{ 205	12,0	11,9	{ 25,4	24,9	{ 37,4	36,8
		{ 206	11,9		{ 24,4		{ 36,3	
	75	{ 207	7,8	7,1	{ 19,1	(17,7)	{ 26,9	(24,9)
		{ 208	6,5		{ 16,3		{ 22,8	
	100	{ 209	4,6	4,8	{ 11,6	12,1	{ 16,2	16,9
		{ 210	4,9		{ 12,6		{ 17,5	
	150	{ 211	5,8	5,7	{ 15,3	14,7	{ 21,1	20,4
		{ 212	5,6		{ 14,1		{ 19,7	
	200	{ 213	6,4	5,4	{ 14,8	(13,1)	{ 21,2	(18,5)
		{ 214	4,5		{ 11,4		{ 15,9	
300	{ 215	5,6	6,4	{ 14,0	14,8	{ 19,6	(21,2)	
	{ 216	7,1		{ 15,7		{ 22,8		
400	{ 217	6,9	6,9	{ 14,9	(15,9)	{ 21,8	22,8	
	{ 218	7,0		{ 16,8		{ 23,8		
500	{ 219	7,4	8,5	{ 16,0	(18,5)	{ 23,4	27,0	
	{ 220	9,5		{ 21,0		{ 30,6		

Таблица 56 (продолжение)

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд						
			Зерно		Солома		Всего		
MgCO <sub>2</sub>	CaCO <sub>2</sub>		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
10 мг-экв. MgCO <sub>2</sub>	0	{ 221 222 }	{ 0 0 }	0	{ 25,0 25,4 }	25,2	{ 25,0 25,4 }	25,2	
	10	{ 223 224 }	{ 10,5 10,3 }	10,4	{ 24,0 23,3 }	23,6	{ 34,5 33,6 }	34,0	
	25	{ 225 226 }	{ 12,0 11,8 }	11,9	{ 25,6 25,1 }	25,4	{ 37,6 36,9 }	37,3	
	50	{ 227 228 }	{ 10,5 10,4 }	10,4	{ 21,7 21,6 }	21,7	{ 32,2 32,0 }	32,1	
	75	{ 229 230 }	{ 5,3 5,3 }	5,3	{ 15,4 12,3 }	13,8	{ 20,7 17,6 }	19,1	
	100	{ 331 232 }	{ 4,2 4,6 }	4,4	{ 11,9 11,6 }	11,7	{ 16,1 15,2 }	15,6	
	150	{ 233 234 }	{ 7,2 6,8 }	7,0	{ 17,3 17,7 }	17,5	{ 24,5 24,5 }	24,5	
	200	{ 235 236 }	{ 4,8 5,9 }	5,4	{ 19,6 19,2 }	19,4	{ 24,4 25,1 }	24,8	
	300	{ 237 238 }	{ 5,2 4,2 }	4,7	{ 11,3 11,7 }	11,5	{ 16,5 15,9 }	16,2	
	400	{ 239 240 }	{ 7,7 7,5 }	7,6	{ 17,3 14,8 }	16,1	{ 25,1 22,3 }	23,7	
	500	{ 241 242 }	{ 5,5 7,5 }	6,5	{ 14,1 16,5 }	15,3	{ 19,6 24,0 }	21,8	
	20 мг-экв. MgCO <sub>2</sub>	0	{ 243 244 }	{ 0 0 }	0	{ 1,3 2,3 }	1,8	{ 1,3 2,3 }	1,8
		10	{ 245 246 }	{ 10,5 10,7 }	10,6	{ 27,3 23,5 }	25,4	{ 37,8 34,2 }	36,0
		25	{ 247 248 }	{ 11,5 11,8 }	11,7	{ 25,3 25,2 }	25,2	{ 36,8 37,0 }	36,9
		50	{ 249 250 }	{ 8,3 8,3 }	8,3	{ 17,7 17,4 }	17,5	{ 26,0 25,7 }	25,8
		75	{ 251 252 }	{ 3,8 4,5 }	4,1	{ 11,8 13,6 }	12,7	{ 15,6 18,1 }	16,8
		100	{ 253 254 }	{ 3,5 (1,7) }	—	{ 15,1 (6,3) }	—	{ 18,6 (8,0) }	—
		150	{ 255 256 }	{ 3,7 3,6 }	3,7	{ 12,0 12,0 }	12,0	{ 15,7 15,6 }	15,7
200		{ 257 258 }	{ (0,8) (1,4) }	—	{ (2,9) (4,3) }	—	{ (3,7) (5,7) }	—	
300		{ 259 260 }	{ (0,5) (1,2) }	—	{ (3,9) (4,5) }	—	{ (4,4) (5,7) }	—	
400		{ 261 262 }	{ 5,4 (2,1) }	—	{ 13,4 (7,3) }	—	{ 18,8 (9,4) }	—	
500		{ 263 264 }	{ 6,8 7,4 }	7,1	{ 15,6 17,4 }	16,5	{ 22,4 24,8 }	23,6	

Примечание. В скобки взяты урожай разбитых во время опыта сосудов.

Таблица 56 (продолжение)

Дано в кг-эка. на 100 г почвы		№ сосудов.	Урожай в г на сосуд						
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>		Зерно		Солона		Всего		
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
35 мг-эка. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 265 266 }	{ (0) 0 }	0	{ (0) 0 }	0	{ (0) 0 }	0	
	10	{ 267 268 }	{ 2,1 1,9 }	2,0	{ 33,1 33,5 }	33,3	{ 35,2 35,4 }	35,3	
	25	{ 269 270 }	{ 9,6 9,7 }	9,7	{ 24,4 22,7 }	23,5	{ 34,0 32,4 }	33,2	
	50	{ 271 272 }	{ (0) 2,3 }	—	{ (0,8) 10,9 }	—	{ (0,8) 13,2 }	—	
	75	{ 273 274 }	{ 1,7 2,5 }	—	{ (6,2) 18,4 }	—	{ (7,9) 20,9 }	—	
	100	{ 275 276 }	{ 0,5 (1,9) }	—	{ 21,8 (5,8) }	—	{ 22,3 (7,7) }	—	
	150	{ 277 278 }	{ 3,6 3,2 }	3,4	{ 11,2 10,8 }	11,0	{ 14,8 14,0 }	14,4	
	200	{ 279 280 }	{ 2,3 1,6 }	1,9	{ 7,2 5,8 }	6,5	{ 9,5 7,4 }	8,4	
	300	{ 281 282 }	{ 2,2 3,4 }	2,8	{ 8,0 10,5 }	9,3	{ 10,2 13,9 }	12,1	
	400	{ 283 284 }	{ 4,5 3,8 }	4,2	{ 11,3 10,4 }	10,8	{ 15,8 14,2 }	15,0	
	500	{ 285 286 }	{ 4,8 6,0 }	(5,4)	{ 12,7 16,6 }	(14,6)	{ 17,5 22,6 }	(20,0)	
	50 мг-эка. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 287 288 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
		10	{ 289 290 }	{ 0,7 0,7 }	0,7	{ 19,2 21,9 }	20,5	{ 19,9 22,6 }	21,2
		25	{ 291 292 }	{ 5,8 5,1 }	5,4	{ 14,3 23,6 }	19,0	{ 20,1 28,7 }	24,4
50		{ 293 294 }	{ 0,8 0,9 }	0,9	{ 3,5 8,3 }	5,9	{ 4,3 9,2 }	6,8	
75		{ 295 296 }	{ 0,6 1,0 }	0,8	{ 4,0 4,6 }	4,3	{ 4,6 5,6 }	5,1	
100		{ 297 298 }	{ 0,1 0,6 }	0,3	{ 2,1 3,8 }	3,0	{ 2,2 4,4 }	3,3	
150		{ 299 300 }	{ 1,6 1,0 }	1,3	{ 9,2 4,6 }	—	{ 10,8 5,6 }	—	
200		{ 301 302 }	{ 0,4 2,3 }	—	{ 2,5 11,7 }	—	{ 2,9 14,0 }	—	
300		{ 303 304 }	{ 1,2 3,3 }	—	{ 5,1 14,9 }	—	{ 6,1 18,2 }	—	
400		{ 305 306 }	{ 2,0 5,5 }	—	{ 7,6 17,8 }	—	{ 9,6 23,3 }	—	
500		{ 307 308 }	{ 2,2 1,7 }	1,9	{ 8,1 5,9 }	7,0	{ 10,3 7,6 }	9,0	

Примечание. В скобках даны урожаи разбитых за время опыта сосудов.

Таблица 56 (продолжение)

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>		Верно		Солома		Всего	
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
75 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 309 310 }	0	0	0	0	0	
	10	{ 311 312 }	0	0	0	0	0	
	25	{ 313 314 }	0	0	0,4 0,3	0,4		
	50	{ 315 316 }	0	0	0,5 0,4	0,5		
	75	{ 317 318 }	0	0	0,4 0,4	0,4		
	100	{ 319 320 }	0	0	0,4 0,8	0,6		
	150	{ 321 322 }	0	0	0,1 0,2	0,2		
	200	{ 323 324 }	0	0	0,3 0,1	0,2		
	300	{ 325 326 }	0	0	0,3 0,1	0,2		
	400	{ 327 328 }	0	0	0,3 0,5	0,4		
	500	{ 329 330 }	0	0	0,3 0,4	0,4		
	100 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 331 332 }	0	0	0	0	
		10	{ 333 334 }	0	0	0	0	
		25	{ 335 336 }	0	0	0	0	
		50	{ 337 338 }	0	0	0	0	
		75	{ 339 340 }	0	0	0	0	
		100	{ 341 342 }	0	0	0	0	
		150	{ 343 344 }	0	0	0	0	
200		{ 345 346 }	0	0	0	0		
300		{ 347 348 }	0	0	0	0		
400		{ 349 350 }	0	0	0	0		
500		{ 351 352 }	0	0	0	0		

шее же увеличение количества одного  $\text{CaCO}_3$  резко понижает урожай, а увеличивающиеся количества  $\text{MgCO}_3$  губят растение. Совместное же внесение в почву этих элементов взаимно нейтрализует в той или иной степени это вредное действие кальция или магния; так по избыточным дозам  $\text{CaCO}_3$  получены следующие урожаи льна на фоне разных количеств  $\text{MgCO}_3$  (табл. 57).

Из приведенной таблицы видно, что внесение в почву 5 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  значительно повысило урожай льна по большим количествам  $\text{CaCO}_3$ . 10 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , хотя и в меньшей степени, но все же дали повышение урожая; внесение 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  к большим дозам извести также повидимому сказало положительно, но так как значительное количество сосудов этой группы разбито, не представляется возможным сделать определенных выводов; 35 мг-экв. и последующее увеличение дозы  $\text{MgCO}_3$  уже проявило обратное, т. е. отрицательное, действие.

Более сильное положительное действие проявил углекислый кальций на фоне вредного действия избыточных количеств  $\text{MgCO}_3$ . Действие  $\text{CaCO}_3$  на урожай льна по разным фонам углекислого магния видно из таблицы 58.

Если положительное действие  $\text{CaCO}_3$  на 5 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  может быть объяснено нейтрализацией кальцием остатка кислотности почвы, не нейтрализованной одним магнием, то положительное действие  $\text{CaCO}_3$  на фоне 10; 20; 35 и 50 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  наряду с резким падением урожаев по одному  $\text{MgCO}_3$  объясняется исправлением углекислым кальцием вредного действия углекислого магния путем установления более или менее благоприятных в данных пределах соотношений между кальцием и магнием.

Изменение соотношения между кальцием и магнием сказало не только на общем урожае, но и на отношении зерна к соломе. На более высокие относительные урожаи зерна получены по 50 и 75 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ . Уменьшение, как и увеличение, этих количеств углекислого кальция вызвало более сильное падение урожаев зерна, чем соломы. Внесение 5 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  уже понизило выход зерна по оптимальным дозам  $\text{CaCO}_3$ . Дальнейшее увеличение  $\text{MgCO}_3$  продолжает еще сильнее понижать отношение зерна к соломе и доводит его и на фоне  $\text{CaCO}_3$  почти до нуля. В сосудах по 5 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  без углекислого кальция при высоком урожае соломы в 30 г урожай зерна составляет 0,2 г, и по 10 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  не получено вовсе зерна при урожае соломы в 25,2 г на сосуд;  $\text{CaCO}_3$  в той или иной степени понижает вредное действие  $\text{MgCO}_3$ .

В другой серии сосудов, засеянных овсом, всходы появились на 3-й и 4-й дни после посева. Наилучшее состояние всходов по 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  в группе без  $\text{MgCO}_3$ , с увеличением дозы извести намечается отставание всходов; такая же зависимость от количества внесенной извести проявилась и на всходах в группах с 5, 10 и 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  при общем нормальном состоянии всходов в этих группах. В группах с 35 и 50 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  заметна общая подавленность всходов; лучшее же состояние всходов внутри этих групп имеет место в пределах между 50 и 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ ; по мере же увеличения, как и уменьшения дозы  $\text{CaCO}_3$ , состояние всходов ухудшается. В группе с 75 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  нормальные всходы появились на 400 и 500 мг-экв.

Урожен льна по избыточным дозам СаСО<sub>3</sub> (в г на сосуд)

	100 мг-экв.	150 мг-экв.	200 мг-экв.	300 мг-экв.	400 мг-экв.	500 мг-экв.
СаСО <sub>3</sub>						
МgСО <sub>3</sub>						
0 . . . . .	14,6	14,8	—	13,6	19,2	22,2
5 . . . . .	16,9	20,4	18,5	21,2	22,8	27,0
10 . . . . .	15,1	24,5	24,8	16,2	23,7	21,8
20 . . . . .	18,6	15,7	—	—	18,8	23,6
30 . . . . .	—	14,4	8,9	12,1	15,0	20,0

Урожен льна по разным дозам МgСО<sub>3</sub>

	5 мг-экв.	10 мг-экв.	20 мг-экв.	35 мг-экв.	50 мг-экв.	75 мг-экв.	100 мг-экв.
МgСО <sub>3</sub>							
СаСО <sub>3</sub>							
0 . . . . .	30,2	25,2	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
10 . . . . .	32,5	34,1	36,0	35,3	21,2	0	0
25 . . . . .	32,2	37,3	36,9	33,2	24,4	0,4	0
50 . . . . .	36,8	32,1	25,8	—	6,8	0,5	0

$\text{CaCO}_3$ , с уменьшением же дозы углекислого кальция заметно отставание всходов. Всходы в группе с 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  редкие и сильно задержаны.

Через 4 дня после появления всходов в группе с одним  $\text{CaCO}_3$ , а также в группах с 5, 10 и 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  всходы овса выравнивались во всех сосудах; в контрольных сосудах (без  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ) всходы несколько отстали. В группах с 35, 50 и 75 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  также произошла общая нивелировка в развитии всходов по разным дозам  $\text{CaCO}_3$  за исключением сосудов с одним  $\text{MgCO}_3$ , в которых с увеличением дозы углекислого магния проявляется резкое понижение всходов. В группе с 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  всходы сильно отстают во всех сосудах.

В стадии кущения овса побурели листья растений в сосудах с 20, 35 и 50 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , по первой же дозе  $\text{CaCO}_3$  в 10 мг-экв. на фоне тех же количеств  $\text{MgCO}_3$  растения сохранили нормальную окраску. В группе с 75 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  бурая окраска на листьях появилась как в сосудах без  $\text{CaCO}_3$ , так и по  $\text{CaCO}_3$ , причем степень поражения уменьшается с увеличением дозы  $\text{CaCO}_3$  и по 400 и 500 мг-экв. растения сохраняют зеленую окраску. В группе с 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  листья побурели во всех сосудах;  $\text{CaCO}_3$  здесь уже не оказывает положительного действия.

28 июня в группе по 75 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  овес выбросил метелки в сосудах, получивших  $\text{CaCO}_3$ , в сосудах без  $\text{CaCO}_3$  растения погибли, также погибли к этому времени растения в сосудах с 35 и 50 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , не получивших  $\text{CaCO}_3$ ; в группе сосудов с 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  растения погибли и в сосудах, получивших  $\text{CaCO}_3$ . В остальных сосудах овес выбросил метелки 2 июля, причем в сосудах с 5, 10 и 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ , не получивших  $\text{CaCO}_3$ , в верхней части метелок вместо цветков появились белые пленки; с увеличением дозы  $\text{MgCO}_3$  поражение захватывало большую часть метелки; в других сосудах этих групп, получивших  $\text{CaCO}_3$ , метелки с нормальными колосками. В группе с 35 и 50 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  метелки с белыми пленками вместо колосков появились в сосудах с 10 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ ; по 25 мг-экв. углекислого кальция и выше метелки с нормальными колосками. В группе с 75 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  поражены верхушки метелок во всех сосудах независимо от содержания в них того или иного количества  $\text{CaCO}_3$ . Известкование не повлияло на период вегетации овса, и созревание растений наступило почти одновременно во всех сосудах. Уборка произведена с 1 по 3 августа. Урожай овса приведены в таблице 59.

Из приведенных урожайных данных видно, что действие известки на овес не такое резкое, как в этом же опыте со льном; другое отличие проявилось в том, что углекислый кальций только повышает урожай овса на данной почве и в тех количествах, в каких применялся в рассматриваемом опыте, не проявилось вредного действия его избытка. Углекислый магний в количествах 5, 10 и 20 мг-экв. усиливает положительное действие  $\text{CaCO}_3$ , притом положительное влияние 10 и 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  проявляется лишь с 25 мг-экв. углекислого кальция, на 10 же мг-экв. последнего эти количества  $\text{MgCO}_3$  понижают действие  $\text{CaCO}_3$ .

Углекислый магний за известным пределом резко понижает урожай овса, сводя его почти до нуля. Это вредное действие избытка

Урожай овса в 1922 г. в опыте «Действие СаСО<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub> на торфянистой почве»

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
MgCO <sub>3</sub>	СаСО <sub>3</sub>		З е р н о		С о л о н а		В с е г о	
			По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее
0 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	1	19,7	20,0	30,6	29,8	50,3	49,8
		2	20,3		28,9		49,2	
	10	3	23,3	22,8	36,9	37,1	60,2	59,9
		4	22,2		37,3		59,5	
	25	5	24,6	24,3	37,4	36,0	62,0	60,3
		6	24,0		34,6		58,6	
	50	7	28,2	27,3	37,0	36,3	65,2	63,6
		8	26,4		35,7		62,1	
	75	9	26,1	—	39,4	—	65,6	—
		10	(22,8)		(32,2)		(55,0)	
	100	11	26,9	26,8	39,9	39,2	66,8	66,0
		12	26,7		38,5		65,2	
	150	13	28,3	27,2	42,6	43,2	70,9	70,4
		14	26,0		43,8		69,8	
	200	15	28,1	27,8	43,0	42,2	71,1	70,0
		16	27,4		41,4		68,8	
	300	17	28,7	29,6	43,6	44,8	72,3	74,4
		18	30,5		46,0		76,5	
	400	19	28,7	29,0	48,1	48,5	76,8	77,5
		20	29,3		48,9		78,2	
	500	21	27,1	—	50,5	49,8	77,6	78,1
		22	29,4		49,2		78,6	
5 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	23	15,6	15,2	45,9	46,6	61,5	61,8
		24	14,7		47,3		62,0	
	10	25	24,2	24,7	39,7	39,5	63,9	64,2
		26	25,2		39,3		64,5	
	25	27	25,0	26,0	37,0	38,8	62,0	64,9
		28	27,1		40,6		67,7	
	50	29	28,8	29,2	41,0	40,6	69,8	69,8
		30	29,6		40,2		69,8	
	75	31	24,4	—	40,4	42,2	65,8	69,5
		32	30,1		44,0		74,1	
	100	33	27,8	28,4	37,8	37,5	65,6	65,9
		34	29,1		37,2		66,3	
	150	35	29,2	29,8	45,2	45,2	74,4	75,0
		36	30,5		45,1		75,6	
	200	37	29,7	30,1	45,4	45,0	75,1	75,1
		38	30,4		44,6		75,0	
	300	39	30,1	30,8	46,2	47,0	76,3	77,8
		40	31,4		47,9		79,3	
	400	41	28,9	28,6	52,1	50,3	81,0	78,9
		42	28,3		48,5		76,8	
	500	43	31,7	31,4	49,6	49,0	81,3	80,4
		44	31,1		48,3		79,4	

Примечание. В скобках даны урожай разбитых во время опыта сосудов.

Таблица 59 (продолжение)

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
			З е р н о		С о л о н а		В а с с	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>		По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее
10 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 45	13,5	14,1	{ 33,6	33,5	{ 47,1	47,6
		{ 46	14,7		{ 33,4		{ 48,1	
	40	{ 47	21,5	22,4	{ 34,7	35,5	{ 56,2	57,9
		{ 48	23,4		{ 36,3		{ 59,7	
	25	{ 49	22,4	24,7	{ 33,4	35,9	{ 55,8	—
		{ 50	27,0		{ 38,4		{ 65,4	
	50	{ 51	26,1	26,6	{ 38,4	38,6	{ 64,5	65,2
		{ 52	27,0		{ 38,8		{ 65,8	
	75	{ 53	29,1	27,5	{ 43,9	42,0	{ 73,0	69,5
		{ 54	25,9		{ 40,1		{ 66,0	
	100	{ 55	27,3	28,0	{ 44,2	42,5	{ 71,5	70,5
		{ 56	28,7		{ 40,8		{ 69,5	
	150	{ 57	29,6	28,9	{ 46,5	44,9	{ 76,1	73,6
		{ 58	28,1		{ 42,9		{ 71,0	
	200	{ 59	27,8	27,3	{ 43,4	43,4	{ 71,2	70,7
		{ 60	26,8		{ 43,4		{ 70,2	
300	{ 61	29,9	29,2	{ 47,4	47,3	{ 77,3	76,5	
	{ 62	28,4		{ 47,2		{ 75,6		
400	{ 63	30,4	29,8	{ 49,9	48,1	{ 80,3	77,9	
	{ 64	29,2		{ 46,3		{ 75,5		
500	{ 65	27,9	28,4	{ 50,3	49,6	{ 78,2	77,9	
	{ 66	28,8		{ 48,8		{ 77,6		
20 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 67	2,0	2,4	{ 16,3	17,4	{ 18,3	19,8
		{ 68	2,8		{ 18,6		{ 21,3	
	10	{ 69	22,4	22,6	{ 35,4	35,3	{ 57,8	57,9
		{ 70	22,9		{ 35,2		{ 58,2	
	25	{ 71	22,0	24,4	{ 35,7	37,2	{ 57,7	61,6
		{ 72	26,7		{ 38,8		{ 65,5	
	50	{ 73	29,1	27,7	{ 38,7	38,3	{ 67,8	66,0
		{ 74	26,3		{ 37,9		{ 64,2	
	75	{ 75	26,9	28,5	{ 39,2	41,6	{ 66,1	70,0
		{ 76	30,0		{ 44,0		{ 74,0	
	100	{ 77	27,2	27,7	{ 42,0	41,1	{ 69,2	68,3
		{ 78	28,1		{ 40,3		{ 74,4	
	150	{ 79	27,8	27,7	{ 42,5	43,3	{ 70,3	71,0
		{ 80	27,5		{ 44,1		{ 71,6	
	200	{ 81	27,4	26,1	{ 41,8	42,6	{ 69,2	68,9
		{ 82	24,9		{ 43,5		{ 68,4	
300	{ 83	29,6	30,7	{ 45,6	46,8	{ 75,2	77,5	
	{ 84	31,9		{ 47,9		{ 79,8		
400	{ 85	32,5	—	{ 48,6	—	{ 81,1	—	
	{ 86	(25,5)		{ (36,1)		{ (61,6)		
500	{ 87	32,9	31,9	{ 51,7	51,7	{ 84,6	83,6	
	{ 88	31,0		{ 51,7		{ 82,7		

Таблица 59 (продолжение)

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд						
			З е р н о		С о л о н а		В с е г о		
			По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>								
35 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 89 90 }	{ 0 0 }	0	{ 1,3 1,0 }	1,1	{ 1,3 1,0 }	1,1	
	10	{ 91 92 }	{ 14,6 14,6 }	14,6	{ 24,7 25,1 }	24,9	{ 39,3 39,7 }	39,5	
	25	{ 93 94 }	{ 24,1 24,0 }	24,1	{ 33,6 35,5 }	34,5	{ 57,7 59,5 }	58,6	
	50	{ 95 96 }	{ 25,6 25,6 }	25,6	{ 39,1 36,2 }	37,6	{ 64,7 61,8 }	63,2	
	75	{ 97 98 }	{ 26,7 28,1 }	27,4	{ 40,9 39,2 }	40,0	{ 67,6 67,8 }	67,4	
	100	{ 99 100 }	{ 26,7 26,1 }	26,4	{ 39,2 38,5 }	38,9	{ 65,9 64,5 }	65,3	
	150	{ 101 102 }	{ 30,4 25,2 }	27,8	{ 43,9 41,5 }	42,7	{ 74,3 66,7 }	70,5	
	200	{ 103 104 }	{ 29,6 28,0 }	28,9	{ 42,2 41,0 }	41,6	{ 71,9 69,0 }	70,4	
	300	{ 105 106 }	{ 30,3 29,0 }	29,7	{ 45,1 44,0 }	44,5	{ 75,3 73,0 }	74,2	
	400	{ 107 108 }	{ 29,3 27,9 }	28,6	{ 46,9 43,2 }	45,0	{ 77,2 71,1 }	74,3	
	500	{ 109 110 }	{ 27,4 27,2 }	27,3	{ 46,8 43,7 }	45,2	{ 74,2 70,9 }	72,5	
	50 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 111 112 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,3 }	0,4	{ 0,4 0,3 }	0,4
		10	{ 113 114 }	{ 0,4 0,9 }	0,7	{ 7,4 7,1 }	7,2	{ 7,8 8,0 }	7,9
		25	{ 115 116 }	{ 14,2 15,5 }	14,8	{ 23,5 24,4 }	24,0	{ 37,7 39,9 }	38,8
50		{ 117 118 }	{ 22,5 13,3 }	—	{ 30,4 29,9 }	30,2	{ 52,9 43,9 }	48,4	
75		{ 119 120 }	{ 24,3 22,2 }	23,3	{ 32,3 29,8 }	31,0	{ 56,6 52,0 }	54,3	
100		{ 121 122 }	{ 23,4 25,8 }	24,6	{ 32,0 33,1 }	32,6	{ 55,4 58,9 }	57,2	
150		{ 123 124 }	{ 21,7 23,7 }	22,7	{ 32,8 33,7 }	33,3	{ 54,5 57,4 }	56,0	
200		{ 125 126 }	{ 21,9 21,6 }	21,8	{ 31,9 30,8 }	31,3	{ 53,8 52,4 }	53,1	
300		{ 127 128 }	{ 20,7 23,0 }	21,8	{ 31,8 31,1 }	31,5	{ 52,5 54,1 }	53,3	
400		{ 129 130 }	{ 18,9 19,1 }	19,0	{ 33,2 31,8 }	32,5	{ 52,1 50,9 }	51,5	
500		{ 131 132 }	{ 21,6 19,6 }	20,6	{ 34,7 33,0 }	33,8	{ 56,3 52,6 }	54,4	

Таблица 59 (продолжение)

Дано в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Урожай в г на сосуд						
			З е р н о		С о л о м а		В с е г о		
			По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>								
75 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 133 134 }	{ 0 0 }	0	{ 0,2 0,1 }	0,2	{ 0,2 0,1 }	0,2	
	10	{ 135 136 }	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 2,5 2,2 }	2,3	{ 2,5 2,3 }	2,4	
	25	{ 137 138 }	{ 0,4 0,5 }	0,5	{ 5,7 5,7 }	5,7	{ 6,1 6,2 }	6,2	
	50	{ 139 140 }	{ 0,8 0,6 }	0,7	{ 6,4 6,5 }	6,5	{ 7,2 7,1 }	7,2	
	75	{ 141 142 }	{ 0,5 0,5 }	0,5	{ 6,3 5,9 }	6,1	{ 6,8 6,4 }	6,6	
	100	{ 143 144 }	{ 1,0 0,6 }	—	{ 7,5 6,0 }	6,8	{ 8,5 6,6 }	7,6	
	150	{ 145 146 }	{ 0,4 0,6 }	0,5	{ 6,7 6,6 }	6,7	{ 7,1 7,2 }	7,2	
	200	{ 147 148 }	{ 0,6 0,5 }	0,6	{ 6,8 7,0 }	6,9	{ 7,4 7,5 }	7,5	
	300	{ 149 150 }	{ 0,8 0,7 }	0,8	{ 7,8 6,5 }	7,1	{ 8,6 7,2 }	7,9	
	400	{ 151 152 }	{ 1,0 0,4 }	—	{ 6,7 6,2 }	6,6	{ 7,7 6,9 }	7,3	
	500	{ 153 154 }	{ 1,2 0 }	—	{ 7,5 6,7 }	—	{ 8,7 6,7 }	—	
	100 мг-экв. MgCO <sub>3</sub>	0	{ 155 156 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,2 }	0,3	{ — — }	—
		10	{ 157 158 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,3 }	0,3	{ — — }	—
		25	{ 159 160 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,5 }	0,4	{ — — }	—
50		{ 161 162 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,4 }	0,4	{ — — }	—	
75		{ 163 164 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,4 }	0,4	{ — — }	—	
100		{ 165 166 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,4 }	0,4	{ — — }	—	
150		{ 167 168 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,3 }	0,4	{ — — }	—	
200		{ 169 170 }	{ 0 0 }	0	{ 0,5 0,4 }	0,5	{ — — }	—	
300		{ 171 172 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,4 }	0,4	{ — — }	—	
400		{ 173 174 }	{ 0 0 }	0	{ 0,4 0,4 }	0,4	{ — — }	—	
500		{ 175 176 }	{ 0 0 }	0	{ 0,5 0,4 }	0,5	{ — — }	—	

$MgCO_3$  понижается в той или иной степени углекислым кальцием. Для сопоставления урожаев овса привожу сводную таблицу 60.

Обезвреживающее действие  $CaCO_3$  наиболее сильно проявилось на 35 мг-экв.  $MgCO_3$ , затем падает на 50 мг-экв. и почти затухает на 75—100 мг-экв.  $MgCO_3$ .

Усиление положительного действия  $CaCO_3$  внесением углекислого магния до определенной дозы и понижение углекислым кальцием вредного действия избытка  $MgCO_3$  еще раз подтверждает значение для растений соотношения между кальцием и магнием.

На овсе как и на льне отношение  $Ca:Mg$  проявилось сильнее на урожае зерна, чем соломы, что видно из таблицы 61 (стр. 262) отношений зерна к соломе в урожаях овса.

Следовательно с увеличением дозы  $MgCO_3$  выход зерна резко понижается;  $CaCO_3$  обезвреживает в той или иной степени действие магния; на фоне 100 мг-экв.  $MgCO_3$  углекислый кальций уже не действует.

Результаты действия на торфянистой почве различных отношений между кальцием и магнием можно свести в следующие положения:

- 1)  $CaCO_3$  в количествах до 50 мг-экв., а  $MgCO_3$  только 5 мг-экв. повышают урожай льна и овса;
- 2) более высокие количества  $CaCO_3$ , от 75 мг-экв. и выше, понижают урожай льна и продолжают повышать урожай овса;
- 3) углекислый магний в количествах 10 и 20 мг-экв. понижает урожай льна и овса, 35 мг-экв. губят лен и почти губят овес;
- 4) внесение в почву  $MgCO_3$  в количествах от 5 до 35 мг-экв. понижает вредное действие на лен избытка  $CaCO_3$  и усиливает положительное его действие на овес;
- 5) углекислый кальций в количествах до 50 мг-экв. для льна и до 500 мг-экв. для овса понижает вредное действие избытка  $MgCO_3$ ;
- 6) изменение оптимального отношения  $Ca:Mg$  в сторону увеличения магния более резко понижает урожай зерна, чем соломы, как у льна, так и у овса;
- 7) урожай растений на одной и той же почве зависят не только от относительного, но и от абсолютного содержания в ней кальция и магния.

После уборки урожая почвы сосудов из-под льна были проанализированы в водных вытяжках при пятерном количестве дистиллированной воды по отношению к весу сухой почвы и трехминутном встряхивании. В вытяжках производились определения растворенных в воде  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , титральной щелочности и кислотности, остатки сухой и прокаленный и pH. Аналитический материал дан в таблице 62. Содержание воднорастворимых веществ вычислено на 100 г сухой почвы.

Параллельно с увеличением дозы внесенного в почву  $CaCO_3$  возрастает и количество растворенного в воде кальция. Но такая прямая зависимость сохраняется лишь до 100 мг-экв. внесенного  $CaCO_3$ ; при этой дозе получено наибольшее содержание кальция в растворе (5,69 мг-экв.). При дальнейшем увеличении дозы  $CaCO_3$  количество растворенного кальция постепенно падает и при 500 мг-экв. первого доходит до 2,33 мг-экв.

Такая же в начале прямая, а затем обратная зависимость коли-

Урожай овса по разным дозам  $MgSO_4$  и  $CaSO_4$   
(в г на сосуд)

	10 мг-овса.	20 мг-овса.	35 мг-овса.	50 мг-овса.	75 мг-овса.	100 мг-овса.
$MgSO_4$						
$CaSO_4$						
0 . . . . .	47,6	49,8	41,1	0,4	0,2	0,3
10 . . . . .	57,9	57,9	39,5	7,9	2,4	0,3
25 . . . . .	60,6	61,5	58,6	38,8	6,2	0,4
50 . . . . .	65,2	66,0	63,2	48,4	7,2	0,4

Таблица 61

Отношение зерна к соломе в урожае овса

	6	10	20	35	50	75	100
$MgSO_4$							
$CaSO_4$							
0 . . . . .	0,33	0,42	0,44	0	0	0	0
10 . . . . .	0,62	0,63	0,64	0,59	0,09	0,02	0
25 . . . . .	0,67	0,69	0,65	0,70	0,62	0,08	0
50 . . . . .	0,72	0,69	0,72	0,68	0,59	0,10	0

Аналитические данные водных вытяжек торфянистой почвы (анализы С. Г. Шедерова)

№ образца в почвенном содулов	Внесено в почву		Растворилось		Остаток водной вытяжки		Раствори- мый туголе	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в граммах	SiO <sub>2</sub>	Титрование		рН	рН	Осушенные
	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Продукт- ный	Прокиса- ный				Кислот- ность	Щелоч- ность			
	в мг-экв. на 100 г почвы		в мг-экв. на 100 г почвы		в граммах		в мг* 0,05N KMnO <sub>4</sub>	в граммах						
478	0		0,07	0,05	0,241	0,091	167,2	—	—	—	28,8	3,0	4,67	4,39
480	10		0,31	0,22	0,207	0,063	181,8	—	—	—	21,3	4,9	4,96	4,66
482	25		0,61	0,08	0,310	0,109	181,8	—	—	—	8,8	9,8	5,55	5,46
484	50		1,37	0,09	0,322	0,124	239,2	—	—	—	7,5	28,1	6,23	6,23
486	75		3,20	0,02	0,528	0,193	195,7	—	—	—	7,5	53,7	6,92	7,13
487	100		5,69	0,02	0,721	0,409	144,4	—	—	—	7,5	56,1	7,34	7,62
490	150		5,01	0,33	0,689	0,354	156,0	—	—	—	7,5	68,3	7,40	7,56
492	200		4,65	0,32	0,688	0,246	128,3	—	—	—	5,0	46,4	7,27	7,76
494	300		3,97	0,30	0,588	0,220	130,0	—	—	—	5,0	47,6	7,27	7,76
496	400		2,46	0,28	0,419	0,150	168,5	—	—	—	5,0	51,2	7,43	8,00
498	500		2,33	0,33	0,449	0,175	116,1	—	—	—	3,8	52,5	7,48	8,03
200	0		0,07	0,26	0,259	0,034	295,0	0,0056	—	—	39,0	8,5	4,80	4,65
202	10		0,22	0,24	0,258	0,069	250,0	0,0032	—	—	23,9	9,8	5,81	5,15
204	25		0,40	0,24	0,245	0,075	259,9	0,0036	—	—	13,8	20,7	6,02	5,71
206	50		0,93	0,37	0,310	0,122	296,2	0,0016	—	—	10,0	45,1	6,71	6,57
208	75		2,83	0,25	0,553	0,203	220,0	0,0012	—	—	10,0	64,7	7,08	7,36
210	100		3,52	0,39	0,564	0,234	214,8	0,0012	—	—	10,0	78,1	7,46	7,50
212	150		4,61	0,28	0,729	0,404	162,3	0,0016	—	—	12,6	74,1	7,37	7,83
214	200		4,03	0,73	0,267	0,267	160,4	0,0016	0,0010	—	7,5	64,7	7,27	7,93
216	300		3,05	0,68	0,514	0,207	162,2	0,0016	0,0008	—	7,5	76,7	7,41	8,00
218	400		2,30	0,60	0,462	0,186	163,2	0,0016	0,0012	—	8,8	83,0	7,41	7,96
220	500		1,68	0,46	0,306	0,120	165,8	0,0016	0,0020	—	3,8	89,1	7,46	7,93

Таблица 62 (продолжение)

№ растения	Внесено в почву		Растворилось		Остаток в почве в различных		Растворимый гумус в см <sup>3</sup> 0,05N КМnO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в граммах	SiO <sub>2</sub>	Титруемые		рН	рН	Суммарный
	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Продукция	Промышленный				в см <sup>3</sup> 0,01 КОН	Щелочность			
222	0	0,05	0,35	0,064	0,251	0,064	191,3	0,0048	0,0048	28,9	12,2	5,25	4,91	5,00
224	40	0,09	0,33	0,069	0,250	0,069	181,0	0,0028	—	17,5	13,4	5,82	5,28	6,06
226	25	0,41	0,62	0,079	0,293	0,079	182,5	0,0028	—	41,3	15,9	6,36	5,63	6,43
228	50	1,05	0,84	0,405	0,121	0,405	186,4	0,0028	—	6,3	52,5	7,20	6,74	7,03
230	75	2,34	1,20	0,604	0,230	0,604	170,0	0,0024	—	3,8	75,6	7,78	7,51	7,36
232	100	3,24	1,27	0,619	0,242	0,619	163,5	0,0012	—	7,0	58,6	7,46	7,77	8,06
234	150	2,12	0,87	0,396	0,150	0,396	176,3	0,0028	—	7,5	69,5	7,49	7,93	8,00
236	200	2,00	—	0,439	0,136	0,439	174,1	0,0012	0,0016	7,5	83,0	7,59	8,06	8,00
238	300	1,67	1,29	0,546	0,234	0,546	176,9	0,0020	0,0016	7,5	87,8	7,49	8,00	8,00
240	400	1,89	0,96	0,507	0,187	0,507	185,2	0,0020	0,0016	5,0	91,5	7,57	8,06	8,00
242	500	1,97	0,94	0,401	0,191	0,401	175,6	0,0020	0,0012	3,8	85,4	7,37	8,22	8,22
244	0	0,09	0,27	0,226	0,575	0,226	150,1	0,0024	0,0024	17,5	7,3	5,48	5,00	5,48
246	40	0,13	0,69	0,268	0,268	0,268	203,8	0,0032	0,0032	13,8	29,3	6,32	6,06	6,32
248	25	0,16	1,06	0,302	0,094	0,302	214,6	0,0020	0,0032	7,5	35,4	6,88	6,43	6,88
250	50	1,26	1,67	0,381	0,192	0,381	316,4	0,0024	0,0020	3,8	64,7	7,03	7,36	7,03
252	75	2,58	2,19	0,286	0,286	0,286	237,0	0,0024	0,0020	5,0	72,0	7,49	7,69	7,49
254	100	3,83	1,46	0,838	0,366	0,838	228,0	0,0016	0,0018	5,0	70,8	7,43	8,06	8,06
256	150	3,39	1,24	0,796	0,385	0,796	268,2	0,0016	0,0016	5,0	72,0	7,46	8,29	8,29
258	200	3,29	—	0,711	0,345	0,711	263,2	0,0024	0,0024	5,0	76,9	7,66	8,22	8,22
260	300	3,03	1,48	0,788	0,333	0,788	241,6	0,0020	0,0024	5,0	75,6	7,50	8,29	8,29
262	400	2,23	1,02	0,562	0,234	0,562	288,2	0,0024	0,0014	3,8	79,3	7,60	8,29	8,29
264	500	1,84	0,87	0,497	0,209	0,497	282,0	0,0024	0,0014	3,8	79,3	7,60	8,22	8,22

1. Количество в почвах из-под сосудов № 254—264, определен щелочным методом; в остальных же почвах — сульфатно-ослепленным.



чества растворенного кальция от величины дозы  $\text{CaCO}_3$  повтор и на фоне разных количеств  $\text{MgCO}_3$ .

Внесение углекислого магния значительно понизило количество кальция в растворе, особенно уменьшилось количество растворенного кальция на фоне 50 и 100 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ . Такое же понижающее действие углекислого магния на растворимость  $\text{CaCO}_3$  отмечено К. К. Гедройцем в 1,0 N раствора  $\text{NaCl}$ . Кроме того  $\text{MgCO}_3$ , внесенный в почву за месяц до внесения извести, в той или иной степени прореагировал за это время с почвой, вследствие чего растворимость  $\text{CaCO}_3$  в почве не полностью проявилась на  $\text{CaCO}_3$ .

Количество растворенного магния постепенно возрастает с увеличением дозы  $\text{MgCO}_3$  до 35 мг-экв., т. е. до полного вытеснения свободного водорода, после чего при 50 и 100 мг-экв. количество растворенного магния резко увеличивается от 0,56 до 5,66 мг-экв. вследствие того, что в почве значительного избытка не прореагировавшего с ней  $\text{MgCO}_3$  соединения, значительно легче растворимого в воде, чем  $\text{CaCO}_3$ .

При внесении в почву одних и тех же количеств  $\text{MgCO}_3$  на фоне увеличивающихся доз  $\text{CaCO}_3$  повышается количество растворенного магния; это повышение количества магния стоит в прямой зависимости от количества не внесенного, а растворенного кальция, что объясняется большей энергией поглощения кальция, чем магния, вследствие чего кальций вытесняет в том или ином количестве поглощенный магний и этим переводит его в более растворимую форму.

Количества сухого и прокаленного остатков меняются в прямой зависимости от количества растворенных кальция и магния вследствие большого преобладания этих элементов над другими растворимыми соединениями: почва торфянистая, и минеральные соединения имеют в ней мало места, а растворимость органических соединений в известной степени сопряжена с растворимостью кальция и магния. Внесение углекислого кальция и углекислого магния сказывается в той или иной степени на подвижности органического вещества почвы.

Результаты приведенных определений воднорастворимого гумуса в торфянистой почве показывают, что растворимость органического вещества этой почвы меняется в зависимости от количества внесенной в почву извести и от реакции среды. Так количество воднорастворимого гумуса сперва возрастает с увеличением дозы  $\text{CaCO}_3$  до 50 мг-экв. последнего, дальнейшее же увеличение количества извести уже понижает количество гумуса в водной вытяжке. При этом количество кальция в растворе увеличивается до дозы 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  и только с дозы 150 мг-экв. начинается понижение количества растворенного кальция. Таким образом после нейтрализации реакции почвы уже не наблюдается коррелятивной зависимости между количеством воднорастворимого кальция и растворимостью гумуса. При сопоставлении же количества растворимого гумуса с величиной рН видно, что максимум воднорастворимого гумуса получен при реакции, близкой к нейтральной (рН—6,23). При рН суспензии—7,13 (водной вытяжки—6,92), т. е. в слабо щелочной (или нейтральной) реакции среды, количество воднорастворимого гумуса падает с 239,7 до 195,7 см<sup>3</sup> 0,05 N  $\text{KMnO}_4$ . При дальнейшем повышении величины рН продолжает падать количество воднорастворимого гумуса, и при максимальной величине—8,03 — получено наименьшее содержание гумуса в ра-

створе — 116,1 см<sup>3</sup> 0,05N KMnO<sub>4</sub>. Такое же влияние кальция на растворимость органических веществ ненасыщенных торфянистых почв отмечает акад. К. К. Гедройц.<sup>1</sup>

Своеобразно влияние магния на растворимость органических веществ почвы; так внесение в почву 5 мг-экв. MgCO<sub>3</sub> повысило количество растворимого гумуса с 167,2 до 295 см<sup>3</sup> KMnO<sub>4</sub> 0,05N; 10 мг-экв. его при все еще кислой реакции среды (рН суспензии — 4,65) уже дали резкое понижение растворимости гумуса; 20 мг-экв. еще в большей степени понизили количество воднорастворимого гумуса, а на 35, 50 и 100 мг-экв. MgCO<sub>3</sub> растворимость гумуса прогрессивно возрастает; реакция на 100 мг-экв. MgCO<sub>3</sub> — щелочная. Повышение количества воднорастворимого гумуса при внесении в почву 5 мг-экв. MgCO<sub>3</sub> аналогично влиянию CaCO<sub>3</sub>, но действие магния значительно энергичнее. Исследования акад. К. К. Гедройца показали, что по влиянию на расширяющее действие воды на органическую часть поглощающего комплекса «магний занимает промежуточное положение между щелочными катионами, с одной стороны, и щелочноземельными и трехзначными катионами, с другой стороны», причем в этом отношении «магний приближается к щелочным катионам» («Учение о поглощательной способности почв», 1932, стр. 155—156). С этой точки зрения находит себе объяснение увеличение количества растворимого гумуса на больших дозах MgCO<sub>3</sub>, но непоявно понижение растворимости гумуса на 10 и 20 мг-экв. MgCO<sub>3</sub>.

Титруемая кислотность и титруемая щелочность, а также рН вытяжки и суспензии почвы стоят в зависимости от количества внесенного углекислого кальция и углекислого магния. Нейтральная реакция по показаниям рН (6,92 — вытяжки, 7,13 — суспензии) получена при внесении 75 мг-экв. CaCO<sub>3</sub>, т. е. при более высоком количестве, чем требуется для нейтрализации не только обменной кислотности (30,8 мг-экв.), но и гидролитической (68,8 мг-экв.), следовательно за весь вегетационный период CaCO<sub>3</sub> не полностью прореагировал с почвой. Неодинаковые показания рН в суспензии и в водной вытяжке указывают на наличие в почве нерастворимых или малорастворимых в воде кислых солей и кислот.

То странное на первый взгляд явление, что лен после резкого понижения урожая от избытка CaCO<sub>3</sub> на 100 мг-экв. дал прирост на более высоких дозах, может быть объяснено при сопоставлении с аналитическим материалом тем, что растворимость CaCO<sub>3</sub> в почве не стоит в прямой постоянной зависимости от количества внесенного CaCO<sub>3</sub> и при наибольшем содержании кальция в растворе получены наименьшие урожаи, повышение же урожая на больших дозах объясняется пониженным количеством растворенного кальция.

Максимальный урожай льна по CaCO<sub>3</sub> получен при рН — 6,23, резкое падение урожая при рН суспензии 7,62 и постепенное увеличение параллельно с возрастанием величины рН, которая доходит до 8,03. По MgCO<sub>3</sub> наивысший урожай получен при рН суспензии — 4,65 и резкое понижение при рН — 5,00; следовательно урожай льна при избытке кальция или магния падает не от увеличения щелочности среды, а от нарушения соотношения между этими двумя элементами.

<sup>1</sup> «Учение о поглощательной способности почв, 1932 г., стр. 155.

## в) Действие доломита на торфянистой почве

С. Г. Шедеро

Параллельно опыту на торфянистой почве с соотношением между кальцием и магнием, внесенных в форме  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , на той же почве поставлен опыт с доломитом; доломит внесен в количествах, эквивалентных углекислому кальцию в предыдущем опыте. Набивка сосудов с внесением доломита произведена 11 апреля; условия опыта (количество почвы, форма и количество питательных растворов, время посева, уход и пр.) такие же, как и в предыдущем опыте. Опыт поставлен со льном и овсом. На 4 и 5-й дни после посева появились ровные всходы льна во всех сосудах. Во время дальнейшего роста растений лен развивался нормально в сосудах с 10 и 25 мг-экв. доломита, по 50 и 75 мг-экв. растения сильно отстали в росте, но последующим дозам шло постепенное удлинение стеблей льна, окраска растений из яркозеленой переходила в бледнозеленую.

Начало цветения льна — 28 июня. Уборка урожая в сосудах с 10 и 25 мг-экв. доломита произведена 4 августа, в остальных сосудах — с 31 августа по 4 сентября. Избыточные количества доломита, как и углекислого кальция, удлиннили вегетационный период льна. Урожай льна приведен в таблице 63.

Таблица 63

Урожай льна в 1932 г. в опыте «Действие доломита на торфянистой почве»

Дано мг-экв. доломита на 100 г почвы	№ сосудов	У р о ж а й л ь н а в с о с у д а х					
		З е р н о		С о с о б а		В с е г о	
		По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее
0	{ 177	0,1	0,1	6,3	5,6	6,4	5,7
	{ 178	0,1		5,0		5,1	
10	{ 489	9,9	9,5	20,8	21,2	30,7	30,7
	{ 490	9,1		21,6		30,7	
25	{ 491	10,5	10,4	23,1	23,6	33,6	34,0
	{ 492	10,2		24,2		34,4	
50	{ 493	7,4	8,6	16,9	16,9	24,3	25,5
	{ 494	9,7		17,0		26,7	
75	{ 495	9,2	8,9	20,3	21,0	29,5	29,9
	{ 496	8,5		21,7		30,2	
100	{ 497	9,0	8,6	21,0	21,3	30,0	29,9
	{ 498	8,2		21,5		29,7	
150	{ 499	7,9	7,3	16,5	16,2	26,4	23,5
	{ 500	6,7		15,8		22,5	
200	{ 501	6,6	7,3	14,7	—	21,3	24,6
	{ 502	8,1		19,8		27,9	
300	{ 503	9,0	9,2	20,9	21,6	29,9	30,3
	{ 504	9,4		22,3		31,7	
400	{ 505	10,1	9,6	25,1	23,1	35,2	32,7
	{ 506	9,2		21,0		30,2	
500	{ 507	9,6	10,2	19,8	21,8	29,4	32,0
	{ 508	10,9		23,8		34,7	

Для сопоставления урожаев льна по доломиту и по  $\text{CaCO}_3$  привожу сводную таблицу общих урожаев (табл. 64).

Как видно из приведенной таблицы, урожай льна до 75 мг.-экв. стоит примерно в такой же зависимости и от количества внесенного доломита, как и от эквивалентных количеств извести. Избыточные же количества доломита незначительно понизили урожай льна, понижение урожаев по  $\text{CaCO}_3$  более сильное.

Всходы овса появились на 5-й день после посева; в сосудах с 10—35 мг.-экв. всходы нормальные, по мере же увеличения дозы доломита заметно постепенное ухудшение всходов и особенно сильно это проявляется, начиная с дозы в 200 мг.-экв. и до конца схемы. С дальнейшим развитием овса место наилучшего состояния растений передвигается, как и по  $\text{CaCO}_3$ , от начальных к большим дозам доломита.

Начало выбрасывания метелок — 28 июня. Уборка — с 26 по 30 июля.

Как выбрасывание метелок, так и созревание овса по доломиту прошло на 4—5 дней раньше, чем по  $\text{CaCO}_3$ .

Урожай овса приведены в таблице 65. Для сопоставления урожаев овса по доломиту и по  $\text{CaCO}_3$  привожу сводную таблицу общих урожаев (табл. 66).

С увеличением дозы доломита урожай овса непрерывно возрастает; урожай по доломиту выше, чем по эквивалентным количествам  $\text{CaCO}_3$ .

г) Опыт № 18. Действие различных форм магнетита на торфянистой почве  
*С. Г. Шедеро*

Для изучения действия магния в зависимости от формы, в какой он внесен в почву, К. К. Гедройц одновременно с предыдущими двумя опытами поставил на той же торфянистой почве опыт с разными количествами аморфного и кристаллического магнетитов. Опыт состоял из двух серий; в одной серии магнетиты вносились без  $\text{CaCO}_3$ , в другой — на фоне 500 мг.-экв.  $\text{CaCO}_3$ . Аморфный магнетит вносился в количествах 5, 10, 15, 20, 35, 50, 75 и 100 мг.-экв., кристаллический — в количествах 20, 50, 100 и 200 мг.-экв. Почва в течение одного месяца (с 10 марта по 10 апреля) компостировалась с соответствующими количествами магнетита. Питательные растворы, количество почвы и прочие условия такие же, как и в предыдущих опытах на торфянистой почве. 10 апреля почва выгружена из сосудов, в соответствующие сосуды внесен  $\text{CaCO}_3$  и произведена основная подкормка сосудов. 10 мая произведен посев льна, 14 мая посеян овес.

13—15 мая появились всходы льна на 5, 10 и 20 мг.-экв. аморфного, на 20 и 50 мг.-экв. кристаллического магнетита, в остальных сосудах без извести всходов нет. На фоне  $\text{CaCO}_3$  всходы появились во всех сосудах. 26 мая отмечено появление желтых пятен на листьях льна по 20 мг.-экв. аморфного магнетита и значительное пожелтение льна в сосудах с 50 мг.-экв. кристаллического магнетита. 1 июня в сосуды, где не взошел лен, посеяна горчица; всходов не получено; 28 июня — начало цветения льна. Уборка урожая по магнетитам без  $\text{CaCO}_3$  с 7 по 13 августа; на фоне  $\text{CaCO}_3$  урожай не вполне зрелых растений снят 4 сентября. Урожай льна даны в таблицах 67 и 68.

Урожай льна по доломиту и CaCO<sub>3</sub>

Таблица 64

Мг-эка.	0	10	25	50	75	100	150	200	300	400	500
Доломита .	5,7	30,7	34,0	25,5	29,9	29,9	23,5	24,6	30,8	32,7	32,0
CaCO <sub>3</sub> . . .	—	32,2	34,3	36,7	31,1	14,6	14,8	—	13,6	19,2	22,2

Таблица 65

Урожай овса в 1932 г. в опыте «действие доломита на торфянистой почве»

Дано мг-эка. доломита на 100 г почвы	№ сосудов	У р о ж а й в г н а с о с у д					
		З е р н о		С е л о м а		В с е г о	
		По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее
0	{ 1	19,7	20,0	30,6	29,8	50,5	49,8
	{ 2	20,3		28,9		49,2	
10	{ 509	23,7	23,7	35,1	35,5	58,8	59,2
	{ 510	(23,7)		(35,8)		(59,5)	
25	{ 511	(25,1)	(25,1)	(37,7)	(37,4)	(62,8)	(62,5)
	{ 512	(25,1)		(37,1)		(62,2)	
50	{ 513	28,5	27,9	37,4	36,9	65,9	61,8
	{ 514	27,3		36,4		63,7	
75	{ 515	27,4	28,1	35,5	36,1	62,9	61,2
	{ 516	28,8		36,7		65,5	
100	{ 517	28,6	28,0	40,3	40,4	68,9	68,4
	{ 518	27,4		40,5		67,9	
150	{ 519	27,7	28,1	39,8	39,4	67,5	67,5
	{ 520	28,5		39,1		67,6	
200	{ 521	28,3	30,0	40,3	41,2	63,6	71,2
	{ 522	31,7		42,1		73,8	
300	{ 523	32,0	31,8	45,0	45,1	77,0	76,9
	{ 524	31,5		45,3		76,8	
400	{ 525	32,0	32,6	47,3	48,2	79,3	80,8
	{ 526	33,2		49,0		82,2	
500	{ 527	34,9	34,6	50,8	50,3	85,7	84,9
	{ 528	34,3		49,8		84,1	

Таблица 66

Урожай овса по доломиту и CaCO<sub>3</sub>

Мг-эка.	0	10	25	50	75	100	150	200	300	400	500
Доломита .	49,8	59,2	62,5	64,8	64,2	68,4	67,5	71,2	76,9	80,8	81,9
CaCO <sub>3</sub> . . .	—	59,8	60,8	63,6	65,5	66,0	70,4	70,0	74,4	77,5	78,1

Урожай льна в 1932 г. в опыте «Действие магнезита (аморфного и кристаллического) на торфянистой почве (известкованной)»

Дозы в кг-овых			№ соудов	Урожай в г на соуд					
				Зерно		Солома		Всего	
СаСО <sub>3</sub>	Магнезита			По соудам	Среднее	По соудам	Среднее	По соудам	Среднее
	Аморф.	Крист.							
0	0		{ 177 178 }	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 6,3 5,0 }	5,6	{ 6,4 5,1 }	5,7
»	5	0	{ 401 402 }	{ 1,5 0,3 }	—	{ 30,3 30,2 }	30,3	{ 31,8 30,5 }	31,2
»	10	0	{ 403 404 }	{ — 0,1 }	—	{ — 25,9 }	—	{ — 25,9 }	—
»	20	0	{ 405 406 }	{ 0 0 }	0	{ 14,9 17,8 }	16,4	{ 14,9 17,8 }	16,4
»	35	0	{ 407 408 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
»	50	0	{ 409 410 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
»	75	0	{ 411 412 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
»	100	0	{ 413 414 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
—	20		{ 415 416 }	{ 0 0 }	0	{ 20,2 20,7 }	20,5	{ 20,2 20,7 }	20,5
—	50		{ 417 418 }	{ 0 0 }	0	{ 1,1 1,0 }	1,1	{ 1,1 1,0 }	1,1
—	100		{ 419 420 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
—	200		{ 421 422 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0

Урожай льна в 1932 г. в опыте «Действие магнезита (аморфного и кристаллического) на торфянистой почве (известкованной)»

Дано в мг-экв. на 100 г почвы			№ сосудов	Урожай и г на сосуд					
CaCO <sub>3</sub>	Магнезита			Зерно		Солома		Всего	
	Аморф.	Крист.		По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее	По сосудам	Среднее
500 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	0	0	{ 197	6,0	6,8	14,6	15,1	20,6	22,2
			{ 198	7,6		16,3		23,9	
	5	0	{ 423	(1,5)	—	(6,2)	—	(7,7)	—
			{ 424	6,0		15,6		21,6	
	10	0	{ 425	(1,3)	—	(4,3)	—	(5,6)	—
			{ 426	6,7		16,6		23,3	
	20	0	{ 427	7,0	—	17,8	—	24,8	—
			{ 428	(0,8)		(3,9)		(4,7)	
	35	0	{ 429	(0,6)	—	(2,8)	—	(3,4)	—
			{ 430	4,1		11,9		16,0	
	50	0	{ 431	7,5	6,4	16,0	15,7	23,5	22,1
			{ 432	5,4		15,3		20,7	
	75	0	{ 433	3,9	3,9	12,0	12,1	15,9	16,0
			{ 434	3,8		12,2		16,0	
	100	0	{ 435	3,5	—	8,8	—	12,3	—
			{ 436	(0,5)		(2,5)		(3,0)	
—	20	{ 437	6,6	—	16,1	—	23,0	—	
		{ 438	(1,7)		(5,5)		(7,2)		
—	50	{ 439	5,7	—	14,9	—	20,6	—	
		{ 440	(0,9)		(3,8)		(4,7)		
—	100	{ 441	(4,1)	—	(8,6)	—	(12,7)	—	
		{ 442	(0,5)		(2,6)		(3,1)		
—	200	{ 443	(1,8)	—	(5,6)	—	(7,1)	—	
		{ 444	(0,2)		(0,2)		(2,2)		

Всходы овса появились 17 мая во всех сосудах. 7 июня отмечено появление бурой окраски на листьях овса по 20 мг-экв. аморфного и по 50 мг-экв. кристаллического магнезитов; 28 июня отмечена оранжевая окраска листьев овса по 5, 10 и 20 мг-экв. аморфного и по 20—35 мг-экв. кристаллического магнезитов; в остальных сосудах — сплошное пожелтение листьев овса. На фоне  $\text{CaCO}_3$  окраска листьев овса нормальная. Овес выбросил метелки 2 июля; во всех сосудах без  $\text{CaCO}_3$  верхушки метелок имели белые пленки вместо колосков. Уборка овса произведена с 26 июля по 3 августа. Урожай приведены в таблицах 69 и 70. Для сравнения действия магния в зависимости от его формы сопоставим общие урожаи по кристаллическому и аморфному магнезиту с урожаями по углекислому магнию из предыдущего опыта (табл. 71, 72, 73, 74).

Из приведенного цифрового материала видно, что бывшие в опыте формы магния при внесении их в больших количествах повышают урожай как овса, так и льна, избыточные же дозы их резко понижают урожай овса и губят урожай льна. Повышая урожай примерно до одинаковых пределов, разные формы магния оказывают неодинаковое отрицательное действие на растения; так  $\text{MgCO}_3$  по 20 мг-экв. резко снижает урожай льна до 1,8 г; в меньшей значительно мере проявилось понижающее действие 20 мг-экв. аморфного магнезита, понизившего урожай льна только до 16,4 г, еще выше (20 г) получен урожай по эквивалентному количеству кристаллического магнезита. Следующая доза магния в 35 мг-экв. в форме аморфного магнезита и  $\text{MgCO}_3$  уже губит урожай льна, по кристаллическому же магнезиту получен небольшой урожай и по 50 мг-экв.

Такого же порядка, но несколько более слабое отрицательное действие избытка этих форм магния получено и на овсе.

Внесение 500 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  в значительной степени обезвредило отрицательное действие на лен аморфного и кристаллического магнезитов и в меньшей степени — углекислого магния; при этом на фоне 500 мг-экв. по  $\text{CaCO}_3$  5 и 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  и по 20 мг-экв. аморфного и кристаллического магнезитов получен более высокий урожай льна, чем по одному углекислому кальцию.  $\text{CaCO}_3$  как фон значительно повысил урожай овса по всем формам магния; максимальные при этом урожаи получены по  $\text{MgCO}_3$  на 20 мг-экв., по аморфному магнезиту на 35 и кристаллическому — на 50 мг-экв.; дальнейшее увеличение этих доз и той или иной степени понижает урожай овса. Урожай овса на фоне 500 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  по всем дозам кристаллического магнезита, до 50 мг-экв. — по аморфному магнезиту и до 20 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$  более высокие, чем по одному  $\text{CaCO}_3$ .

Результаты этого опыта можно свести в следующие положения:

1. Положительное действие магния ограничивается теми или иными пределами в зависимости от формы, в какой дан этот элемент.
2. Отрицательное действие избытка магния также стоит в зависимости от его формы; у  $\text{MgCO}_3$  это действие проявляется сильно, у кристаллического магнезита — слабее, аморфный магнезит занимает промежуточное положение.

3.  $\text{CaCO}_3$  значительно снижает вредное действие избыточных доз всех форм магния на лен и на овсе и усиливает положительное действие начальных доз.

Урожай овса в 1932 г. в опыте «Действие магнезита (аморфного и кристаллического) на торфянистой почве (пензаветкованной)»

Дано в мг-эки на 100 г почвы			№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
СаСО <sub>3</sub>	Магнезита			Зерно		Солома		Всего	
	Аморф.	Крист.		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
0 мг-эки.	0	0	{ 1	19,7	20,0	{ 30,6	29,8	{ 50,3	49,8
			2	20,3		{ 28,0		{ 49,2	
	5	—	{ 445	16,0	16,7	{ 41,2	40,4	{ 57,2	57,1
			446	(17,4) <sup>1</sup>		{ (39,6)		{ (57,0)	
	10	—	{ 447	(13,4)	—	{ (35,0)	—	{ (48,4)	—
			448	10,4		{ 39,6		{ 50,0	
	20	—	{ 449	3,7	3,1	{ 23,2	20,7	{ 26,9	23,8
			450	2,5		{ 18,1		{ 20,6	
	35	—	{ 451	(0,3)	—	{ (4,2)	3,4	{ (4,5)	—
			452	0,0		{ 2,5		{ 2,5	
	50	—	{ 453	0	0	{ 0,9	1,0	{ 0,9	1,0
			454	0		{ 1,1		{ 1,1	
	75	—	{ 455	0	0	{ 0,5	0,5	{ 0,5	0,5
			456	0		{ 0,5		{ 0,5	
100	—	{ 457	0	0	{ 0,3	0,4	{ 0,3	0,4	
		458	(0)		{ (0,4)		{ (0,4)		
0 мг-эки.	—	20	{ 459	4,3	5,4	{ 40,9	35,9	{ 45,2	41,3
			460	(6,6)		{ (30,9)		{ (37,5)	
	—	50	{ 461	0,5	0,4	{ 8,2	7,6	{ 8,7	8,0
			462	0,3		{ 7,0		{ 7,3	
—	100	{ 463	0	0	{ 2,3	2,2	{ 2,3	2,2	
		464	0		{ 2,2		{ 2,2		
—	200	{ 475	0	0	{ 2,1	2,1	{ 2,1	2,1	
		466	0		{ 2,0		{ 2,0		

<sup>1</sup> В скобках взяты урожаи разбитых во время опыта сосудов.

## Урожай овса в 1932 г. в опыте «Действие магнезита (аморфного и кристаллического) на торфянистой почве (известковой)»

Дозы и мг-экв.			№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
				Зерно		Солома		Всего	
CaCO <sub>3</sub>	Магнезита Аморф. Крист.			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
500 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	0 мг-экв.	0	{ 21	27,1	28,3	50,5	49,8	77,6	78,1
			{ 22	29,4		49,2		78,6	
		5	{ 467	33,8	33,9	53,7	52,7	87,5	86,6
			{ 468	33,9		51,7		85,6	
		10	{ 469	32,7	33,8	53,1	51,7	85,8	85,5
			{ 470	34,9		50,3		85,2	
		20	{ 471	35,7	33,6	50,8	50,3	86,5	83,9
			{ 472	31,5		49,8		81,3	
		35	{ 473	34,8	33,9	53,5	54,0	88,3	87,9
			{ 474	33,0		54,6		87,6	
		50	{ 475	32,3	32,4	52,3	52,4	84,6	84,8
			{ 476	32,6		52,5		85,1	
		75	{ 477	25,7	25,7	48,3	48,6	74,0	74,3
			{ 478	25,6		49,0		74,6	
100	{ 479	28,8	28,4	43,9	45,5	72,7	78,9		
	{ 480	28,0		47,1		75,1			
20	{ 481	32,4	31,6	49,4	48,6	81,8	80,2		
	{ 482	30,8		47,8		78,6			
50	{ 483	34,4	34,8	50,0	51,7	84,4	86,5		
	{ 484	35,2		53,5		88,7			
100	{ 485	33,0	33,5	51,0	50,8	84,0	84,3		
	{ 486	34,1		50,6		84,7			
200	{ 487	34,2	32,7	50,4	50,6	84,6	83,3		
	{ 488	31,1		50,8		81,9			

Таблица 71

Урожай льна по формам Mg без CaCO<sub>3</sub>

Форма Mg / Mg-экв. Mg	Mg-экв. Mg									
	0	5	10	20	35	50	75	100	200	
Кристалл. магnezит	—	—	—	20,5	—	1,0	—	0	0	
Аморфный »	—	31,2	26,0	16,4	0	0	0	0	—	
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	5,7	30,2	25,2	1,8	0	0	0	0	—	

Таблица 72

Урожай льна по формам Mg на фоне 500 мг-экв. CaCO<sub>3</sub>

Форма Mg / Mg-экв. Mg	Mg-экв. Mg									
	5	10	20	35	50	75	100	200	500	
Кристалл. магnezит	—	—	23,0	—	20,6	—	—	—	—	
Аморфный »	21,6	23,3	24,8	16,0	22,1	16,0	12,3	—	—	
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	27,0	21,9	23,6	20,1	9,0	0,3	0	—	—	
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	22,3	

Таблица 73

Урожай овса по формам Mg без CaCO<sub>3</sub>

Форма Mg / Mg-экв. Mg	Mg-экв. Mg									
	0	5	10	20	35	50	75	100	200	
Кристалл. магnezит	—	—	—	41,3	—	8,0	—	2,2	2,1	
Аморфный »	49,8	57,1	50,0	23,8	2,5	1,0	0,5	0,4	—	
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	—	61,8	47,6	19,8	1,1	0,4	0,2	0,3	—	

Таблица 74

Урожай овса по формам Mg на фоне 500 мг-экв. CaCO<sub>3</sub>

Форма Mg / Mg-экв. Mg	Mg-экв. Mg									
	5	10	20	35	50	75	100	200	500	
Кристалл. магnezит	—	—	80,2	—	86,5	—	84,3	83,3	—	
Аморфный »	86,6	85,5	83,9	87,9	84,8	74,3	73,9	—	—	
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	80,4	77,9	83,6	72,5	54,4	8,7	0,5	—	—	
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	78,1	

4.  $MgCO_3$ , аморфный и кристаллический магнезиты, внесенные в почву в ограниченных количествах, повышают положительное действие углекислого кальция.

д) Опыт № 19. Углекислый стронций на торфянистой почве

*С. Г. Шедеров*

Опыт с углекислым стронцием поставлен К. К. Гедройдем на торфянистой почве в одно время с другими опытами на этой почве и при одинаковых с ними условиях.

В этом опыте, как и в предыдущих, посеяны овес и лен. Под лен углекислый стронций вносился в следующих количествах: 5, 10, 20, 35, 50, 75, 100 и 200 мг-экв., под овес — 10, 35, 75 и 200 мг-экв. Кроме того по этой же схеме опыт повторен и на фоне 100 мг-экв.  $CaCO_3$ . Компостирование почвы в вегетационных сосудах с внесенным углекислым стронцием продолжалось один месяц. После этого почва выгружена, в соответствующие сосуды внесен  $CaCO_3$  и произведена основная набивка сосудов. 10 мая посеян лен, 14 мая — овес. Нормальные всходы льна в сосудах с известью появились 14 мая; в сосудах по одному  $SrCO_3$  появились задержанные всходы 15 мая, через 4 дня всходы значительно улучшились и развивались так же, как и на фоне  $CaCO_3$ . 10 июня отмечено ухудшение в развитии льна в сосудах с 20 мг-экв.  $SrCO_3$  и более высокими дозами. На фоне  $CaCO_3$  нет такого сильного понижения от избытка углекислого стронция, но растения в этих сосудах вытянуты, листья более узкие, окраска растений бледнозеленая.

Начало цветения льна — 28 июня. Уборка урожая производилась с 27 июля по 4 сентября; сильное запоздание в созревании растений на фоне  $CaCO_3$ . Урожай приведен в табл. 75.

Из урожая видно, что в пределах до 20 мг-экв.  $SrCO_3$  дал сильное повышение урожая льна, более же высокие дозы резко понижают и почти губят урожай. Внесение 100 мг-экв.  $CaCO_3$  значительно снизило положительное действие начальных доз  $SrCO_3$  и несколько исправило отрицательное действие больших его доз. Урожай льна по  $SrCO_3$  значительно ниже, чем по эквивалентным количествам  $CaCO_3$ ; отрицательное его действие не такое сильное, как магнезия. Овес взшел 15 мая. Нормальные всходы получены как на фоне  $CaCO_3$ , так и по одному  $SrCO_3$ , но как в одном, так и в другом случае заметно понижение всходов на больших дозах  $SrCO_3$ . 31 мая в сосудах с 75 и 200 мг-экв.  $SrCO_3$  появилась бурая окраска на концах листьев, на фоне  $CaCO_3$  сохранилась нормальная окраска листьев; 7 июня побурение листьев овса отмечено и на 35 мг-экв.; на фоне  $CaCO_3$  появилось незначительное побурение листьев растений по 75—200 мг-экв. Начало выбрасывания метелок — 28 июня. Уборка овса произведена 3—4 августа, урожай даны в табл. 76.

Только 10 мг-экв.  $SrCO_3$  повысили урожай овса, следующие же дозы дали понижение, но не такое резкое, какое получено по  $MgCO_3$ , аморфному и кристаллическому магнезитам. На фоне 100 мг-экв.  $CaCO_3$  увеличение дозы  $SrCO_3$ , наоборот, повышает урожай овса; урожай при этом выше чем по эквивалентным количествам  $CaCO_3$ ;

Таблица 75

Урожай льна в 1932 г. в опыте «Действие  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{SrCO}_3$  на торфянистой почве»

Дано в мг-экв.		№ сосудов	Урожай в г на сосуд						
			Зерно		Солома		Всего		
$\text{CaCO}_3$	$\text{SrCO}_3$		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
0 мг-экв.	0	{ 177 178 }	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 6,3 5,0 }	5,6	{ 6,4 5,1 }	5,7	
	5	{ 353 354 }	{ 9,0 9,1 }	9,1	{ 16,9 18,5 }	17,7	{ 25,9 27,6 }	26,8	
	10	{ 355 356 }	{ 8,1 8,3 }	8,2	{ 18,7 19,9 }	19,3	{ 26,8 28,2 }	27,5	
	20	{ 357 358 }	{ 2,9 2,0 }	2,4	{ 23,2 22,4 }	22,8	{ 26,1 24,4 }	25,2	
	35	{ 359 360 }	{ 0 0 }	0	{ 2,2 1,8 }	2,4	{ 2,6 1,8 }	2,4	
	50	{ 361 362 }	{ 0 0 }	0	{ 0,6 0,6 }	0,6	{ 0,6 0,6 }	0,6	
	75	{ 363 364 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,3 }	0,3	{ 0,3 0,3 }	0,3	
	100	{ 365 366 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,4 }	0,4	{ 0,3 0,4 }	0,3	
	200	{ 367 368 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,4 }	0,4	{ 0,3 0,4 }	0,3	
	100 мг-экв. $\text{CaCO}_3$	5	{ 377 378 }	{ 1,2 1,8 }	1,5	{ 4,3 5,7 }	5,0	{ 5,5 7,5 }	6,5
10		{ 379 380 }	{ 1,0 1,9 }	—	{ 3,7 8,5 }	—	{ 4,7 10,4 }	—	
20		{ 381 382 }	{ 0,9 0,5 }	—	{ 4,8 2,8 }	—	{ 5,7 3,3 }	—	
35		{ 383 384 }	{ 1,5 0,5 }	—	{ 5,8 2,3 }	—	{ 7,3 2,8 }	—	
50		{ 385 386 }	{ 1,5 0,5 }	—	{ 4,5 1,8 }	—	{ 6,0 2,3 }	—	
75		{ 387 388 }	{ 0,3 0,4 }	0,4	{ 1,6 2,2 }	—	{ 1,9 2,6 }	—	
100		{ 389 390 }	{ 1,0 0,3 }	—	{ 3,6 1,4 }	—	{ 4,6 1,7 }	—	
200		{ 391 392 }	{ 0,5 0,7 }	0,6	{ 1,8 2,5 }	—	{ 2,3 3,2 }	2,8	
50		50	{ 529 530 }	{ 0,6 0,2 }	—	{ 2,4 2,0 }	2,2	{ 3,0 2,2 }	2,6

Таблица 76

Урожай овса в 1932 г. в опыте «Действие  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{SrCO}_3$  на торфянистой почве»

Дано в мг-экв.		№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
			Зерно		Солома		Всего	
$\text{CaCO}_3$	$\text{SrCO}_3$		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
0	0	{ 1 2	{ 19,7 20,3	20,0	{ 30,6 28,9	29,7	{ 50,3 49,2	49,8
	10	{ 369 370	{ 6,0 5,9	6,0	{ 50,2 53,5	51,8	{ 56,2 59,4	57,8
	35	{ 371 372	{ 4,6 4,4	4,5	{ 33,4 33,9	33,7	{ 38,0 38,3	38,2
	75	{ 373 374	{ 2,0 2,0	2,0	{ 22,7 20,5	21,6	{ 24,7 22,5	23,6
	200	{ 375 376	{ 2,0 5,2	—	{ 23,2 41,4	—	{ 25,2 46,6	—
100	10	{ 393 394	{ (24,8) 25,1	(25,0)	{ (34,6) 35,3	(34,9)	{ (59,4) 60,4	(59,9)
	35	{ 395 396	{ 27,7 29,3	28,5	{ 37,7 40,2	38,9	{ 65,4 69,5	67,4
	75	{ 397 398	{ 16,5 22,3	—	{ 48,9 44,2	46,5	{ 65,4 66,5	65,9
	200	{ 399 400	{ 18,5 23,9	—	{ 52,3 47,5	49,9	{ 70,8 71,4	71,1

это видно из следующей таблицы общих урожаев овса по  $\text{SrCO}_3$  на фоне 100 мг.-экв.  $\text{CaCO}_3$  и по одному углекислому кальцию (табл. 77).

Таблица 77

Урожай овса по  $\text{CaCO}_3$  и по  $\text{SrCO}_3 + \text{CaCO}_3$  (в граммах на сосуд)

Мг-экв.	10	25	50	75	200	
$\text{CaCO}_3$ . . . . .	59,8	60,3	—	63,6	—	70,0
$\text{SrCO}_3$ на фоне $\text{CaCO}_3$	59,9	—	67,4	—	65,9	71,1

е) Опыт № 20. Известкование торфянистой почвы, частично насыщенной кальцием и магнием илие магний

С. Г. Шедероз

В середине лета того же 1932 г. К. К. Гедройцем поставлен опыт с известкованием торфянистой почвы, предварительно насыщенной кальцием, и той же почвы, насыщенной кальцием и магнием.

Насыщение почвы кальцием произведено обработкой ее на фильтре 1,0 N раствором  $\text{CaCl}_2$ ; насыщение кальцием и магнием производилось путем промывания 1,0N раствором смеси  $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ ; отношение  $\text{CaCl}_2$  к  $\text{MgCl}_2$  в этой смеси было равно 10:1. Обработка почвы растворами не доведена до полного насыщения ее кальцием или кальцием + магнием. Растворов солей при этом затрачено по 25 л на килограммы почвы. Определения количества поглощенных при этом кальция и магния не производилось; по предположению К. К. Гедройца почва при этой обработке поглотила около 20 мг-экв. кальция или кальция + магния. Опыт поставлен в малых сосудах  $10 \times 13$  см; из экономии почвы в сосуды предварительно вносилось по 200 г песку; на этот песок накладывалось по 250 г воздушносухой почвы. Питательные растворы даны по 0,1 г N в  $\text{NaNO}_3$  и по 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$ , в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  на сосуд. Как в одну, так и в другую почву известь внесена в следующих дозах: 0, 5, 15 и 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на 100 г почвы. В одну серию сосудов посеян лен, в другую — горчица, кроме того на этих же почвах, но без добавления к ним углекислого кальция, посеяны овес и клевер.

Для сравнения действия поглощенного кальция с действием углекислого кальция поставлена еще серия сосудов с первоначальной торфянистой почвой. В эту почву  $\text{CaCO}_3$  вносился по сумме поглощенного и углекислого кальция в предыдущих почвах; таким образом в первоначальную почву  $\text{CaCO}_3$  дан в следующих количествах: 0, 20, 25, 35 и 70 мг-экв. На этой почве посеяны лен и горчица. Посев всех растений произведен 29 июня. Всходы овса, горчицы и клевера появились 1 июля во всех сосудах, лен вззошел 2 июля также во всех сосудах. За период вегетации не наблюдалось различия в развитии растений на почве, насыщенной кальцием, и почве, насыщенной кальцием и магнием. На первоначальной почве по  $\text{CaCO}_3$  растения (лен и горчица) развивались лучше, чем на почвах насыщенных.

Уборка всех растений произведена 22 сентября. Урожай растений приведен в таблицах 78, 79, 80. Опыт не дал ясных результатов; сосуды с почвой оставлены для повторения и лабораторного изучения опыта на следующий год.

### С. ОПЫТЫ С ПОГЛОЩЕННЫМИ КАТИОНАМИ

а) опыты № 25 и 26. Влияние на урожай поглощенных почвой алюминия и марганца

С. Г. Шедероз

В развитие своих работ по изучению влияния поглощенных катионов на растение акад. К. К. Гедройц поставил в 1931 г. вегетационные опыты на почвах, разно насыщенных марганцем и алюминием; опыты эти повторены им в 1932 г. Задачи опытов и результаты их за 1931 г. сообщены акад. К. К. Гедройцем в «Трудах

Урожай льна и горчицы на первоначальной торфянистой почве  
(в граммах на сосуд)

Дозы СаСО <sub>3</sub> и мг-ов	№ сосудов	Зерно		Селена		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Г о р ч и ц а							
0	{ 524	0	0	{ 0	0	{ 0	0
	{ 525	0		{ 0			
20	{ 526	0,7	0,7	{ 1,5	1,6	{ 2,2	2,3
	{ 527	0,8		{ 1,7		{ 2,5	
25	{ 528	0,9	0,8	{ 1,9	1,8	{ 2,8	2,6
	{ 529	0,8		{ 1,7		{ 2,5	
35	{ 530	1,0	1,0	{ 2,3	2,4	{ 3,3	3,4
	{ 531	1,1		{ 2,5		{ 3,6	
50	{ 532	0,3	0,3	{ 8,4	8,0	{ 8,7	8,3
	{ 533	0,4		{ 7,6		{ 8,0	
Л е н							
0	{ 534	0	0	{ 1,3	—	{ 1,3	—
	{ 535	0		{ 0,5		{ 0,5	
20	{ 536	1,2	1,2	{ 4,3	4,4	{ 5,5	5,6
	{ 537	1,2		{ 4,5		{ 5,7	
25	{ 538	0,5	—	{ 3,3	4,1	{ 3,8	—
	{ 539	1,0		{ 4,9		{ 5,9	
35	{ 540	0,2	—	{ 4,6	4,6	{ 4,8	4,9
	{ 541	0,4		{ 4,6		{ 5,0	
50	{ 542	0,4	—	{ 6,0	6,2	{ 6,4	6,8
	{ 543	0,8		{ 6,4		{ 7,2	

Таблица 79

Урожай растений на торфянистой почве, насыщенной кальцием  
(поглощено кальция около 29 мг-экв. Са)

Дано СаСО <sub>2</sub> , в мг-экв.	№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
О в е с							
0	{ 544 545 }	2,0 2,1	2,0	4,6 4,2	4,4	6,6 6,8	6,4
К л е в е р							
0	{ 546 547 }	—	—	2,7 2,8	2,7	2,7 2,8	2,7
Г о р ч и ц а							
0	{ 548 549 }	0,1 0,1	0,1	0,6 1,0	—	0,7 1,1	—
5	550	0,1	—	1,6	—	1,7	—
15	551	0,5	—	1,2	—	1,7	—
50	552	0,6	—	5,2	—	5,8	—
Л е п							
0	{ 553 554 }	0,2 0,1	0,1	2,7 2,5	2,6	2,9 2,6	2,7
5	555	0,4	—	4,0	—	4,5	—
15	556	0,9	—	4,4	—	5,3	—
50	557	1,4	—	5,8	—	7,0	—

Таблица 80

Урожай растений на торфянистой почве, насыщенной кальцием и магнием  
(поглощено около 20 мг-экв. Са и Mg)

Дано СаСО <sub>2</sub>	№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
О в е с							
0	{ 558 559 }	2,2 2,0	2,1	4,1 4,8	4,4	6,3 6,6	6,5
К л е в е р							
0	{ 560 561 }	—	—	3,5 3,3	3,3	3,3 3,3	3,3
Г о р ч и ц а							
0	{ 562 563 }	0,1 0,1	0,1	0,6 0,5	0,5	0,7 0,6	0,6
15	564	0,2	—	1,1	—	1,3	—
50	565	1,0	—	3,8	—	4,8	—
Л е п							
0	{ 566 567 }	0,4 0,7	—	3,3 3,3	3,3	3,7 4,0	3,8
5	568	0,7	—	3,6	—	4,3	—
15	569	0,9	—	3,9	—	4,8	—
50	570	1,3	—	5,5	—	7,0	—

НИУ», № 109<sup>1</sup>. В настоящей статье дается дополнительный материал по опытам за 1931 г. и приводится описание повторения этих опытов в 1932 г. и результаты их.

Опыт по изучению роли алюминия проведен на семи почвах, содержащих разные количества поглощенного алюминия (от 0,53 мг-экв. до полного насыщения емкости обмена почвы). Посев овса в 1931 г. на этих почвах произведен 9 июля. 6 августа зарегистрирована полная гибель растений на почве, полностью насыщенной алюминием, за исключением сосудов, получивших известь. На других почвах, разно насыщенных алюминием, растения во время вегетации имели яркозеленую окраску, на первоначальном же черноземе и на черноземе, промытом водой, окраска растений была бледнозеленой. Созревание растений на почвах с небольшим количеством поглощенного Al началось на несколько дней раньше, чем на естественной почве; высокие же количества поглощенного Al задержали созревание растений. Уборка растений производилась в октябре. Урожайные данные приведены в табл. 81.

После того как на почве, полностью насыщенной Al, все растения погибли, была произведена перебивка этих сосудов (почва из этих сосудов при перебивке перемешана для выравнивания по содержанию  $P_2O_5$ ). Для нейтрализации вредного влияния поглощенного алюминия опыт поставлен по следующей схеме: в один сосуд дано 100 мг-экв.  $CaCO_3$ , в другой — 100 мг-экв. аморфного магнезита, в третий — 100 мг-экв.  $MgCO_3$ , в четвертый — 100 мг-экв. доломита, в пятый — 100 мг-экв. гипса, в шестой — 10 мг-экв. Ca в форме  $Ca(NO_3)_2$ , в седьмой — 100 мг-экв.  $CaCO_3$  и 1 г  $P_2O_5$  в  $KH_2PO_4$ , и восьмой сосуд оставлен без изменения для контроля. 21 августа произведен посев овса сухими семенами. 25 августа появились всходы во всех сосудах за исключением сосудов с 10 мг-экв. Ca в  $Ca(NO_3)_2$  и со 100 мг-экв.  $MgCO_3$ . 28 августа появились всходы и в этих сосудах. Во время дальнейшего роста резко выделились своим хорошим развитием растения по доломиту и по углекислому кальцию; в сосудах с 10 мг-экв. Ca в форме  $Ca(NO_3)_2$ , с 100 мг-экв.  $MgCO_3$  и с магнезитом растения резко отстали; растения в сосудах с гипсом и в контрольном заняли промежуточное положение. Вследствие позднего посева растения не были доведены до созревания и убраны в зеленом состоянии в ноябре. Урожай сухой массы приведен в табл. 82.

Из урожайных данных видно, что самое высокое действие на почве, полностью насыщенной алюминием, оказал доломит и почти такое же действие оказало эквивалентное количество  $CaCO_3$  при доведении 1 г  $P_2O_5$ , один же  $CaCO_3$  без дополнительного внесения  $P_2O_5$  дал несколько пониженный урожай. Остальные удобрения дали весьма низкий урожай; на первом месте среди них стоит гипс, давший несколько более высокий урожай, чем контроль; магнезит же, углекислый магнезий и Ca в форме  $Ca(NO_3)_2$  дали урожай более низкий, чем контроль.

После уборки урожая все сосуды этого опыта с почвой оставлены на хранение до следующего года для повторения опыта. Весной 1932 г. произведена перебивка почвы в сосудах; при этом даны по 0,2 г N в форме  $NaNO_3$  и по 0,2 г  $P_2O_5$  в  $KH_2PO_4$ . 17 мая произведен посев овса;

<sup>1</sup> См. также стр. 64 настоящего сборника.

Урожай овса в 1931 г. на почве, разное насыщенной алюминием

Дано в г на сосуд					№ сосудов	Урожай (в г. на сосуд)					
N в $\text{NaNO}_3$	N в $\text{Ca(NO}_3)_2$	P, O, в $\text{KH}_2\text{PO}_4$	MgO в $\text{MgCO}_3$	CaCO <sub>3</sub>		Зерно		Солома		Всего	
						по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

## Первоначальный чернозем

—	0,1	1,18	0	0	{ 71 712 }	{ 4,5 3,3 }	3,9	{ 8,2 6,3 }	7,3	{ 12,7 9,6 }	11,2
—	0,1	1,18	0	5,9	{ 713 716 }	{ 4,4 3,9 }	4,1	{ 7,5 7,2 }	7,3	{ 11,9 11,1 }	11,4

## Первоначальный чернозем, промытый водой

—	0,1	0,1	0	0	{ 613 614 }	{ 3,9 4,0 }	4,0	{ 7,0 7,1 }	7,1	{ 10,9 11,1 }	11,0
0,1	0	0,1	0	0	{ 603 604 }	{ 4,3 4,5 }	4,4	{ 6,8 7,5 }	7,1	{ 11,1 12,0 }	11,5

I. Почва обработана 0,001 N  $\text{AlCl}_3$ , поглощено 0,53 мг-экв. Al

0,1	—	0,1	0,05	—	{ 617 618 }	{ 6,5 6,4 }	6,4	{ 8,0 8,1 }	8,1	{ 14,5 14,5 }	14,5
0,1	—	0,1	0,05	0,0662	{ 619 620 }	{ 6,0 6,6 }	6,3	{ 8,8 10,0 }	9,4	{ 14,8 16,6 }	15,7
0,1	—	0,1	0,05	0,1325	{ 621 622 }	{ 6,1 5,5 }	5,8	{ 7,0 9,7 }	8,3	{ 13,1 15,2 }	14,1
0,1	—	0,1	0,05	0,2650	{ 623 624 }	{ 5,9 6,4 }	6,1	{ 8,6 10,0 }	9,3	{ 14,5 16,4 }	15,4
—	0,1	0,1	0,05	0,0	{ 625 626 }	{ 5,5 5,4 }	5,5	{ 9,4 9,4 }	9,4	{ 14,9 14,8 }	14,9
—	0,1	0,16	0,05	0,0	{ 627 628 }	{ 6,0 5,4 }	5,7	{ 10,0 9,5 }	9,8	{ 16,0 14,9 }	15,7
—	0,1	0,16	0,05	0,1325	{ 629 630 }	{ 5,3 5,6 }	5,4	{ 9,8 11,5 }	10,6	{ 15,1 17,1 }	16,0

II. Почва обработана 0,005 N  $\text{AlCl}_3$ , поглощено 0,75 мг-экв. Al

0,1	—	0,1	0,05	—	{ 631 632 }	{ 6,2 6,1 }	6,1	{ 10,6 10,4 }	10,5	{ 16,8 16,5 }	16,6
0,1	—	0,1	0,05	0,0937	{ 633 634 }	{ 6,5 6,2 }	6,4	{ 9,3 9,5 }	9,4	{ 16,8 15,7 }	16,2
0,1	—	0,1	0,05	0,1875	{ 635 636 }	{ 6,6 5,6 }	6,1	{ 8,9 8,8 }	8,9	{ 15,4 14,4 }	15,0
0,1	—	0,1	0,05	0,3750	{ 637 638 }	{ 6,6 6,7 }	6,6	{ 9,2 9,4 }	9,3	{ 15,8 15,1 }	15,9

Таблица 81 (продолжение)

Допавг на сосуд					№ сосудов	У р о ж а я					
N в NaNO <sub>3</sub>	N в Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgO в MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>		Зерно		Солома		Всего	
						по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	0,1	0,1	0,05	0	{ 639 640	{ 6,0 5,8	5,9	{ 8,5 9,6	9,1	{ 14,5 15,4	15,0
—	0,1	0,19	0,05	0	{ 641 642	{ 4,5 4,9	4,7	{ 9,9 10,5	10,2	{ 14,4 15,4	14,9
—	0,1	0,19	0,05	0,1875	{ 643 644	{ 5,7 5,6	5,7	{ 8,7 9,9	9,3	{ 14,4 15,5	15,0
III. Почва обработана 0,01 N AlCl <sub>3</sub> , поглощено 1,12 мг-экв. Al											
0,1	—	0,1	0,05	0	{ 645 646	{ 5,7 5,7	5,7	{ 9,6 9,4	9,5	{ 15,3 15,1	15,2
0,1	—	0,1	0,05	0,140	{ 647 648	{ 6,3 6,3	6,3	{ 9,6 9,1	9,4	{ 15,9 15,4	15,7
0,1	—	0,1	0,05	0,280	{ 649 650	{ 6,5 6,1	6,3	{ 9,2 9,3	9,2	{ 15,7 15,4	15,5
0,1	—	0,1	0,05	0,560	{ 651 652	{ 5,3 6,6	5,9	{ 11,5 9,7	10,6	{ 16,8 16,3	16,5
—	0,1	0,1	0,05	0	{ 653 654	{ 5,5 6,2	5,8	{ 9,0 8,5	8,8	{ 14,5 14,7	14,6
—	0,1	0,23	0,05	0	{ 655 656	{ 5,6 5,2	5,4	{ 9,5 9,3	9,4	{ 15,1 14,5	14,8
—	0,1	0,23	0,05	0,280	{ 657 658	{ 6,0 4,8	5,4	{ 10,1 9,3	9,7	{ 16,1 14,1	15,1
IV. Почва обработана 0,05 N AlCl <sub>3</sub> , поглощено 5,27 мг-экв. Al											
0,1	—	0,1	0,05	—	{ 659 660	{ 6,3 6,0	6,1	{ 8,1 8,9	8,5	{ 14,4 14,9	14,6
0,1	—	0,1	0,05	0,6587	{ 661 662	{ 6,0 5,5	5,7	{ 8,8 8,6	8,7	{ 14,8 14,1	14,4
0,1	—	0,1	0,05	1,3175	{ 663 664	{ 5,0 6,0	5,5	{ 8,2 8,8	8,5	{ 13,2 14,8	14,0
0,1	—	0,1	0,05	2,6350	{ 665 666	{ 6,0 6,3	6,2	{ 10,3 8,5	9,4	{ 16,3 14,8	15,6
—	0,1	0,1	0,05	0	{ 667 668	{ 5,4 6,4	5,9	{ 7,4 8,3	7,8	{ 12,8 14,7	13,7
—	0,1	0,72	0,05	0	{ 669 670	{ 4,5 5,7	5,1	{ 9,4 8,0	8,7	{ 13,9 15,7	14,8
—	0,1	0,72	0,05	1,3175	{ 671 672	{ 4,7 5,4	5,1	{ 8,9 8,9	8,9	{ 13,6 13,3	13,0
V. Почва обработана 0,1 N AlCl <sub>3</sub> , поглощено 9,18 мг-экв. Al											
0,1	—	0,1	0,05	0	{ 673 674	{ 4,7 6,0	5,4	{ 7,1 6,9	7,0	{ 11,8 12,9	12,4

Таблица 81 (продолжение)

Дано в г на сосуд					№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
N в NaNO <sub>3</sub>	N в Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgO в MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>		Зерно		Солома		Всего	
						по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	—	0,1	0,05	1,1476	{ 675 676 }	{ 4,6 6,0 }	5,3	{ 7,1 7,7 }	7,4	{ 11,8 13,7 }	12,7
0,1	—	0,1	0,05	2,2950	{ 677 678 }	{ 5,8 4,4 }	5,1	{ 7,3 7,9 }	7,6	{ 13,1 12,3 }	12,7
0,1	—	0,1	0,05	4,5900	{ 679 680 }	{ 5,1 5,2 }	5,2	{ 10,0 8,3 }	9,2	{ 15,1 13,5 }	14,4
—	0,1	0,1	0,05	0	{ 681 682 }	{ 4,9 6,0 }	5,4	{ 7,6 8,4 }	8,0	{ 12,5 14,4 }	13,4
—	0,1	0,18	0,05	0	{ 683 684 }	{ 5,0 5,2 }	5,1	{ 8,0 9,4 }	8,7	{ 13,0 13,6 }	13,8
—	0,1	0,18	0,05	0,2950	{ 685 686 }	{ 5,3 4,3 }	4,8	{ 9,0 7,3 }	8,1	{ 14,3 11,6 }	12,9
VI. Почва обработана 0,5 N AlCl <sub>3</sub> , поглощено 23,66 мг-экв. Al											
0,1	—	0,1	0,05	0	{ 687 688 }	{ 2,7 4,6 }	3,6	{ 4,9 6,3 }	5,6	{ 7,6 10,9 }	9,2
0,1	—	0,1	0,05	2,9575	{ 689 690 }	{ 4,5 4,6 }	4,5	{ 6,1 5,7 }	5,9	{ 10,6 10,3 }	10,4
0,1	—	0,1	0,05	5,9150	{ 691 692 }	{ 5,0 4,9 }	4,9	{ 5,3 5,8 }	5,6	{ 10,3 10,7 }	10,5
0,1	—	0,1	0,05	0,8300	{ 693 694 }	{ 3,7 4,8 }	4,2	{ 7,2 6,1 }	6,7	{ 10,9 10,9 }	10,9
—	0,1	0,1	0,05	0	{ 695 696 }	{ 4,6 5,2 }	4,9	{ 6,6 6,2 }	6,4	{ 11,2 11,4 }	11,3
—	0,1	1,18	0,05	0	{ 697 698 }	{ 5,3 4,4 }	4,8	{ 9,3 8,9 }	9,1	{ 14,6 13,3 }	13,9
—	0,1	1,18	0,05	5,9150	{ 699 700 }	{ — 5,8 }	—	{ 7,4 8,0 }	—	{ — 13,8 }	—
VII. Почва полностью насыщена Al											
0,1	—	0,1	0,05	0	{ 701 702 }	{ — — }	—	{ 0,3 0,5 }	0,4	{ 0,3 0,5 }	0,4
0,1	—	0,1	0,05	14,00	{ 703 704 }	{ 3,7 4,5 }	4,1	{ 7,6 6,0 }	6,8	{ 11,3 10,5 }	10,9
—	0,1	0,1	0,05	0	{ 705 706 }	{ — — }	—	{ 0,2 0,2 }	0,2	{ 0,2 0,2 }	0,2
—	0,1	0,1	0,05	14,00	{ 707 708 }	{ 3,7 4,4 }	4,1	{ 7,9 5,2 }	6,6	{ 11,6 9,6 }	10,6
—	0,1	0,18	0,05	—	{ 709 710 }	{ — — }	—	{ 0,6 0,5 }	0,6	{ 0,6 0,5 }	0,6

Таблица 82

Урожай овса в 1931 г. на почве, полностью насыщенной алюминием

В и с е с о	№ сосудов	Урожай в г на сосуд		
		Зерно	Солома	Всего
Контроль . . . . .	710	0	0,70	0,70
100 мг-экв. $\text{CaCO}_3$ . . . . .	177	0	4,20	4,20
100 мг-экв. магнезита . . . . .	178	0	0,25	0,25
100 мг-экв. $\text{MgCO}_3$ . . . . .	701	0	0,12	0,12
100 мг-экв. доломита . . . . .	702	0	5,76	5,76
100 мг-экв. $\text{CaSO}_4$ . . . . .	705	0	1,08	1,08
40 мг-экв. Са в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . . . . .	706	0	0,10	0,10
100 мг-экв. $\text{CaCO}_3$ и 1 г $\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . .	709	0	5,72	5,72

Таблица 83

Урожай овса в 1932 г. на почве, полностью насыщенной алюминием

В и с е с о	№ сосудов	Урожай в г на сосуд		
		Зерно	Солома	Всего
Контроль . . . . .	710	—	—	—
100 мг-экв. $\text{CaCO}_3$ . . . . .	177	5,7	8,3	14,0
100 мг-экв. магнезита . . . . .	178	0,0	0,2	0,2
100 мг-экв. $\text{MgCO}_3$ . . . . .	701	0,0	0,1	0,1
100 мг-экв. доломита . . . . .	702	8,7	12,4	21,1
100 мг-экв. $\text{CaSO}_4$ . . . . .	705	0,0	0,5	0,5
40 мг-экв. Са в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . . . . .	706	0,0	0	0,0
100 мг-экв. $\text{CaCO}_3$ и 1 г $\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . .	709	3,7	9,7	13,4

21 мая появились всходы; 15 июня отмечено отставание в развитии овса в сосудах с первоначальным черноземом и с черноземом, промытым водой. Растения в этих сосудах имели бледнозеленую окраску, на почвах же, содержащих поглощенный Al, растения имели интенсивно зеленую окраску и более мощное развитие.

Уборка растений произведена 28—29 июля. Урожайные данные приведены в табл. 84.

Для сопоставления урожая 1931 и 1932 гг. привожу сводную таблицу средних общих урожаев (в граммах на сосуд) на почвах, не получивших  $\text{CaCO}_3$  и высоких доз  $\text{P}_2\text{O}_5$  (табл. 85).

В первый год опыта поглощенный алюминий оказал почти одинаковое положительное действие на первых трех почвах, начиная же с IV почвы положительное его действие падает и на VI почве переходит в отрицательное, а на VII почве совершенно губит растение. Увеличение общего урожая доходит до 36,3%. При повторении посева овса на этих же почвах на следующий год положительное действие поглощенного алюминия возросло, урожай же на первоначальном черноземе и на черноземе, промытом водой, резко пал.

Кроме того во второй год опыта в значительной степени нейтрализовалось вредное действие высоких количеств поглощенного алюминия, в результате чего на почве, полностью насыщенной Al, получен урожай 2,8 г при полной гибели растений на этой почве в 1-й год опыта; на почве с большим содержанием поглощенного алюминия (IV, V и VI) вместо понижения получено повышение урожая.

Опыт по изучению роли марганца проведен

Урожай овса в 1932 г. на почве, разном насыщенности алюминием

Дозы в г на сосуд				СаСО <sub>3</sub> , в г на сосуд	№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
N в NaNO <sub>3</sub>	N в Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Mg в MgSO <sub>4</sub>			Зерно		Солома		Всего	
						по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

## Первоначальный чернозем

—	0,1	0,18	0	0	{ 711	—	—	—	—	—	—
	0,1	1,18	0	0	{ 712	0,8	—	2,6	—	3,4	—
—	0,1	1,18	0	5,9	{ 713	0,8	—	2,5	—	3,3	—
	0,1	1,18	0	5,9	{ 714	0,6	0,7	2,7	2,6	3,3	3,3

## Чернозем, промытый водой

—	0,1	0,1	0,05	—	{ 613	1,5	—	3,1	—	4,6	—
	—	—	—	—	{ 614	0,8	1,2	2,6	2,9	3,4	4,1
0,1	—	0,1	0,05	—	{ 603	0,8	—	2,6	—	3,4	—
	—	—	—	—	{ 604	1,4	1,1	2,8	2,7	4,2	3,8

## I. Почва содержит 0,53 мг-экв. поглощенного Al

0,1	—	0,1	0,05	—	{ 617	7,7	—	11,2	—	18,9	—
	—	—	—	—	{ 618	8,0	7,8	10,9	11,1	18,9	18,9
0,1	—	0,1	0,05	0,10	{ 619	7,8	—	10,4	—	18,2	—
	—	—	—	—	{ 620	7,5	7,7	9,6	10,0	17,1	17,7
0,1	—	0,1	0,05	0,13	{ 621	7,9	—	10,8	—	18,7	—
	—	—	—	—	{ 622	7,4	7,7	11,1	10,9	18,5	18,6
0,1	—	0,1	0,05	0,26	{ 623	7,9	—	9,9	—	17,8	—
	—	—	—	—	{ 624	7,7	7,8	9,9	9,9	17,6	17,7
—	0,1	0,1	0,05	—	{ 625	7,9	—	9,3	—	17,2	—
	—	—	—	—	{ 626	7,2	7,5	9,8	9,6	17,0	17,1
—	0,1	0,16	0,05	—	{ 627	7,7	—	10,1	—	17,8	—
	—	—	—	—	{ 628	7,5	7,6	9,8	10,0	17,3	17,6
—	0,1	0,16	0,05	0,13	{ 629	8,0	—	10,7	—	18,7	—
	—	—	—	—	{ 630	7,8	7,9	10,9	10,8	18,7	18,7

## II. Почва содержит 0,75 мг-экв. поглощенного Al

0,1	—	0,1	0,05	—	{ 631	7,8	—	11,0	—	18,8	—
	—	—	—	—	{ 632	7,7	7,8	10,4	10,7	18,1	18,5
0,1	—	0,1	0,05	0,10	{ 633	7,8	—	10,4	—	18,2	—
	—	—	—	—	{ 634	7,3	7,5	9,5	9,9	16,8	17,4
0,1	—	0,1	0,05	0,20	{ 635	7,2	—	9,4	—	16,6	—
	—	—	—	—	{ 636	7,1	7,2	9,2	9,3	16,3	16,5
0,1	—	0,1	0,05	0,37	{ 637	8,1	—	8,9	—	18,0	—
	—	—	—	—	{ 638	6,9	7,5	8,9	9,4	15,8	16,9

Таблица 84 (продолжение)

Дано в г на сосуд				CaCO <sub>3</sub> в г на сосуд	№ сосудов	Урожай в г на сосуд					
N в NaNO <sub>3</sub>	N в Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgO в MgSO <sub>4</sub>			Зерна		Соломы		Всего	
						по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	0,1	0,1	0,05	—	{ 639 640 }	{ 8,8 7,6 }	8,2	{ 10,1 10,3 }	10,2	{ 18,9 17,9 }	18,4
—	0,1	0,2	0,05	—	{ 641 642 }	{ 7,5 7,6 }	7,5	{ 10,1 9,5 }	9,8	{ 17,6 17,1 }	17,3
—	0,1	0,2	0,05	0,20	{ 643 644 }	{ 7,5 6,4 }	7,0	{ 9,9 9,8 }	9,9	{ 17,4 16,2 }	16,8
III. Почва содержит 1,12 мг-экв. поглощенного Al											
0,1	—	0,1	0,05	—	{ 645 646 }	{ 6,0 7,0 }	6,5	{ 9,1 10,4 }	9,7	{ 15,1 17,4 }	16,2
0,1	—	0,1	0,05	0,14	{ 647 648 }	{ 6,4 6,3 }	6,3	{ 9,0 8,7 }	8,9	{ 15,4 15,0 }	15,2
0,1	—	0,1	0,05	0,28	{ 649 650 }	{ 7,2 7,2 }	7,2	{ 9,5 9,6 }	9,5	{ 16,7 16,8 }	16,7
0,1	—	0,1	0,05	0,56	{ 651 652 }	{ 7,4 7,2 }	7,3	{ 9,7 10,0 }	9,9	{ 17,1 17,2 }	17,2
—	0,1	0,1	0,05	—	{ 653 654 }	{ 7,6 7,0 }	7,3	{ 9,9 9,8 }	9,9	{ 17,5 16,8 }	17,2
—	0,1	0,23	0,05	—	{ 655 656 }	{ 7,0 7,9 }	7,4	{ 9,2 9,3 }	9,3	{ 16,2 17,2 }	16,7
—	0,1	0,23	0,05	0,28	{ 657 658 }	{ 7,6 7,6 }	7,6	{ 10,5 10,4 }	10,4	{ 18,1 18,0 }	18,0
IV. Почва содержит 5,72 мг-экв. поглощенного Al											
0,1	—	0,1	0,05	—	{ 659 660 }	{ 6,9 6,0 }	6,4	{ 9,2 9,4 }	9,3	{ 16,1 15,4 }	15,7
0,1	—	0,1	0,05	0,66	{ 661 662 }	{ 7,2 4,8 }	—	{ 9,0 6,5 }	—	{ 16,2 11,3 }	—
0,1	—	0,1	0,05	1,37	{ 663 664 }	{ 7,7 6,7 }	7,2	{ 9,4 9,7 }	9,6	{ 17,1 16,4 }	16,8
0,1	—	0,1	0,05	2,63	{ 665 666 }	{ 7,7 7,1 }	7,4	{ 9,9 9,3 }	9,6	{ 17,6 16,4 }	17,0
—	0,1	0,1	0,05	—	{ 667 668 }	{ 7,0 8,1 }	7,5	{ 9,1 9,3 }	9,2	{ 16,1 17,4 }	16,7
—	0,1	0,72	0,05	—	{ 669 670 }	{ 5,1 8,2 }	6,7	{ 7,7 10,1 }	8,9	{ 12,8 18,3 }	15,6
—	0,1	0,72	0,05	1,32	{ 671 672 }	{ 6,6 6,5 }	6,5	{ 9,2 9,3 }	9,3	{ 15,8 15,8 }	15,8

Таблица 84 (продолжение)

Дано в г на сосуд				CaCO <sub>3</sub> в г на сосуд	№ осужден	Урежал в г на сосуд					
N в KNO <sub>3</sub>	N в Ca(KNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgO в MgSO <sub>4</sub>			Зерна		Солема		Всего	
						по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

## V. Почва содержит 9,18 мг-экв. поглощенного Al

0,1	—	0,1	0,05	—	{ 673 7,7 674 7,6 }	7,6	{ 10,1 7,7 }	8,9	{ 17,8 15,3 }	16,5
0,1	—	0,1	0,05	0,15	{ 675 7,3 676 7,1 }	7,2	{ 9,1 9,1 }	9,1	{ 16,4 16,2 }	16,3
0,1	—	0,1	0,05	2,29	{ 677 7,6 678 6,8 }	7,2	{ 9,7 8,8 }	9,3	{ 17,3 15,6 }	16,5
0,1	—	0,1	0,05	4,59	{ 679 7,6 680 6,8 }	7,2	{ 10,2 8,8 }	9,5	{ 17,8 15,6 }	16,7
—	0,1	0,1	0,05	—	{ 681 7,4 682 7,6 }	7,5	{ 9,2 9,3 }	9,2	{ 16,6 16,9 }	16,7
—	0,1	1,19	0,05	—	{ 683 7,6 684 7,6 }	7,6	{ 9,3 9,7 }	9,5	{ 16,9 17,3 }	17,1
—	0,1	1,19	0,05	2,29	{ 685 7,6 686 7,5 }	7,6	{ 9,3 9,5 }	9,4	{ 16,9 17,0 }	17,0

## VI. Почва содержит 23,66 мг-экв. поглощенного Al

0,1	—	0,1	0,05	—	{ 687 7,4 688 7,3 }	7,4	{ 9,8 8,9 }	9,3	{ 17,2 16,2 }	16,7
0,1	—	0,1	0,05	2,96	{ 689 6,7 690 7,6 }	7,2	{ 9,7 9,9 }	9,8	{ 16,4 17,5 }	17,0
0,1	—	0,1	0,05	5,91	{ 691 7,7 692 6,5 }	7,1	{ 10,5 9,0 }	9,8	{ 18,2 15,5 }	16,9
0,1	—	0,1	0,05	11,8	{ 693 7,7 694 7,6 }	7,7	{ 10,8 10,7 }	10,7	{ 18,5 18,3 }	18,4
—	0,1	0,1	0,05	—	{ 695 7,6 696 7,7 }	7,6	{ 10,0 10,4 }	10,2	{ 17,6 18,1 }	17,8
—	0,1	1,19	0,05	—	{ 697 8,7 698 8,7 }	8,7	{ 11,7 11,4 }	11,5	{ 20,4 20,1 }	20,2
—	0,1	1,19	0,05	5,91	{ 699 8,3 700 7,9 }	8,1	{ 9,9 10,8 }	10,4	{ 18,2 18,7 }	18,5

## VII. Почва полностью насыщена Al

0,1	—	0,1	0,05	14,0	{ 703 6,2 704 7,3 }	6,7	{ 10,3 10,4 }	10,3	{ 16,5 17,7 }	17,0
—	0,1	0,1	0,05	14,0	{ 707 4,0 708 3,7 }	3,9	{ 9,0 10,3 }	9,7	{ 13,0 14,0 }	13,5

Урожай овса на почвах, разпо насыщенных алюминием

Почва	Контр.	I	II	III	IV	V	VI	VII
Содержит поглощ. Al в мг-экв.	0	0,55	0,75	1,12	5,27	9,19	23,63	Количество высаш.
1931? . . . . .	11,3	14,7	15,5	14,9	14,1	12,2	10,3	0
1932? . . . . .	3,6	18,0	18,4	16,7	16,2	16,6	17,2	2,8

также на семи почвах, содержащих разные количества поглощенного марганца (от 0,51 мг-экв. до полного насыщения емкости обмена почвы марганцем).

Этот опыт проведен с пятью растениями: овсом, гречихой, клевером, льном и горчицей.

Питательные вещества под все растения даны по 0,1 г N в виде  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и 0,05 MgO в  $\text{MgSO}_4$ ; кроме того под овес, гречиху и горчицу поставлена еще одна серия сосудов с двойным содержанием питательных веществ, внесенных в тех же формах.

Посев растений в 1931 г. произведен в следующие сроки: овес, гречиха, лен и горчица посеяны 9 июля, клевер — 8 июля. На почве, полностью насыщенной марганцем, лен и горчица не дали всходов, остальные же растения дали всходы, но они вскоре погибли. В октябре произведена уборка растений. Урожай приведены в таблицах 86, 87, 88, 89 и 90.

7 августа, после того как выяснилось, что на почве, полностью насыщенной марганцем, растения не могут развиваться, была произведена перебивка сосудов; при этом почва из всех сосудов предварительно была смешана. В одну группу сосудов внесено по 12 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , в другую — по столько же магнезита, в третью группу сосудов ничего не внесено. 8 августа в эти сосуды посеяны те же пять растений. 12—13 августа появились всходы овса, гречихи и клевера во всех сосудах, лен дал всходы только в сосудах с  $\text{CaCO}_3$ , горчица же не дала всходов. Вскоре погибли всходы льна и клевера. Урожай приведен в таблице 91.

Углекислый кальций в незначительной степени, но уменьшил вредное действие марганца на овсе и гречихе; действие магнезита еще более слабое. Возможно, что более высокие дозы  $\text{CaCO}_3$  увеличили бы положительное его действие, но недостаток почвы, полностью насыщенной марганцем, не позволил расширить опыт.

После уборки растений почва в сосудах сохранена для повторения опыта на следующий год. Весной 1932 г. произведена перебивка сосудов, при этом дано по 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3$  и по 0,2 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  на сосуд. Посев льна произведен 11 мая, клевер и горчица посеяны 16 мая, гречиха — 16 мая, овес — 17 мая.

Уборка растений произведена в июле-августе. Урожай дан в таблицах 92, 93, 94, 95 и 96.

## Урожай овса в 1931 г. на почве, разнo насыщеннои марганцем

Дано на сосуд в г		№ со- судов	Урожай в г на сосуд					
			Зерно		Соломы		Всего	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	MgO		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
<b>Первоначальный чернозем</b>								
NPK по 0,1 . . . .	—	{ 549 550 }	{ 6,1 6,8 }	5,9	{ 10,1 9,9 }	10,0	{ 16,2 15,7 }	15,9
<b>Чернозем, пропашный водоел</b>								
NPK по 0,1 . . . .	—	{ 603 604 }	{ 4,2 4,4 }	4,3	{ 7,2 7,5 }	7,4	{ 11,4 11,9 }	11,7
<b>I. Почва обработана 0,001 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 0,51 мг-экв. обмен. Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 715 716 }	{ 5,6 4,8 }	5,2	{ 11,1 10,7 }	10,9	{ 16,7 15,5 }	16,1
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 717 718 }	{ 4,5 8,5 }	—	{ 14,1 12,3 }	13,2	{ 18,9 20,6 }	19,9
<b>II. Почва обработана 0,005 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 0,91 мг-экв. обмен. Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 719 720 }	{ 5,6 6,7 }	6,2	{ 11,2 9,8 }	10,6	{ 16,8 16,5 }	16,7
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 721 722 }	{ 7,6 6,9 }	7,3	{ 11,6 14,0 }	12,6	{ 19,2 20,9 }	20,1
<b>III. Почва обработана 0,01 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 1,45 мг-экв. обмен. Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 723 724 }	{ 5,7 6,0 }	5,9	{ 9,2 9,7 }	9,4	{ 14,9 15,7 }	15,3
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 725 726 }	{ 5,7 7,6 }	6,7	{ 13,5 12,2 }	12,8	{ 19,2 19,8 }	19,5
<b>IV. Почва обработана 0,05 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 4,38 мг-экв. обмен. Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 727 728 }	{ 6,5 6,1 }	6,3	{ 9,7 9,9 }	9,8	{ 16,2 16,0 }	16,1
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 729 730 }	{ 7,1 7,0 }	7,1	{ 12,9 11,5 }	12,2	{ 20,0 18,5 }	19,3
<b>V. Почва обработана 0,1 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 7,36 мг-экв. обмен. Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 731 732 }	{ 5,0 5,3 }	5,2	{ 8,9 10,6 }	9,7	{ 13,9 15,9 }	14,9
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 733 734 }	{ 5,4 6,4 }	5,9	{ 12,5 11,9 }	12,2	{ 17,9 18,3 }	18,1
<b>VI. Почва обработана 0,5 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 15,59 мг-экв. обмен. Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 735 736 }	{ 4,4 4,1 }	4,2	{ 10,4 10,5 }	10,6	{ 14,8 14,9 }	14,9
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 737 738 }	{ 5,6 5,3 }	5,5	{ 11,9 13,1 }	12,5	{ 17,5 18,4 }	18,0
<b>VII. Почва полностью насыщена Mn</b>								
NPK по 0,1 . . . .	0,05	{ 739 740 }	{ 0 0 }	0	{ 0,2 0,2 }	0,2	{ 0,2 0,2 }	0,2
NPK по 0,2 . . . .	0,1	{ 741 742 }	{ 0 0 }	0	{ 0,2 0,2 }	0,2	{ 0,2 0,2 }	0,2

Таблица 87

Урожай гречихи в 1931 г. на почве, разнo насыщеннои марганцем

Дано на сосуд в г		№ со- судов	Урожай в г на сосуд					
			Зерна		Соломы		Всего	
N, P, O, и K <sub>2</sub> O	MgO		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
<b>Первоначальный чернозем</b>								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 597 598 }	{ 5,0 4,6 }	4,7	{ 7,6 8,5 }	8,1	{ 12,6 13,0 }	12,8
<b>Чернозем, промывтый водой</b>								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 607 608 }	{ 4,7 5,2 }	5,0	{ 6,8 6,9 }	6,8	{ 11,5 12,1 }	11,8
I. Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,51 мг-экв. обмен. Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 743 744 }	{ 5,2 5,3 }	5,2	{ 8,7 8,5 }	8,6	{ 13,9 13,8 }	13,8
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 745 746 }	{ 8,4 9,0 }	8,7	{ 12,1 11,1 }	11,6	{ 20,5 20,1 }	20,3
II. Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,31 мг-экв. обмен. Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 747 748 }	{ 5,8 5,8 }	5,8	{ 9,0 8,6 }	8,8	{ 14,8 14,4 }	14,6
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 749 750 }	{ 8,8 8,6 }	8,7	{ 11,6 11,5 }	11,6	{ 20,4 20,1 }	20,3
III. Почва обработана 0,01 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 1,45 мг-экв. обмен. Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 751 752 }	{ 5,8 5,3 }	5,5	{ 9,0 8,2 }	8,6	{ 14,8 13,5 }	14,1
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 753 754 }	{ 8,3 8,7 }	8,5	{ 10,7 11,1 }	10,9	{ 19,0 19,5 }	19,4
IV. Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 4,38 мг-экв. обмен. Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 755 756 }	{ 5,3 5,1 }	5,2	{ 8,7 8,5 }	8,6	{ 14,0 13,6 }	13,8
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 757 758 }	{ 8,3 8,3 }	8,3	{ 11,7 11,9 }	11,8	{ 20,0 20,1 }	20,1
V. Почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 7,36 мг-экв. обмен. Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 759 760 }	{ 5,1 4,6 }	4,8	{ 6,4 7,2 }	7,8	{ 13,5 11,8 }	12,6
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 761 762 }	{ 7,3 8,0 }	7,6	{ 9,8 10,5 }	10,3	{ 17,1 18,8 }	17,9
VI. Почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 18,59 мг-экв. обмен. Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 763 764 }	{ 0 0 }	0	{ 0,5 0,5 }	0,5	{ 0,5 0,5 }	0,5
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 765 766 }	{ 0 0 }	0	{ 0,3 0,3 }	0,3	{ 0,3 0,3 }	0,3
VII. Почва полностью насыщена Mn								
NPK по 0,1 . . .	0,05	{ 767 768 }	{ 0 0 }	0	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 0,1 0,1 }	0,1
NPK по 0,2 . . .	0,1	{ 769 770 }	{ 0 0 }	0	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 0,1 0,1 }	0,1

## Урожай горчицы в 1931 г. на почве, разнo насыщеннoй марганцем

Дано на сосуд в г		№ со- судов	Урожай в г на сосуд					
			Зерна		Сосиски		Всего	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , и K <sub>2</sub> O в г	MgO		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
<b>Первоначальными чернезем</b>								
По 0,1 NPK . . .	—	{ 573 574 }	{ 0,4 0,1 }	—	{ 4,1 3,5 }	3,8	{ 4,5 3,0 }	4,3
<b>Чернезем, промывая водой</b>								
По 0,1 NPK . . .	—	{ 606 606 }	{ 0,3 0,4 }	0,3	{ 3,5 2,9 }	3,2	{ 3,7 3,3 }	3,5
I. Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,51 мг-экв. обмен. Mn								
По 0,1 NPK . . .	0,05	{ 771 772 }	{ 2,0 2,0 }	2,0	{ 5,5 5,7 }	5,6	{ 7,5 7,7 }	7,6
По 0,3 NPK . . .	0,1	{ 773 774 }	{ 5,0 3,2 }	3,1	{ 9,3 8,2 }	8,8	{ 12,3 11,4 }	11,9
II. Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,91 мг-экв. обмен. Mn								
По 0,1 NPK . . .	0,05	{ 775 776 }	{ 1,9 1,9 }	1,9	{ 6,2 5,9 }	6,1	{ 8,1 7,8 }	8,0
По 0,3 NPK . . .	0,1	{ 777 778 }	{ 2,9 3,1 }	3,0	{ 7,9 8,9 }	8,4	{ 10,6 12,0 }	11,65
III. Почва обработана 0,01 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,45 мг-экв. обмен. Mn								
По 0,1 NPK . . .	0,05	{ 779 780 }	{ 1,3 1,9 }	1,6	{ 5,5 5,2 }	5,3	{ 6,8 7,1 }	6,9
По 0,3 NPK . . .	0,1	{ 781 783 }	{ 3,0 3,4 }	3,2	{ 7,9 7,9 }	7,9	{ 10,9 11,3 }	11,1
IV. Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 1,45 мг-экв. обмен. Mn								
По 0,1 NPK . . .	0,05	{ 783 784 }	{ 2,0 1,7 }	1,9	{ 5,8 5,3 }	5,6	{ 7,3 7,0 }	7,1
По 0,3 NPK . . .	0,1	{ 785 786 }	{ 3,5 2,9 }	3,2	{ 6,4 7,5 }	7,0	{ 9,9 10,4 }	10,2
V. почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 7,36 мг-экв. обмен. Mn								
По 0,1 NPK . . .	0,05	{ 787 788 }	{ 1,9 1,6 }	1,8	{ 3,5 2,8 }	3,1	{ 5,4 4,3 }	4,9
По 0,3 NPK . . .	0,1	{ 789 790 }	{ 1,8 1,2 }	1,5	{ 4,2 5,2 }	4,7	{ 6,0 6,4 }	6,2
VI. Почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 18,59 мг-экв. обмен. Mn								
По 0,1 NPK . . .	0,05	{ 791 792 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
По 0,3 NPK . . .	0,1	{ 793 794 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
VII. Почва полностью насыщена Mn								
		{ 795 796 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0
		{ 797 798 }	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0	{ 0 0 }	0

## Урожай льна в 1931 г. по почве, разны насыщенности марганцем

Дано на сосуд в г		№ со- судов	Урожай льна на сосуд					
			Зерна		Соломы		Всего	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	MgO		по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.

## Первоначальный чернозем

НРК по 0,1 . . | — | { 599 | 1,8 } | 4,8 | { 11,4 } | 11,2 | { 13,2 } | 13,0  
 { 600 | 1,8 }

## Чернозем, промытый водой

НРК по 0,1 . . | — | { 609 | 1,7 } | 4,5 | { 9,8 } | 9,8 | { 11,5 } | 11,3  
 { 610 | 1,3 }

I. Почва обработана 0,001 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 0,51 мг-экв.  
обменного Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 799 | 2,5 } | 2,6 | { 10,9 } | 11,6 | { 13,4 } | 14,2  
 { 800 | 2,6 }

II. Почва обработана 0,005 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 0,94 мг-экв.  
обменного Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 801 | 1,8 } | 4,9 | { 10,0 } | 11,0 | { 11,8 } | 12,9  
 { 802 | 2,0 }

III. Почва обработана 0,01 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 1,45 мг-экв.  
обменного Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 803 | 1,8 } | 2,2 | { 10,8 } | 11,1 | { 12,6 } | 13,3  
 { 804 | 2,6 }

IV. Почва обработана 0,05 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 4,38 мг-экв.  
обменного Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 805 | 2,6 } | 2,5 | { 10,1 } | 10,0 | { 12,7 } | 12,5  
 { 806 | 2,4 }

V. Почва обработана 0,1 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 7,36 мг-экв.  
обменного Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 807 | 1,4 } | 4,6 | { 7,3 } | 6,8 | { 8,7 } | 8,4  
 { 808 | 1,7 }

VI. Почва обработана 0,5 N MnCl<sub>2</sub>, содержит 18,59 мг-экв.  
обменного Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 809 | 0 } | 0 | { 0,1 } | 0,1 | { 0,1 } | 0,1  
 { 810 | 0 }

## VII. Почва насыщена полностью Mn

НРК по 0,1 . . | 0,05 | { 811 | 0 } | 0 | { 0 } | 0 | { 0 } | 0  
 { 812 | 0 }

## Урожай клевера в 1931 г. на почве, разнo насыщеннoй марганцем

Дано на сосуд в г		№ со- судов	Урожай сухой массы в г на сосуд	
N, P, O, и K, O	MgO		по сосудам	средний
Первоначальный чернозем				
NPK по 0,1 . .	0,05	{ 601   602 }	{ 5,6   6,2 }	5,9
Чернозем, промытый водой				
NPK по 0,1 . .	0,05	{ 611   612 }	{ 5,7   5,4 }	5,6
I. Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,51 мг-экв. обменного Mn				
NPK по 0,1 . .	0,05	{ 813   814 }	{ 8,3   8,4 }	8,3
II. Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,91 мг-экв. обменного Mn				
NPK по 0,1 . .	0,05	{ 815   816 }	{ 6,2   5,8 }	6,0
III. Почва обработана 0,01 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 1,45 мг-экв. обменного Mn				
	—	{ 817   818 }	{ 6,9   7,2 }	7,0
IV. Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 4,38 мг-экв. обменного Mn				
	—	{ 819   820 }	{ 7,3   6,6 }	7,0
V. Почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 7,36 мг-экв. обменного Mn				
	—	{ 821   822 }	{ 5,7   6,8 }	6,3
VI. Почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 18,59 мг-экв. обменного Mn				
	—	{ 823   824 }	{ 0   0 }	0
VII. Почва полностью насыщена Mn				
	—	{ 825   826 }	{ 0   0 }	0

Таблица 91

## Урожай растений на почве, полностью насыщеннoй Mn.

Схема опыта	Растение				
	Овес	Гречиха	Клевер	Горчица	Лен
Контроль . . . . .	0,19	0,20	0	0	0
12 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	0,59	0,25	0	0	0
12 мг-экв. магнетита . . . . .	0,22	0,23	0	0	0

## Урожай овса в 1952 г. на почве, равно насыщенности марганцем

Дано на сосуд в г		№ со- судов	Урожай в г на сосуд						
			Зерна		Соломы		Всего		
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	MgO								
<b>Первоначальный чернозем</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0	600	1,3	—	3,3	—	4,5	—	
<b>Чернозем, промкнутый водой</b>									
По 0,1 NPK . . .	0	{ 603 604	{ 0,8 1,4	1,1	{ 2,6 2,6	2,7	{ 3,4 4,2	3,8	
<b>I Почва содержит 0,51 мг-экв. обменного Mg</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0,05	{ 715 716	{ 7,4 8,4	7,9	{ 10,8 11,5	11,1	{ 19,2 19,9	18,0	
По 0,2 NPK . . . .	0,1	{ 717 718	{ 7,5 8,0	7,7	{ 10,5 10,2	10,4	{ 18,1 18,2	18,1	
<b>II. Почва содержит 0,91 мг-экв. обменного Mg</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0,05	{ 719 720	{ 6,5 7,4	6,9	{ 9,8 9,2	9,5	{ 16,3 16,6	16,4	
По 0,2 NPK . . . .	0,1	{ 721 722	{ 2,2 8,1	—	{ 10,3 10,3	10,3	{ 12,4 18,4	—	
<b>III. Почва содержит 1,45 мг-экв. обменного Mg</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0,05	{ 723 724	{ 7,1 7,6	7,3	{ 10,2 10,3	10,2	{ 17,3 17,9	17,5	
По 0,2 NPK . . . .	0,1	{ 725 726	{ 7,3 7,3	7,3	{ 9,6 9,9	9,8	{ 16,0 17,2	17,1	
<b>IV. Почва содержит 4,38 мг-экв. обменного Mg</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0,05	{ 727 728	{ 7,2 7,4	7,3	{ 11,1 10,4	10,7	{ 18,3 17,8	18,0	
По 0,2 NPK . . . .	0,1	{ 729 730	{ 7,7 7,4	7,5	{ 10,0 10,0	10,0	{ 17,7 17,4	17,5	
<b>V. Почва содержит 7,36 мг-экв. обменного Mg</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0,05	{ 731 732	{ 7,4 7,9	7,7	{ 10,2 10,3	10,2	{ 17,6 18,2	17,9	
По 0,2 NPK . . . .	0,1	{ 733 734	{ 7,8 7,4	7,6	{ 10,2 9,1	9,7	{ 18,0 16,5	17,3	
<b>VI. Почва содержит 13,59 мг-экв. обменного Mg</b>									
По 0,1 NPK . . . .	0,05	{ 735 736	{ 8,3 8,1	8,2	{ 11,2 11,5	11,3	{ 19,5 19,6	19,5	
По 0,2 NPK . . . .	0,1	{ 737 738	{ 7,2 7,7	7,5	{ 10,2 10,2	10,2	{ 17,5 17,9	17,7	
<b>VII. Почва полностью насыщена Mg</b>									
По NPK Mg	Контроль . . . .	—	{ 739 740	{ 0 0	0	{ 0 0,9	0	{ 0 0,9	0
	12 мг-экв. CaCO <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—
	12 мг-экв. маг- несита . . . .	—	741	—	—	1,1	—	1,1	—

## Урожай горчицы в 1932 г. на почве, разнo насыщеннои марганцем

Дано на сосуд		№ со- судов	Урожай в г. на сосуд					
			Зерна		Соломы		Всего	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O в г	MgO в г		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Первоначальный чернозем								
По 0,1 NPK . . . . .	0	598	0	—	1,6	—	1,6	—
Чернозем, промывтый водой								
По 0,1 NPK . . . . .	0	{ 605 606 }	{ 0 0 }	0	{ 2,2 1,9 }	2,1	{ 2,2 1,9 }	2,2
I. Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,51 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 NPK . . . . .	0,05	{ 771 772 }	{ 0,0 0,0 }	0	{ 2,7 3,1 }	2,9	{ 2,7 3,1 }	2,9
По 0,2 NPK . . . . .	0,1	{ 773 774 }	{ 0,0 1,2 }	—	{ 4,1 6,7 }	5,4	{ 4,1 7,9 }	6,0
II. Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,91 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 NPK . . . . .	0,05	{ 775 776 }	{ 0,0 0,0 }	0	{ 4,1 2,4 }	—	{ 4,1 3,4 }	—
По 0,2 NPK . . . . .	0,1	{ 777 778 }	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 4,8 5,6 }	4,2	{ 4,9 3,7 }	4,3
III. Почва обработана 0,01 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 1,45 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 NPK . . . . .	0,05	{ 779 780 }	{ 0 0 }	0	{ 3,1 1,0 }	2,5	{ 3,1 1,0 }	2,5
По 0,2 NPK . . . . .	0,1	{ 781 782 }	{ 0,1 0,0 }	0,1	{ 4,5 5,0 }	4,9	{ 4,9 5,2 }	5,0
IV. Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 4,39 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 NPK . . . . .	0,05	{ 783 784 }	{ 0 0 }	0	{ 3,5 2,9 }	3,2	{ 3,5 2,9 }	3,2
По 0,2 NPK . . . . .	0,1	{ 785 786 }	{ 0,1 0,1 }	0,1	{ 4,3 3,8 }	4,0	{ 4,4 3,9 }	4,1
V. Почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 7,36 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 NPK . . . . .	0,05	{ 787 788 }	{ 0,8 1,6 }	—	{ 5,7 7,1 }	6,4	{ 6,5 5,7 }	7,6
По 0,2 NPK . . . . .	0,1	{ 789 790 }	{ 1,5 1,5 }	1,5	{ 7,6 7,2 }	7,5	{ 8,3 8,7 }	8,0
VI. Почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 18,59 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 NPK . . . . .	0,05	{ 791 792 }	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—
По 0,2 NPK . . . . .	0,1	{ 793 794 }	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—
VII. Почва полностью заменена марганцем Mn								
Контроль . . . . .	—	796	0	—	0	—	0	—
3 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	—	797	0	—	0	—	0	—
2,5 г магнетита . . . . .	—	798	0	—	0	—	0	—

## Урожай гречихи в 1932 г. на почве, равно насыщенности марганцем

Даво на сосуд		№ со- судов	Урожай в г на сосуд					
			Зерна		Соломи		Весья	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O в г	MgO в г		по сосудам	средние	по сосудам	средние	по сосудам	средние
Первоначальный чернозем								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0	597	1,4	—	2,1	—	3,5	—
Чернозем, пронижный водой								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0	{ 607 608 }	{ 1,6 1,5 }	1,6	{ 2,5 2,2 }	2,3	{ 4,1 3,7 }	3,9
I. Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,51 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,05	{ 743 744 }	{ 7,4 6,6 }	7,0	{ 8,8 8,3 }	9,0	{ 17,2 14,9 }	16,0
По 0,2 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,1	{ 745 746 }	{ 7,7 7,5 }	7,6	{ 8,3 8,2 }	8,3	{ 16,0 15,7 }	15,9
II. Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,91 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,05	{ 747 748 }	{ 6,6 6,4 }	6,5	{ 7,9 8,3 }	8,1	{ 14,5 14,7 }	14,6
По 0,2 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,1	{ 749 750 }	{ 7,2 7,2 }	7,2	{ 7,3 9,0 }	8,2	{ 14,5 16,2 }	15,4
III. Почва обработана 0,01 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 1,45 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,05	{ 751 752 }	{ 6,8 6,2 }	6,5	{ 7,9 8,5 }	8,2	{ 14,7 14,7 }	14,7
По 0,2 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,1	{ 753 754 }	{ 5,8 6,6 }	6,2	{ 7,3 8,9 }	8,1	{ 13,1 15,5 }	14,3
IV. Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 4,38 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,05	{ 755 756 }	{ 7,4 6,8 }	7,1	{ 7,4 7,3 }	7,4	{ 14,8 14,1 }	14,5
По 0,2 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,1	{ 757 758 }	{ 6,6 6,9 }	6,8	{ 8,6 8,2 }	8,4	{ 15,2 15,1 }	15,2
V. Почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 7,36 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,05	{ 759 760 }	{ 7,8 7,1 }	7,5	{ 8,5 8,5 }	8,5	{ 16,3 15,6 }	16,0
По 0,2 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,1	{ 761 762 }	{ 7,6 7,8 }	7,7	{ 8,7 7,8 }	8,3	{ 16,3 15,6 }	16,0
VI. Почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 18,59 мг-экв. поглощен. Mn								
По 0,1 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,05	{ 763 764 }	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—
По 0,2 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O	0,1	{ 765 766 }	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—	{ 0 0 }	—
VII. Почва насыщенностью насыщен Mn								
Контроль . . . . .	—	742	0	—	0	—	0	0
30 г CaCO <sub>3</sub> . . . . .	—	767	0	—	0	—	0	0
2,5 магнелита . . . . .	—	768	0	—	0	—	0	3

Урожай льна в 1932 г. на почве, равно насыщенном марганцем

Внесено на сосуд		№ со- судов	Урожай в г на сосуд							
			Зерна		Соломы		Всего			
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O в г	MgO в г		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O внесены по 0,1 г на сосуд		MgO — 0,05 г на сосуд	Первоначальный чернозем							
			0	599	0,25	—	1,95	—	2,20	—
			Чернозем, промытый водой							
			0	609	0,2	0,3	1,2	1,5	1,4	1,8
				610	0,4		1,9		2,3	
			I. Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,51 мг-экв. поглощен. Mn							
			0	799	1,9	2,1	6,1	7,5	8,0	9,6
				800	2,2		8,9		11,1	
			II. Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 0,91 мг-экв. поглощен. Mn							
			0	801	1,2	1,5	6,7	6,9	7,9	8,4
				802	1,9		7,1		9,0	
			III. Почва обработана 0,01 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 1,45 мг-экв. поглощен. Mn							
			0	803	1,6	1,3	6,6	6,6	8,2	7,9
				804	1,1		6,6		7,7	
			IV. Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 4,33 мг-экв. поглощен. Mn							
0	805	1,3	1,6	5,5	6,3	6,8	7,9			
	806	1,9		7,2		9,1				
V. Почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 7,36 мг-экв. поглощен. Mn										
0	807	1,9	—	6,5	5,5	8,4	6,9			
	808	0,9		4,5		5,4				
VI. Почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , содержит 18,59 мг-экв. поглощен. Mn										
0	809	0	—	0	—	0	—			
	810	0		0		0				
VII. Почва полностью насыщена марганцем										
0	769	0	—	0	—	0	—			
	770	0	—	0	—	0	—			
	795	0	—	0	—	0	—			

## Урожай клевера в 1932 г. на почве, разнo насыщеннои марганцем

Дано на сосуд		№ со- сузов	Урожай воздушносухой массы в г на сосуд		
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O в г	MgO в г		по сосудам	среднее	
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O по 1,0 г на сосуд  MgO—0,05 г на сосуд		Первоначальный чернозем			
		601	4,3	}	1,3
		602	4,2		
		Чернозем, промытый водой			
		611	4,2	}	1,3
		612	4,4		
		I Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , со- держит 0,51 мг-экв. поглощен. Mn			
		813	13,5	}	13,4
		814	13,3		
		II Почва обработана 0,005 N MnCl <sub>2</sub> , со- держит 0,91 мг-экв. поглощен. Mn			
		815	11,3	}	10,0
		816	8,7		
		III Почва обработана 0,001 N MnCl <sub>2</sub> , со- держит 1,45 мг-экв. поглощен. Mn			
		817	12,8	}	13,0
		818	13,2		
		IV Почва обработана 0,05 N MnCl <sub>2</sub> , со- держит 4,38 мг-экв. поглощен. Mn			
		819	14,0	}	12,6
		820	11,2		
		V Почва обработана 0,1 N MnCl <sub>2</sub> , со- держит 7,36 мг-экв. поглощен. Mn			
		821	9,1	}	9,6
822	10,1				
VI почва обработана 0,5 N MnCl <sub>2</sub> , со- держит 18,59 мг-экв. поглощен. Mn					
823	0	}	0		
824	0				
VII Почва полностью насыщена марганцем					
Контроль . . . . .	811	0	—		
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	825	0	—		
Магнезит . . . . .	826	0	—		

Для сопоставления результатов опыта за 1931—1932 гг. привожу сводную таблицу общих урожаев за первый и второй годы опыта.

Таблица 97  
Средний урожай за 1931—1932 гг. (в граммах на сосуд)

Схема опыта		Год опыта	Овес		Гречиха		Горчица		Лен	Клевер
№ почвы	Содержит Mn		По 0,1 г NPK Mg	По 0,2 г NPK	По 0,1 г NPK Mg	По 0,2 г NPK	По 0,1 г NPK Mg	По 0,2 г NPK	По 0,1 г NPK	По 0,1 г NPK
Первоначальный чернозем		1	15,9	—	12,8	—	4,0	—	13,0	5,9
		2	4,5	—	3,4	—	1,9	—	2,1	1,3
Чернозем, про- мытый водой		1	11,7	—	11,8	—	3,5	—	11,3	5,6
		2	3,8	—	3,9	—	1,1	—	1,8	1,3
I	0,51 мг-экв.	1	16,1	19,9	13,8	20,3	7,6	11,9	14,2	8,3
		2	19,1	18,5	16,1	15,9	2,9	5,9	9,6	13,4
II	0,91 "	1	16,7	20,1	14,6	20,9	7,9	11,5	12,9	6,0
		2	16,5	—	14,6	15,4	3,2	5,3	8,5	10,0
III	1,45 "	1	15,3	19,5	14,1	19,4	6,9	11,1	13,3	7,0
		2	17,6	17,0	14,7	14,3	2,5	4,1	7,9	13,0
IV	4,38 "	1	16,1	19,2	13,7	20,0	7,4	10,1	12,9	7,0
		2	18,1	17,6	14,5	15,1	3,2	4,1	8,0	12,6
V	7,36 "	1	14,9	18,1	12,6	18,0	4,9	6,2	8,4	6,3
		2	17,9	17,3	16,0	16,0	7,6	8,9	6,9	9,6
VI	18,59 "	1	14,8	17,9	0,5	0,3	0	0	0,1	0
		2	19,5	17,7	0	0	0	0	0	0

Из приведенной таблицы видно, что положительное действие на растение поглощенного марганца проявилось и на втором году и в такой же зависимости от его содержания в почве, как и в первый год, причем здесь, как и в опыте с поглощенным алюминием, урожай второго года не отличаются резко от урожаев первого года опыта; урожай же на первоначальном черноземе и на черноземе, промытом водой, значительно пали на второй год у всех культур.

В результате получена громадная разница между контрольными и опытными почвами. Такое же явление имеет место и в опыте с известкованием чернозема, насыщенного водородом. Для выяснения причины этого явления К. К. Гедройц оставил еще на один год сосуды с первоначальным черноземом, с черноземом, промытым водой, и по два сосуда с наилучшим развитием растений на почвах, обработанных алюминием, марганцем и водородом<sup>1</sup>.

В первый год опыта овес, гречиха и горчица дали значительно более высокий урожай по двойной дозе NPK, чем по одной дозе, на второй же год овес дал по одной дозе NPK более высокий урожай, чем по двойной; гречиха дала почти одинаковые в том и другом случае урожай, на горчице же проявилось положительное действие двой-

<sup>1</sup> Повторные посевы на почве, насыщенной Н. в этих сосудах в 1933 г. дали такие же результаты (см. Результаты последствия, стр. 338, А. Н. Вольской).

ной дозы НРК и на втором году. Овес и клевер на второй год дали более высокий урожай, чем в первый год, лен и горчица значительно понизили урожай на втором году, и наконец гречиха по одной дозе НРК несколько повысила, по двойной же дозе понизила урожай.

Слабое положительное действие  $\text{CaCO}_3$  и магнезита на почве, полностью насыщенной марганцем, сохранилось на второй год только на овсе. На остальных же растениях действие этих соединений не проявилось.

**б) Опыт № 27. Сравнительное действие алюминия, кадмия и никеля, поглощенных всей почвой и частью ее**

*С. Г. Шедерос*

Для сравнительного изучения действия алюминия, поглощенного всей почвой и частью почвы, акад. К. К. Гедройц вводил алюминий в почвенный поглощающий комплекс двумя способами.

В одном случае вся почва подвергалась частичному насыщению алюминием путем обработки ее раствором  $\text{AlCl}_3$  той или иной концентрации, в другом случае к первоначальному чернозему подмешивалась почва, полностью насыщенная алюминием в таком количестве, чтобы смесь содержала такое же количество поглощенного алюминия, сколько его имеется в почве, целиком подвергавшейся обработке. Таким способом получены почвы со следующим содержанием поглощенного алюминия (в милли-эквивалентах):

Таблица 98

Методы приготовления почвы	№ почвы					
	1	2	3	4	5	6
Вся почва обработана $\text{Al}$ . . . . .	0,53	0,75	1,12	5,27	9,18	23,66
К первоначальной почве подмешана почва, полностью насыщенная $\text{Al}$ . .	0,53	0,75	1,12	5,27	9,18	23,66

На этих почвах посеян овес 9 июля, всходы его появились 11 июля. Во время вегетации растений не наблюдалось разницы между почвами, равно приготовленными. Растения убраны в октябре. Урожай приведен в таблице 99.

Почвы в сосудах оставлены на следующий год для повторения опыта.

Весной 1932 г. произведена перебивка сосудов с внесением по 0,2 г N в  $\text{NaNO}_3$  и по 0,2  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . 17 мая произведен посев овса, 21 мая появились всходы. За время развития растений так же, как и в первый год, не наблюдалась разницы между почвами, равно приготовленными. 28—29 июля произведена уборка растений. Урожай приведен в таблицах 99 и 100.

Урожай овса в 1931 г. на почве, насыщенной алюминием разными способами

№	Почва содержит мг-мв. погг. алюминия	У р о ж а в н а с о с у д														
		Почва вся обработана алюмином						К поровчатой почве добавлена почва, насыщенная алюминием								
		Зерна		Соломы		Всего		Зерна		Соломы		Всего				
№ # сосудов	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	№ осу-лов	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	№ осу-лов	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	0,53	{ 625 626	{ 5,6 5,4	5,5	{ 9,4 9,4	9,4	{ 15,0 14,8	14,9	{ 6,0 6,6	6,3	{ 12,9 12,1	12,5	{ 161 162	{ 18,9 18,7	18,8	
2	0,75	{ 639 640	{ 6,0 5,8	5,9	{ 8,5 9,6	9,1	{ 14,5 15,4	15,0	{ 7,1 6,6	6,8	{ 10,5 12,2	11,4	{ 163 164	{ 17,6 18,8	18,2	
3	1,12	{ 653 654	{ 5,5 6,2	5,8	{ 9,0 8,5	8,8	{ 14,5 14,7	14,6	{ 8,1 6,8	7,5	{ 11,1 11,1	11,1	{ 165 166	{ 19,2 17,9	18,6	
4	5,27	{ 667 668	{ 5,4 6,4	5,9	{ 7,4 8,3	7,8	{ 12,8 14,7	13,7	{ 7,2 5,5	6,3	{ 9,7 12,2	11,0	{ 167 168	{ 16,9 17,7	17,3	
5	9,18	{ 681 682	{ 5,0 6,0	5,5	{ 7,6 8,4	8,0	{ 12,6 14,4	13,5	{ 6,9 6,2	6,6	{ 9,6 9,7	9,6	{ 169 170	{ 16,5 15,9	16,2	
6	23,66	{ 695 696	{ 4,6 5,2	4,9	{ 6,6 6,2	6,4	{ 11,2 11,4	11,3	{ 5,1 —	—	{ 10,6 —	—	{ 171 172	{ 15,7 —	—	

Урожай овса в 1932 г. на почве, насыщенной алюминием разными способами

№	Почва с содержанием алюминия в мг-эка.	Урожай овса в г п л о в												
		Почва вел обработана азотом					К первоначальной почве поджигана почва, содержащая насыщенный алюминий							
		Зерна		Соломы		Всего		Зерна		Соломы		Всего		
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосуд.	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
1	0,53	{ 7,9 7,2 }	{ 9,3 9,5 }	{ 17,2 17,0 }	17,1	{ 7,2 7,7 }	{ 9,5 9,7 }	{ 16,1 16,2 }	16,1	{ 7,5 7,7 }	{ 16,7 17,4 }	{ 9,6 9,6 }	{ 16,7 17,4 }	17,1
2	0,75	{ 8,8 7,6 }	{ 10,2 10,3 }	{ 19,0 17,9 }	18,4	{ 7,3 7,2 }	{ 8,4 9,2 }	{ 16,3 16,4 }	16,4	{ 7,8 7,2 }	{ 15,7 16,4 }	{ 8,8 8,8 }	{ 15,7 16,4 }	16,1
3	1,12	{ 7,6 7,0 }	{ 10,0 9,8 }	{ 17,6 16,8 }	17,2	{ 7,6 7,9 }	{ 9,2 10,2 }	{ 16,5 16,6 }	16,5	{ 7,8 7,9 }	{ 16,8 18,1 }	{ 9,7 9,7 }	{ 16,8 18,1 }	17,5
4	5,27	{ 7,0 8,1 }	{ 9,1 9,3 }	{ 16,1 17,4 }	16,8	{ 6,9 6,3 }	{ 8,1 10,8 }	{ 16,7 16,8 }	16,7	{ 6,6 6,3 }	{ 15,0 17,1 }	{ 9,4 9,4 }	{ 15,0 17,1 }	16,0
5	9,18	{ 7,4 7,6 }	{ 9,2 9,3 }	{ 16,6 16,9 }	16,7	{ 9,7 8,8 }	{ 7,2 7,8 }	{ 16,9 17,0 }	16,9	{ 9,2 8,8 }	{ 16,9 16,6 }	{ 7,5 7,5 }	{ 16,9 16,6 }	16,7
6	23,66	{ 7,6 7,7 }	{ 10,0 10,4 }	{ 17,6 18,1 }	17,9	{ 7,1 7,2 }	{ 9,5 8,7 }	{ 17,1 17,2 }	17,1	{ 7,1 7,2 }	{ 16,6 15,9 }	{ 9,1 9,1 }	{ 16,6 15,9 }	16,2

Для сопоставления приводится таблица 101 средних общих урожаев овса за 1931 и за 1932 гг. (в граммах на сосуд).

Таблица 101

№ почв	Содержит мг-экв. поглощ. Al	1931 г.		1932 г.	
		Вся почва обработана Al	К первоначальной почве подмешана почва, полностью насыщенная Al	Вся почва обработана Al	К первоначальной почве подмешана почва, полностью насыщенная Al
1	0,53	14,9	18,8	17,1	17,0
2	0,75	15,0	18,3	18,4	15,9
3	1,12	14,6	18,6	17,2	17,4
4	5,27	13,7	17,3	16,8	16,0
5	9,18	13,5	16,2	16,7	16,7
6	23,66	11,3	15,2	17,5	16,2

Из приведенных общих урожаев видно, что в первый год опыта проявляется значительная разница между почвами, насыщенными алюминием разными способами, причем более высокий урожай получен при подмешивании к первоначальному чернозему почвы, насыщенной алюминием. Как на одной, так и на другой почве урожай понижается с увеличением содержания в почве поглощенного алюминия. Тот же опыт показывает, что на второй год опыта различие между почвами, насыщенными алюминием разными методами, исчезает.

Такого же содержания опыты поставлены К. К. Гедройдем с кадмием и никелем. Результаты их за 1931 г. сообщены К. К. Гедройдем в «Трудах НИУ», вып. 113<sup>1</sup>; в настоящей статье приводятся результаты этих опытов за второй год работы с ними.

Весной 1932 г. после перебивки сосудов и внесения питательных растворов произведен посев льна. Всходы льна появились на почвах, содержащих 3,45 и 7,22 мг-экв. поглощенного кадмия и на почвах, содержащих 2,71 и 6,11 мг-экв. поглощенного никеля. Заметной разницы между почвами, разными способами насыщенными, не проявилось. Всходы вскоре погибли, и в этих же сосудах после выхления почвы был посеян клевер. Всходы клевера появились в сосудах с 3,45 мг-экв. кадмия на обеих почвах и с 7,22 и 13,52 мг-экв. только на почвах, получивших кадмий в подмеси.

На почвах, насыщенных никелем, всходы клевера появились на обеих почвах, содержащих по 2,71 и по 6,11 мг-экв. поглощенного никеля; на почвах, содержащих 13,52 мг-экв. поглощенного никеля, всходов не дали ни та, ни другая почва. Появившиеся всходы вскоре погибли, и 25 июля во все сосуды был посеян овес; 27—28 июля появились всходы во всех сосудах. 3 августа появилась пятнистость на листьях овса по кадмию. На почве, обработанной кадмием, всходы хуже, чем на почве с подмесью. На листьях овса в сосудах с почвой, насыщенной никелем, появились белые полоски. 22 сентября произведена уборка овса. Урожай приведен в таблицах 102 и 103.

<sup>1</sup> См. также стр. 76 и 83 данного сборника.

Урожай овса в 1932 г. на поже, насыщеннои иадмием разными способами

№ почета	Полева содержит м-во. поже, высева	Урожай овса в 1932 г.											
		Поже вы обработана кидмием					К персональной поже поддомана поже, полностью высева-ны кидмием						
		Зерно		Солома		№ сосудов	Всего		Зерно		Солома		Всего
по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
1	3,45	{ 505 306	—	{ 1,0 1,1	1,1	1,1	1,1	0	—	{ 2,2 2,4	2,3	{ 2,2 2,4	2,3
2	7,22	{ 909 1000	—	{ 0,1 0,1	0,1	0,1	0	—	{ 0,4 0,5	0,5	{ 0,4 0,5	0,5	
3	13,52	{ 1003 1004	—	{ 0,02 0,04	0,03	0,03	0	—	{ 0,12 0,10	0,11	{ 0,12 0,10	0,11	

Таблица 403

Урожай овса в 1932 г. на поже, насыщеннои иадмием разными способами

№ почета	Полева содержит м-во. поже, высева	Урожай овса в 1932 г.										
		Поже вы обработана кидмием					К персональной поже поддомана поже, полностью высева-ны кидмием					
		Зерно		Солома		№ сосудов	Всего		Зерно		Солома	
по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
1	2,71	{ 1007 1005	—	{ 3,0 3,3	3,2	3,2	0	—	{ 3,0 3,0	3,0	{ 3,0 3,0	3,0
2	6,11	{ 1011 1012	—	{ 0,13 0,13	0,13	0,12	0	—	{ 0,30 0,30	0,30	{ 0,30 0,30	0,30
3	13,52	{ 1015 1016	—	{ 0 0	—	—	0	—	{ 0 0	—	{ 0 0	—

Из урожайных данных видно, что во всех случаях, когда почва вся подвергалась обработке солью кадмия, урожай овса более низкий, чем на почве, содержащей столько же поглощенного кадмия, но внесенного в почву с почвой, полностью насыщенной этим элементом. Это же положение сохраняется и для почвы, содержащей 6,11 мг-экв. поглощенного никеля; на почве же, содержащей 2,71 мг-экв. Ni, получена обратная зависимость, но разница в урожаях небольшая.

Из приведенных опытов можно сделать вывод, что в первый год опыта на почвах, подвергавшихся целиком обработке солью того или иного элемента, получен более низкий урожай, чем на почвах, содержащих такое же количество поглощенного элемента, но состоящих из смеси первоначальной почвы и почвы, полностью насыщенной. На второй год разница эта в опыте с алюминием сглаживается, но для почв с поглощенным кадмием и никелем она остается.

Таким образом приведенные два способа насыщения почвы основаниями оказались не вполне равнозначными.

## ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

# РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ В 1933 г. ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТОВ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА ПО ТЕМЕ «ПОЧВЕННЫЕ ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ И РАСТЕНИЕ»

А. Н. ВОЛЬСКАЯ

По окончании вегетационного периода 1932 г. К. К. Гедройцем были даны указания о сохранении на зиму целого ряда сосудов из опытов этого года, которые он предполагал включить в опыты 1933 г. Список опытов, намеченных К. К. Гедройцем к повторению, приводится в таблице 1. Все оставленные опыты относились к теме «Почвенные обменные катионы и растение».

Комиссия из научных сотрудников Института под председательством проф. А. А. Лебединцева рассмотрела схемы и результаты опытов, оставленных К. К. Гедройцем, и постановила повторить опыты во всех оставленных им сосудах за исключением опытов № 3, 21, 25, 26, и 32, необходимость продолжения которых не представлялась пока комиссии ясной.

Так как К. К. Гедройц не оставил своих указаний о каких-либо изменениях в схемах опытов, то комиссия постановила повторить опыты без изменений, наметивши только количества питательных растворов для внесения в том или другом опыте при перебивке сосудов. В отношении опытных растений было постановлено высевать те же растения, которые были в каждом из опытов в предшествующем году, т. е. овес по овсу, лен по льну и т. д., как это практиковалось самим К. К. Гедройцем при повторении опытов.

При изложении полученных в 1933 г. результатов этих опытов они располагаются в общем в том же порядке, по которому был составлен основной отчет об опытах К. К. Гедройца за 1930—1932 гг. Проведение указанных опытов в 1933 г. было поручено А. Н. Вольской.

### 1. Опыты по известкованию и изучению соотношения между обменным кальцием и магнием

а) Опыт № 9 (основной). Изучение соотношения между обменным кальцием и магнием на почве, полностью насыщенной Н.

Из двух опытов, поставленных К. К. Гедройцем по этой теме в 1932 г.—одного с овсом, другого со льном, им был оставлен для повторения в 1933 г. только опыт со льном; при этом из 320 сосудов этого опыта К. К. Гедройцем было оставлено лишь 66 сосудов с наиболее интересными комбинациями схемы опыта и без соответствующих парных, так как почва из парных сосудов была использована по заданиям К. К. Гедройца на анализы водных вытяжек из них.

Перебивка сосудов опыта со льном в 1933 г. была произведена

Таблица 1

Сводка опытов, оставленных акад. К. К. Гедройцем для повторения в 1933 г.

№ опыта по основной таблице <sup>1</sup>	Название опыта	Число сосудов в опыте	Число оставленных сосудов
3	Опыт с почвой, полностью насыщенной магнием . . . . .	36	36
9	Основной опыт по изучению соотношения между обменными Ca: Mg на почве, полностью насыщенной H <sup>+</sup> . . . . .	320	66
41	Опыты с различными видами и дозами доломитов на почве, полностью насыщенной H <sup>+</sup> . . . . .	136	134
13	Опыт с почвой, полностью насыщенной кальцием . . . . .	34	34
16	Основной опыт по изучению соотношения между обменными Ca:Mg на торфянистой почве . . . . .	352	132
19	Опыт с SrCO <sub>3</sub> и CaCO <sub>3</sub> на торфянистой почве . . . . .	50	50
20	Известкование торфянистой почвы, частично насыщенной Ca и Ca + Mg . . . . .	47	47
21	Опыт с MnCO <sub>3</sub> и CaCO <sub>3</sub> на торфянистой почве . . . . .	140	88
27	Опыт действия одинаковых количеств поглощенного Cd и Ni при двух различных способах введения их в почву . . . . .	24	24
4	Отдельные группы сосудов из опытов с известкованием почвы, полностью насыщенной H <sup>+</sup> на пяти растениях . . . . .	183	22
25	Отдельные группы сосудов из опыта с почвой, в различной степени насыщенной Al . . . . .	122	22
26	Отдельные группы сосудов из опыта с почвой, в различной степени насыщенной марганцем . . . . .	112	10
32	Влияние различных способов подготовки почвы для вегетационных опытов на ее урожайность . . . . .	80	68
	Итого было оставлено К. К. Гедройцем . . . . .	—	733
	Утверждено НИУ для повторения в 1933 г. . . . .	—	509

<sup>1</sup> См. сводку опытов, стр. 164.

27 мая с внесением в каждый сосуд по 0,05 г N в виде  $\text{NaNO}_3$  и 0,05 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в виде  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . 31 мая в сосуды был посеян лен, убранный в различные сроки с 11 по 26 августа в зависимости от созревания. Урожайные данные опыта приведены в таблице 2.

Основные результаты этого опыта, выявляющие значение магния при различных степенях известкования почвы, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>, подтверждаются урожайными данными и второго года опыта. Так же как и в 1932 г., введение магния в общую сумму нейтрализаторов ненасыщенной почвы оказывает различное действие на урожай льна в зависимости от степени нейтрализации. При недостаточном для полного насыщения почвы основаниями известкования и при полной нейтрализации ненасыщенности почвы, т. е. в условиях опыта от 20 и до 50 мг-экв. нейтрализаторов на 100 г почвы, магний понижает урожай льна и особенно процент зерна. Но при избыточном известковании сверх емкости обмена почвы (при 55 мг-экв.) магний является совершенно необходимым, чтобы спасти растения от гибели. Вместе с этим, так же как и в первый год опыта, такая защитная роль магния при избыточном известковании проявляется только в очень узком интервале, именно лишь при 55 мг-экв. внесенных нейтрализаторов; уже при следующей дозе избыточного известкования — при 60 мг-экв. — и наличие магния не предохраняет растений от гибели, причина которой не может быть еще расшифрована на основании данных этого опыта. Наряду с отмеченными совпадениями в результатах излагаемого опыта за первый и второй годы его проведения имеется также и ряд изменений по сравнению с первым годом.

Первое изменение заключается в том, что оптимальный урожай льна при внесении одного  $\text{CaCO}_3$  был получен при дозе 50 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ , а не при 45 мг-экв., как в первый год опыта. Этот результат объясняется, по видимому тем, что реакция взаимного обмена между Н<sup>+</sup> почвы и внесенным  $\text{CaCO}_3$  с течением времени прошла более полно, так что в почве этого сосуда на второй год опыта уже не оставалось  $\text{CaCO}_3$  как такового. По воззрениям К. К. Гедройца при наличии в нейтральной почве свободного  $\text{CaCO}_3$  количество кальция в почвенном растворе должно быть значительно выше, чем то количество кальция, которое может перейти в раствор только из почвенного поглощающего комплекса. Точка зрения К. К. Гедройца получила достаточное подтверждение в цифрах воднорастворимого кальция при анализе водных вытяжек из почв этого опыта в 1932 г. Эти цифры, выписанные из табл. 31 аналитических данных, помещенных в основном отчете об опытах К. К. Гедройца за 1930—1932 гг., следующие:

Внесено $\text{CaCO}_3$ в мг-экв. на 100 г почвы	% Ca в водной вы- тяжке
35	0,0035
40	0,0038
45	0,0051
50	0,0105
55	0,0257

Приведенные цифры показывают, что количество воднорастворимого кальция, слабо изменяясь при внесении  $\text{CaCO}_3$  до 45 мг-экв. на 100 г почвы, увеличивается вдвое при 50 мг-экв., что и может быть объяснено наличием в этом сосуде свободного  $\text{CaCO}_3$ , не прореагировав-

Таблица 2

Урожай льна в опыте 1933 г. с разным соотношением между Са и Mg на почве, полностью насыщенной Н.

(в г на сосуд)

Схема опыта		№ сосудов	Зерно	Солома	Всего
Внесено в мг-экв. на 100 г почвы					
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>				
0		1018	Всходов не было		
»	0	1021	Всходы были, но погибли		
»	15	1023	0	0,27	0,27
»	20	1025	0	0,70	0,70
»	25	1027	0	1,60	1,60
»	30	1029	0	0,78	0,78
»	35	1031	0,30	3,77	4,07
»	40	1033	0,30	5,02	5,32
»	45	1035	0,40	5,80	6,20
»	50	1037	1,50	8,27	9,77
»	55	1039			
»	60	1041	Всходы были, но погибли		
»	65	1043			
»	70	1045			
»	80	1047			
»	100	1049			
5	30	1001	0,17	4,05	4,22
»	35	1003	0,30	6,95	7,25
»	40	1005	0,15	5,80	5,95
»	45	1007	0,71	5,40	6,11
»	50	1009			
»	55	1071	Всходы были, но погибли		
10	0	1083	Всходов не было		
»	10	1085	0	0,50	0,50
»	15	1087	0	1,70	1,70
»	20	1089	0	2,42	2,42
»	25	1091	0	4,90	4,90
»	30	1093	0,10	4,80	4,90
»	35	1095	0,15	4,65	4,80
»	40	1097	0,75	3,27	4,02
»	45	1099	0,70	8,77	9,47
»	50	1101			
»	55	1103	Всходы были, но погибли		
»	60	1105			
»	65	1107			
»	70	1109			
»	80	1111			
»	100	1113			
15	20	1121	0,10	2,92	3,02
»	25	1123	0,01	5,10	5,11
»	30	1125	0,05	4,90	4,95
»	35	1127	0,05	5,65	5,69
»	40	1129	2,65	8,70	11,35
»	45	1131	Всходы были, но погибли		
25	0	1147	Всходов не было		
»	10	1149	0	4,12	4,12
»	15	1151	0	3,40	3,40
»	20	1153	0	5,67	5,67
»	25	1155	0,05	5,30	5,35
»	30	1157	0,20	7,80	8,00
»	35—100	1159—1177	Всходы были, но погибли		

шего еще с почвой в первый год опыта. Другое изменение в урожайных данных заключается в том, что, в то время как в первый год опыта губительное действие избыточного известкования при дозе 55 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  устранялось совместным внесением  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  только при соотношении «30 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  + 25 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ », во второй год лен достаточно хорошо развивался и при более широком отношении внесенных кальция и магния, именно при комбинации «40 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  + 15 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ » и «45 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  + 10 мг-экв.  $\text{MgCO}_3$ », как это видно из соответствующего сопоставления урожайных данных в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительное действие совместного внесения  $\text{CaCO}_3$  +  $\text{MgCO}_3$  в первый год опыта и при повторении его в тех же сосудах на второй год по урожаям льна на почве, полностью насыщенной N (в г на сосуд)

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы		В 1932 г.				В 1933 г.			
$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	№ сосудов	Зерно	Солома	Всего	№ сосудов	Зерно	Солома	Всего
55	0	1039—40	0	0	0	1039	0	0	0
50	5	1059—70	0	0	0	1069	0	0	0
45	10	1099—100	0	0	0	1099	0,70	8,77	9,47
40	15	1129—30	0	0	0	1129	2,65	8,70	11,35
30	25	1157—58	0,74	6,86	7,60	1157	0,20	7,80	8,00

Такой результат объясняется повидимому тем, что  $\text{MgCO}_3$ , сравнительно слабо разлагающийся ненасыщенной почвой, с течением времени однако более полно прореагировал с нею; магний из  $\text{MgCO}_3$  вошел в почвенный поглощающий комплекс более или менее в том количестве, которое имелось в виду при внесении той или иной дозы  $\text{MgCO}_3$ , и в почве уже не оставалось или оставалось очень мало свободного  $\text{MgCO}_3$ ; следствием этого и явился другой результат в действии одних и тех же комбинаций  $\text{CaCO}_3$  +  $\text{MgCO}_3$  в первый и во второй годы опытов.

#### б) Опыт № 11. Доломиты на почве, полностью насыщенной N.

Все четыре опыта с доломитами на почве, полностью насыщенной N, — два опыта с различными дозами одного и того же доломита и два опыта с различными видами доломитов — были полностью оставлены К. К. Г е д р о й ц е м для повторения в 1933 г. Сосуды опытов были перебиты 28 мая с внесением в каждый сосуд новой порции питательных веществ в количестве 0,05 г N в виде  $\text{NaNO}_3$  и 0,05 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в виде  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Посев льна и горчицы был произведен 1 июня. Уборка обеих растений была произведена в опыте с дозами доломита 10 августа; в опыте с различными доломитами горчица была убрана 11 августа, а лен убирался в различные сроки по мере созревания с 14 августа по 1 сентября. Урожайные данные льна за 1933 г. по опыту с дозами доломита приведены в таблице 4.

Результаты этого опыта со льном в 1933 г. обнаруживают значительное снижение абсолютных урожаев льна по сравнению с 1932 г.; вместо урожаев порядка 8—12 г на сосуд было получено в отчетном году 1—4 г и при этом почти полное отсутствие урожая зерна. Что кажется существенных изменений в результатах опыта с дозами доломита

Таблица 4

Урожай льна в 1933 г. в опыте с дозами доломита на почве, полностью насыщенной H<sup>+</sup>  
(в г на сосуд)

Доломит из Казани 1933 г. в мг-овых на 100 г почвы	№ сосудов	Серия		Сезона		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
10	1245 } 1246 }	Всходы были, но погибли				0	
15	1247	0	0	0,50	0,46	0,50	0,46
	1248	0		0,42		0,42	
20	1249	0	0	2,77	2,18	2,77	2,18
	1250	0		1,60		1,60	
25	1251	0	0	1,90	1,73	1,90	1,73
	1252	0		1,57		1,57	
30	1253	0	0	3,50	3,16	3,50	3,16
	1254	0		2,82		2,82	
35	1255	0	0	4,40	4,10	4,40	4,10
	1256	0		3,80		3,80	
40	1257	0,05	—	4,52	3,53	4,57	3,56
	1258	0		2,55		2,55	
45	1259	0,05	—	4,30	3,65	4,35	3,82
	1260	0,30		3,00		3,30	
50	1261	0	—	1,80	1,92	1,80	1,97
	1262	0,10		2,05		2,15	
55	1263	0	0	1,50	(0,95)	1,50	(0,95)
	1264	0		0,40		0,40	
60	1265	0	0	0	—	0	—
	1266	0		0,60		0,60	
65	1267—68	Были единичные всходы				0	
70	1269—70					0	
80	1271—72					0	
100	1273—74	Всходов не появлялось				0	
200	1275—76					0	

на льне по сравнению с результатами предыдущего года, то таких изменений в этом опыте не обнаружилось.

Так же как и в 1932 г., лен по доломиту более или менее развивается и при некоторых избыточных дозах его (55 и 60 мг-экв.), при которых по  $\text{CaCO}_3$  лен уже полностью погибал. Вместе с тем, так же как и в первый год опыта, процент зерна по этому образцу доломита получился ниже, чем по  $\text{CaCO}_3$ . Это видно из сопоставления урожайных данных 1933 г. по доломиту и по  $\text{CaCO}_3$  в таблице 5.

Таблица 5

Сравнение действия  $\text{CaCO}_3$  и доломита по урожаям льна в 1933 г. на почве, полностью насыщенной Н

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы	$\text{CaCO}_3$			Доломит		
	Общий урожай	Зерно	% зерна	Общий урожай	Зерно	% зерна
40	0	0	—	0	0	—
45	0,27	0	0	0,46	0	0
20	0,70	0	0	2,18	0	0
25	1,60	0	0	1,73	0	0
30	0,78	0	0	3,16	0	0
35	4,07	0,30	7	4,10	0	0
40	6,32	0,30	5	3,53	0,03	0,9
45	6,20	0,40	6	3,65	0,17	5
50	9,77	1,50	15	1,92	0,05	3
55	0	0	—	0,95	0	0
60	0	0	—	0,30	0	0
65	0	0	—	0	0	—

Результаты повторения аналогичного опыта с дозами доломита на горчице приведены в таблице 6.

В полученных урожайных данных, так же как и на льне, наблюдается значительное снижение абсолютных урожаев горчицы по сравнению с 1932 г., и кроме того обнаруживается гибель начавшей было развиваться горчицы при малых дозах доломита, в 20 и 25 мг-экв., по которым в предыдущем году горчица однако уже росла. Гибель горчицы при малых дозах доломита, не наблюдавшаяся по этим дозам в 1932 г., объясняется по всей вероятности тем, что в условиях вегетационных сосудов горчица по горчице вообще развивается плохо и всякое неблагоприятное условие ее произрастания, в данном случае значительная еще кислотность почвы, переносится ею с большим трудом и даже ведет к гибели растений. В отношении действия на горчицу избыточных доз доломита результаты опыта за оба года совпадают. Так же, как и в 1932 г., горчица гибнет, начиная лишь с 70 мг-экв. внесенного доломита. Урожайные данные за 1933 г. по другому опыту с доломитами, именно с различными видами доломитов на льне и горчице, приведены в таблицах 7 и 8.

В полученных результатах опыта кроме понижения абсолютных урожаев обеих растений существенных различий по сравнению с первым годом опыта не наблюдается. Так же как и в 1932 г., лен и горчица гибнут при избыточной дозе извести в 90 мг-экв. и развиваются более или менее нормально при внесении в той же избыточной дозе доломитов.

Таблица 6

Урожай горчицы в 1933 г. в опыте с дозами доломита на почве, полностью насыщенной N. (в г на сосуд)

Дозы доломита на Кавале 1933 г. в мг-экв на 100 г почвы	№ сосудов	Зерно		Сосека		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
10	1277						0
	1278						
	1279						
15	1280	Всходы были во всех сосудах, но скоро погибли					0
	1281						
20	1282						0
	1283						
25	1284						0
	1285	0	—	0,70	0,85	0,70	
30	1286	0,07		1,00		1,07	
	35	1287	0,30	0,30	1,52	1,80	1,82
1288		0,30	2,07		2,37		
40	1289	0,55	0,48	2,40	2,08	2,95	2,56
	1290	0,42		1,75		2,17	
45	1291	0,60	0,73	2,25	2,90	2,85	3,63
	1292	0,85		3,55		4,40	
50	1293	0,90	0,93	3,65	3,92	4,55	4,85
	1294	0,95		4,20		5,15	
55	1295	0,32	0,28	4,50	4,53	4,82	4,81
	1296	0,25		4,55		4,80	
60	1297	0	0	5,30	4,75	5,30	4,75
	1298	0		4,20		4,20	
65	1299	0	0	3,85	(5,25)	3,85	(5,25)
	1300	0		6,65		6,65	
70	1301-02						0
80	1303-04	Всходы были во всех сосудах, но погибли					
100	1305-06						0
200	1307-08						
Исходный наменно-степной чернозем	1309	0,80	0,86	3,25	3,37	4,05	4,23
	1310	0,92		3,50		4,42	

Урожай льна в 1933 г в опыте с различными видами доломитов на почве, полностью насыщенной Н. (в г на сосуд)

Доломиты	45 мг-ка. на 100 г почвы						80 мг-ка. на 100 г почвы						
	Земля		Соловьи		Всего		№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Повторное основное удобрение: 0,05 г N и 0,05 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>													
СаСО <sub>3</sub> . . . . .	0,95	0,93	5,40	5,21	6,35	6,14	1393	0	0	0	0	0	0
	0,90	5,02	5,92		5,92	1394	0	0	0	0	0	0	0
Из НИУ 1932 г. . .	0,60	0,35	6,95	5,90	7,55	(6,25)	1399	0	0	1,60	1,86	1,60	1,86
	0,40	4,85	4,85		4,95	1400	0	0	2,12	2,12	2,12	2,12	1,86
Апаневский . . . .	0,47	0,23	5,00	5,13	5,17	5,86	1403	0,45	0,32	5,87	5,68	6,02	6,01
	0,30	5,25	5,25		5,55	1404	0,50	0,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,01
Щуровский № 4 . .	0,70	0,47	5,40	5,30	6,10	5,77	1407	0	0	0	0	0	0
	0,25	5,20	5,20		5,45	1408	0	0	0	0	0	0	0
Подольский «Об» . .	0,92	0,78	2,75	2,35	3,67	3,13	1411	0,02	0,03	1,00	1,40	1,02	1,43
	0,65	1,95	1,95		2,60	1412	0,04	0,04	1,80	1,80	1,84	1,84	1,43
Из Кавани 1932 г. .	0,02	0,03	3,32	2,99	3,34	3,02	1415	0	0	4,20	(?)	4,20	(?)
	0,05	2,65	2,65		2,70	1416	0	0	0,82	0,82	0,82	0,82	(?)
Из НИУ 1931 г. . .	0,12	0,23	4,65	5,33	4,77	5,56	1419	0	0	1,05	1,63	1,05	1,63
	0,35	6,00	6,00		6,35	1420	0	0	2,22	2,22	2,22	2,22	1,63

Таблица 8  
Урожай горючки в 1933 г. в опыте с различными видами доломитов на почве, полностью насыщенной Н. (в г на сосуд)

Доломиты	45 мг-экв. на 100 г почвы				90 мг-экв. на 100 г почвы						
	№ сосудов	Зерно		Соленка		№ сосудов	Зерно		Соленка		Всего
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
СаСО <sub>3</sub> . . . . .	1425	0,57	0,63	2,80	3,11	3,37	3,74	0	0	0	0
	1426	0,70		3,42	4,12	4,12	4,28	0	0	0	0
Из НИУ 1932 г. . .	1431	0,50	0,60	2,70	2,70	3,20	3,30	0	0	5,60	5,60
	1432	0,70		2,70	3,40	3,40	4,34	0	0	5,20	5,20
Анапьевский . . .	1435	0,75	0,75	3,40	3,80	4,15	4,05	0,25	0,23	4,65	4,90
	1436	0,75		3,20	3,95	3,95	4,38	0,22	0,23	4,57	4,79
Щуровский № 4 . .	1439	0,65	0,67	3,05	3,20	3,70	3,87	0	0	5,30	5,30
	1440	0,70		3,35	4,05	4,05	4,62	0	0	5,70	5,70
Подольский «00» . .	1443	0,65	0,77	3,00	3,25	3,65	4,02	0	0	5,35	5,35
	1444	0,90		3,50	4,40	4,40	4,66	0	0	5,50	5,50
Из Кавани 1932 г. .	1447	0,29	(0,45)	1,60	2,15	1,60	2,60	0	0	5,70	5,70
	1448	0,70		2,90	3,60	3,60	4,50	0	0	5,95	5,95
Из НИУ 1931 г. . .	1451	0,75	0,82	3,80	3,85	4,55	4,67	0	0	5,62	5,62
	1452	0,90		3,90	4,80	4,80	4,54	0	0	3,27	3,27

Повторное основное удобрение: 0,05 г N и 0,05 г Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Можно отметить еще пожалуй тот факт, что некоторые доломиты дают на горчице урожай общей массы при дозе 90 мг-экв. даже более высокий, чем при 45 мг-экв., в отличие от первого года опыта, но эти индивидуальные отклонения в действии отдельных доломитов не изменяют общего вывода предыдущего года о том, что «между доломитами встречаются такие, избыточное внесение которых на сильно кислых почвах вовсе не вредит урожаям таких чувствительных к избыточному известкованию растений, как лен и горчица, но есть и такие, которые в этом случае почти губят эти растения; такое различие в их действии вовсе не находится в прямой зависимости от химического состава доломитов» (К. К. Гедройц).

Несколько пар сосудов, поставленных К. К. Гедройцем в 1932 г. в дополнение к опытам с доломитами, также были оставлены им на 1933 г. и повторены Институтом по удобрениям. Как известно из основного отчета, в одной из этих групп сосудов была внесена К. К. Гедройцем избыточная доза кальция в 90 мг-экв. на 100 г почвы, полностью насыщенной Н<sup>+</sup>, но не в виде одного CaCO<sub>3</sub>, а в виде смеси из CaCO<sub>3</sub>+CaSO<sub>4</sub>. Урожайные данные льна и горчицы по этим сосудам в 1933 г. приводятся в таблице 9.

Таблица 9

Урожай льна и горчицы в 1933 г. по избыточной дозе кальция в 90 мг-экв. на 100 г почвы, внесенного в виде CaCO<sub>3</sub>+CaSO<sub>4</sub> на почву, полностью насыщенной Н<sup>+</sup> (в граммах на сосуд)

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы	№ сосудов	Верно	Солоха	Всего
-------------------------------------	--------------	-------	--------	-------

Основное повторное удобрение: 0,05 г N и 0,05 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Лен

35 CaCO <sub>3</sub> +55 CaSO <sub>4</sub> . . . . .	1395	0,60	3,35	3,95
45 CaCO <sub>3</sub> +45 CaSO <sub>4</sub> . . . . .	1396	0,82	5,02	5,84

Горчица

35 CaCO <sub>3</sub> +55 CaSO <sub>4</sub> . . . . .	1429	0,40	2,40	2,80
45 CaCO <sub>3</sub> +45 CaSO <sub>4</sub> . . . . .	1430	0,57	3,00	3,57

Результаты опыта по этой группе сосудов полностью совпадают с результатами предыдущего года: несмотря на отсутствие магния, и лен и горчица развиваются нормально при избыточной дозе в 90 мг-экв. кальция, если только кальций вносить не в виде одного CaCO<sub>3</sub>, а в виде смеси CaCO<sub>3</sub>+CaSO<sub>4</sub>.

Другая группа сосудов, поставленная К. К. Гедройцем в дополнение к опытам с доломитами, имела целью установить влияние состава и количества питательных растворов на действие доломита. При перебивке этих сосудов в 1933 г. питательные растворы вносились в них ведре в одинаковых количествах и формах: 0,05 г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,05 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> на сосуд. Это давало возможность учесть последствие разного состава и количества питательных растворов, внесенных в 1932 г., различия в действии которых были тогда

обнаружены. Урожайные данные по этой группе сосудов за 1933 г. приводятся в таблице 10. Приведенные цифры показывают, что влияние разного количества питательных растворов на эффективность избыточной дозы доломита сохраняется и на второй год опыта; так же как и в 1932 г., двойная доза N и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> понижает эффективность доломита, особенно на льне при избыточной дозе его в 90 мг-экв.

Таблица 10

Последствие различного состава и количества питательных растворов на эффективность доломита по урожайным данным 1933 г. (в г на сосуд)

Состав питательных растворов, внесенных в 1932 г.	Доломит на ИМУ 1931 г.						
	45 мг-экв.				90 мг-экв.		
	№ сосудов	Зерно	Солоза	Всего	№ сосудов	Зерно	Солоза

Повторное основное удобрение: 0,05 г N в NaNO<sub>3</sub>+0,05 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> во всех сосудах

Лен

0,1 г N в NaNO <sub>3</sub> + 0,1 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	1417—18	0,23	5,33	5,56	1419—20	0	1,63	1,63
0,2 г N в NaNO <sub>3</sub> + 0,2 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	1421	0,25	4,53	4,78	1423	0	0,65	0,65
0,1 г N в Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 0,1 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> + 0,05 г MgO в MgSO <sub>4</sub> . . . . .	1422	1,0	5,10	6,10	1424	0,30	2,50	2,80

Горчица

0,1 г N в NaNO <sub>3</sub> + 0,1 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	1451—52	0,82	3,85	4,67	1453—54	0	4,44	4,44
0,2 г N в NaNO <sub>3</sub> + 0,2 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	1455	0,60	2,70	3,30	1457	0	3,85	3,85
0,1 г N в Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 0,1 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> + 0,05 г MgO в MgSO <sub>4</sub> . . . . .	1456	0,92	3,80	4,72	1458	0,05	4,20	4,25

в) Опыт № 18. Почва, полностью насыщенная кальцием.

Опыт целиком был оставлен К. К. Гедройцем на повторение. Перебивка сосудов опыта была произведена в 1933 г. 2 июня; в каждый сосуд было внесено по 0,05 г N в виде NaNO<sub>3</sub> и 0,05 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в виде KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. 4 июня были посеяны различные растения, убранные в разные сроки по мере созревания. Результаты повторения этого опыта приведены в таблице 11.

Урожайные данные таблицы 11 показывают, что на второй год опыта только просо дало пониженный урожай (особенно зерна) на почве, насыщенной кальцием. Интересно однако отметить, что в первые стадии развития просо выглядело на почве, насыщенной каль-

## Урожай различных растений в 1933 г. в опыте с почвой, полностью насыщеннoй кальцием (в г на сосуд)

Растение	Первоначальная насыщенность										Он же, полностью насыщеннoй Са			
	№ сосудов	Верх		Середина		Всего		№ сосудов	Верх		Середина		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Овес . . . . .	{ 1489	1,60	4,57	3,20	3,18	{ 4,80 4,70	1459	1,70	1,60	2,65	2,47	{ 4,35 3,80		
	{ 1490	1,55		3,15				1460					1,50	2,30
Горчица . . . . .	{ 1491	0,50	0,50	2,30	2,30	{ 2,80 2,70	1461	0,70	0,65	2,65	2,92	{ 3,80 3,15		
	{ 1492	0,50		2,30				1462					0,50	3,20
Лен . . . . .	{ 1493	0,70	0,57	2,30	2,45	{ 3,00 3,05	1463	0,90	0,72	2,55	2,65	{ 3,60 3,37		
	{ 1494	0,45		2,60				1464					0,85	2,75
Лен по 0,1 г MgO в MgSO <sub>4</sub>	{ —	—	—	—	—	—	1465	1,00	0,90	3,00	3,07	{ 4,00 3,95		
	{ —	—		—				1466					0,80	3,15
Клевер . . . . .	{ 1495	0	0	2,70	2,32	{ 2,70 1,95	1467	0	0	3,30	(3,30)	{ 3,30 (1,65)		
	{ 1496	0		1,95				1468					0	(1,65) <sup>1</sup>
Просо . . . . .	{ 1497	1,25	1,13	4,00	3,75	{ 5,25 4,50	1469	0,35	0,43	3,40	3,30 <sup>1</sup>	{ 3,75 3,70		
	{ 1498	1,00		3,50				1470					0,50	3,20
Гречиха . . . . .	{ 1499	2,15	2,07	2,70	2,55	{ 4,85 4,40	1471	1,90	1,90	3,00	2,77	{ 4,90 4,45		
	{ 1500	2,00		2,40				1472					1,90	2,55
Вика . . . . .	{ 1501	2,00	1,90	5,05	4,73	{ 7,05 6,20	1473	2,00	1,75	4,95	5,27	{ 7,10 7,02		
	{ 1502	1,80		4,40				1474					1,50	5,60
Люцерна . . . . .	{ 1503	0	0	1,60	1,70	{ 1,60 1,80	1475	0	0	1,95	2,73	{ 1,95 3,50		
	{ 1504	0		1,80				1476					0	3,50

<sup>1</sup> В этом сосуде были неполные всходы клевера.

цнем, наоборот, заметно лучше, чем на первоначальном черноземе, но затем оно сильно стало отставать в своем развитии и к моменту уборки было уже определенно хуже. Остальные растения этой группы, повижавшие в первый год опыта урожай на почве, насыщенной кальцием, т. е. люцерна, вика и клевер, обнаружили при повторении опыта даже некоторое повышение урожаев на почве, насыщенной кальцием, особенно люцерна, которая и на-глаз развивалась на этой почве определенно лучше и быстрее, чем на первоначальном черноземе. Другие растения этого опыта: овес, гречиха, лен и горчица дали на второй год те же результаты, которые были получены и в первый год. Урожай этих растений оказались, как и в 1932 г., более или менее одинаковыми на обеих почвах.

г) Опыт № 16. Соотношение между обменными кальцием и магнием на торфянистой почве

Из 352 сосудов, поставленных К. К. Г е д р о й ц е м в 1932 г. по этой теме с овсом и льном, им было оставлено на повторение в 1933 г. 132 сосуда. Из них половина сосудов была из-под овса, половина из-под льна. Оставленные сосуды были без соответствующих парных, так как почва из них пошла на анализы водных вытяжек; кроме того из схемы опыта К. К. Г е д р о й ц е м были исключены для повторения все сосуды с различными дозами известкования на фоме 75 и 100 мг-экв.  $MgCO_3$ .

Сосуды опыта были перебиты в 1933 г. 22—23 мая с внесенем в каждый сосуд по 0,15 г N в  $NaNO_3$  и 0,15 г  $P_2O_5$  в  $KH_2PO_4$ . Посев овса и льна был произведен 26 мая, уборка овса 11 августа, льна — 14 сентября.

Урожайные данные овса приведены в таблицах 12 и 13. В последней таблице полученные цифры расположены в более удобном для обозрения результатов опыта виде.

В результатах этого опыта при его повторении обнаружилось существенное различие по сравнению с первым годом. Это различие заключается в том, что избыточное известкование, начиная с дозы 100 мг-экв.  $CaCO_3$ , понижает урожай зерна на 25—30%, по сравнению с урожаями на более умеренных дозах  $CaCO_3$ , чего не наблюдалось на овсе в первый год опыта. Вместо 10 г зерна на сосуд при дозах 50—75 мг-экв.  $CaCO_3$  получается только 6,5—7 г зерна при избыточных дозах его в 100—400 мг-экв. Хотя этот урожай зерна по абсолютным цифрам оказывается все же выше, чем на неизвесткованной торфянистой почве, но процент зерна в общем урожае сильно падает при таком избыточном известковании и по сравнению с контролем. Это видно из следующих цифр в таблице 14. Некоторым нарушением в общей картине падения процента зерна в урожае овса при избыточном известковании представляют урожай зерна при самой высокой дозе  $CaCO_3$  в 500 мг-экв. и отчасти при 400 мг-экв., по которым процент зерна в урожае не понижается. Следует отметить, что по этим двум дозам  $CaCO_3$  овес выглядел в средние стадии развития (от выхода в трубку до колошения), так же как и в первый год опыта, определенно хуже, чем на предыдущих дозах известки. Однако после колошения овес начал выправляться, особенно при дозе 500 мг-экв., и заметное угнетение в развитии овса сохранилось к моменту учета урожая только для дозы 400 мг-экв.

Таблица 17

Урожай овса в 1933 г. в опыте по изучению соотношения между обменными Са и Mg на торфянистой почве (в г на сосуд)

Внесено в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Зерно	Солома	Всего	Внесено в мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Зерно	Солома	Всего
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>					MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>				
0	0	1	5,6	10,2	15,8	20	0	67	0,8	9,0	9,8
»	10	3	7,1	14,9	22,0	»	10	69	7,2	18,1	25,3
»	25	5	9,1	17,2	26,3	»	25	71	8,0	15,6	23,6
»	50	7	10,9	18,5	29,4	»	50	73	9,5	19,5	29,0
»	75	9	10,2	17,2	27,4	»	75	75	11,5	20,2	31,7
»	100	11	6,7	20,9	27,6	»	100	77	9,8	21,5	31,3
»	150	13	7,0	22,4	29,4	»	150	79	6,0	20,5	26,5
»	200	15	6,5	21,3	27,8	»	200	81	7,0	23,0	30,0
»	300	17	7,8	21,4	29,2	»	300	83	7,4	14,7	22,1
»	400	19	6,6	13,1	19,7	»	400	85	10,1	22,3	32,4
»	500	22	11,6	20,0	31,6	»	500	87	10,4	20,9	31,3
5	0	24	5,5	12,3	17,8	35	0	89	0	0,4	0,4
»	10	26	9,1	16,4	25,5	»	10	91	5,9	13,6	19,5
»	25	28	10,1	18,0	28,1	»	25	93	9,9	15,7	25,6
»	50	30	10,4	15,8	26,2	»	50	95	11,1	18,0	29,1
»	75	32	11,7	19,4	31,1	»	75	97	11,3	21,0	32,3
»	100	34	11,2	17,1	28,3	»	100	99	9,8	18,7	28,5
»	150	36	12,0	19,2	31,2	»	150	101	10,6	18,3	28,9
»	200	38	12,0	18,9	30,9	»	200	103	12,2	19,5	31,7
»	300	40	13,2	21,7	34,9	»	300	105	10,4	20,6	31,1
»	400	42	10,1	21,2	31,3	»	400	107	11,9	19,0	30,9
»	500	44	9,0	25,4	34,4	»	500	109	11,4	21,2	32,6
10	0	45	5,1	14,1	19,2	50	0	111	0	0	0
»	10	47	8,6	15,1	23,7	»	10	113	0,6	6,6	7,2
»	25	49	9,2	15,1	24,3	»	25	115	7,7	16,9	24,6
»	50	51	11,7	15,3	27,0	»	50	117	8,1	18,1	26,2
»	75	53	9,9	16,4	26,3	»	75	119	7,4	17,0	24,4
»	100	55	12,2	18,6	30,8	»	100	121	8,3	17,3	25,6
»	150	57	10,6	20,4	31,0	»	150	123	11,7	18,7	30,4
»	200	59	12,1	18,4	30,5	»	200	125	13,1	19,6	32,7
»	300	61	7,3	20,4	27,7	»	300	127	7,7	23,4	31,1
»	400	63	7,2	20,0	27,2	»	400	129	8,9	23,0	31,9
»	500	65	11,3	18,5	29,8	»	500	131	14,0	22,1	36,2

Таблица 13

Урожай овса в 1933 г. в опыте по изучению соотношения между обменными Са и Mg на торфянистой почве (в г на сосуд)

CaCO <sub>3</sub> в мг-экв.		MgCO <sub>3</sub> в мг-экв. на 100 г почвы					
		0	5	10	20	35	50
0	Общ. урожай . . . . .	15,8	17,8	19,2	9,8	0,4	0
	Зерно . . . . .	5,6	5,5	5,1	0,8	0	0
10	Общ. урожай . . . . .	22,0	25,5	23,7	25,3	19,5	7,2
	Зерно . . . . .	7,1	9,1	8,6	7,2	5,9	0,6
25	Общ. урожай . . . . .	26,3	28,1	24,3	23,6	25,6	24,6
	Зерно . . . . .	9,1	10,1	9,2	8,0	9,9	7,7
50	Общ. урожай . . . . .	29,4	26,2	27,0	29,0	29,1	26,2
	Зерно . . . . .	10,9	10,4	11,7	9,5	11,1	8,1
75	Общ. урожай . . . . .	27,4	31,1	26,3	31,7	32,3	24,4
	Зерно . . . . .	10,2	11,7	9,9	11,5	11,3	7,4
100	Общ. урожай . . . . .	27,6	28,3	30,8	31,3	28,5	25,6
	Зерно . . . . .	6,7	11,2	12,2	9,8	9,8	8,3
150	Общ. урожай . . . . .	29,4	31,2	31,0	26,5	28,9	30,4
	Зерно . . . . .	7,0	12,0	10,6	6,0	10,6	11,7
200	Общ. урожай . . . . .	27,8	30,9	30,5	30,0	31,7	32,7
	Зерно . . . . .	6,5	12,0	12,1	7,0	12,2	13,1
300	Общ. урожай . . . . .	29,2	34,9	27,7	22,1	31,1	31,1
	Зерно . . . . .	7,8	13,2	7,3	7,4	10,4	7,7
400	Общ. урожай . . . . .	19,7	31,3	27,2	32,4	30,9	31,9
	Зерно . . . . .	6,6	10,1	7,2	10,1	11,9	8,9
500	Общ. урожай . . . . .	31,6	34,4	29,8	31,3	32,6	36,2
	Зерно . . . . .	11,6	9,0	11,3	10,4	11,4	14,0

Таблица 14

Процент зерна в общем урожае овса при внесении CaCO<sub>3</sub> на торфянистой почве

Внесено CaCO <sub>3</sub> в мг-экв.	Общая урожай	Зерно	% зерна в общем урожае
0	15,8	5,6	35
10	22,0	7,1	32
25	26,3	9,1	31
50	29,4	10,9	37
75	27,4	10,2	37
100	27,6	6,7	24
150	29,4	7,0	24
200	27,8	6,5	23
300	29,2	7,8	26
400	19,7	6,6	33
500	31,6	11,6	37

Это указывает на влияние каких-то посторонних факторов на развитие овса при двух последних дозах  $\text{CaCO}_3$ , отличающихся по своему действию от предыдущих избыточных доз  $\text{CaCO}_3$ .

Понижение урожаев зерна на избыточных дозах извести от 100 до 400 мг-экв. исправляется однако внесением углекислого магния, как это видно из таблицы 13, и например при дозе  $\text{CaCO}_3$  в 200 мг-экв. вместо 6,5 г зерна получается удвоенный урожай 12 г зерна при внесении на этом известкованном фоне углекислого магния; но доза  $\text{MgCO}_3$  оказывается при этом безразличной: и 5 и 50 мг-экв. дают одинаковый эффект.

Исправление углекислым магнием понижающего действия на урожай зерна избыточных доз  $\text{CaCO}_3$  имеет место и при других дозах  $\text{CaCO}_3$  в 100, 150, 300 и 400 мг-экв.; но здесь наблюдаются отдельные случаи отсутствия какого бы то ни было влияния  $\text{MgCO}_3$ .

Внесение  $\text{MgCO}_3$  на фоне избыточных доз  $\text{CaCO}_3$  оказывает влияние не только на повышение абсолютных урожаев зерна, но и на увеличение процента выхода зерна от общего урожая, как это видно из цифр, приведенных в таблице 15.

Таблица 15

Влияние  $\text{MgCO}_3$  на увеличение % зерна в общем урожае овса при избыточном известковании торфянистой почвы (по данным 1933 г.)

CaCO <sub>3</sub> , в мг-экв. на 100 г почвы	MgCO <sub>3</sub> , в мг-экв. на 100 г почвы					
	0	5	10	20	35	50
0	36	31	26	9	0	0
10	32	35	36	29	30	8
25	31	35	38	34	38	31
50	37	39	43	33	38	31
75	37	37	37	36	35	30
100	24	40	40	31	34	36
150	24	38	34	23	36	38
200	23	39	40	23	38	40
300	26	38	26	34	33	24
400	33	32	26	31	33	23
500	37	26	38	33	35	38

% зерна в общем урожае овса

Результаты повторения аналогичного опыта на торфянистой почве со льном приведены в таблицах 16 и 17.

Основные выводы о значении соотношения между кальцием и магнием в почвенных условиях, полученные за оба года для овса, имели место по данным предыдущего года и в отношении льна. При этом на льне полученные выводы проявлялись даже в более резком виде, чем по отношению к овсу. Так например понижение положительных эффектов при избыточных дозах  $\text{CaCO}_3$  проявлялось на льне уже в первый год и не только на зерне, но и на общей массе урожая. Положительное действие на сильно кислой торфянистой почве небольших количеств  $\text{MgCO}_3$  и губительное действие более высоких доз его было

Урожай льна в 1933 г. в опыте по изучению соотношения между обменными кальцием и магнием на торфянистой почве (в г на сосуд)

В мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Зерно	Солома	Всего
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>				
0	0	177	0	0,4	0,4
»	10	179	3,4	10,9	14,3
»	25	181	3,3	10,0	13,3
»	50	183	5,3	17,9	23,2
»	75	185	—	—	—
»	100	188	1,5	21,4	22,9
»	150	189	0,4	3,0	3,4
»	200	191	3,5	19,9	23,4
»	300	193	3,5	25,4	28,9
»	400	195	2,6	13,5	16,2
»	500	197	1,5	10,3	11,8
5	0	199	0	1,4	1,4
»	10	201	2,3	7,2	9,5
»	25	203	4,5	12,6	17,1
»	50	205	5,1	16,4	21,5
»	75	207	1,9	23,2	25,1
»	100	209	0,8	9,3	10,1
»	150	211	0,5	5,2	5,7
»	200	213	3,3	16,0	19,3
»	300	215	1,8	14,2	16,0
»	400	217	0,6	5,1	5,7
»	500	219	4,7	19,3	24,0
10	0	221	—	—	—
»	10	223	1,8	8,2	10,0
»	25	225	2,4	10,0	12,4
»	50	227	3,4	10,6	14,0
»	75	229	0,4	29,2	29,6
»	100	231	1,0	19,6	20,7
»	150	233	0,9	12,5	13,4
»	200	235	1,7	14,7	16,4
»	300	237	2,2	11,8	14,0
»	400	239	1,3	32,6	33,9
»	500	241	1,6	10,2	11,8

Таблица 16 (продолжение)

В мг-экв. на 100 г почвы		№ сосудов	Серно	Солома	Всего
MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>				
20	0	243	0	0	0
»	10	245	3,0	10,7	13,7
»	25	247	3,3	12,5	15,8
»	50	249	5,7	20,3	26,0
»	75	251	0,5	13,4	14,0
»	100	253	1,3	25,2	26,5
»	150	255	0,1	2,7	2,8
»	200	257	0	1,3	1,3
»	300	259	0,1	3,3	3,4
»	400	261	0,1	1,8	1,9
»	500	263	0,1	8,4	8,6
35	0	266	0	0	0
»	10	268	0	15,4	15,4
»	25	270	1,3	8,6	9,9
»	50	272	0	39,9	39,9
»	75	274	0,4	6,3	6,8
»	100	275	1,3	19,8	21,1
»	150	278	0,4	5,0	5,4
»	200	280	0	0,9	0,9
»	300	282	1,1	9,1	10,2
»	400	284	1,5	10,9	12,4
»	500	286	0,8	7,6	8,4
50	0	288	0	0	0
»	10	290	0	0	0
»	25	292	2,0	22,4	24,4
»	50	294	1,0	10,5	11,6
»	75	296	0,7	7,9	8,6
»	100	298	0,6	5,6	6,2
»	150	300	0	1,0	1,0
»	200	301	0	1,5	1,5
»	300	303	0	0,5	0,5
»	400	305	1,0	7,3	8,3
»	500	307	0	1,6	1,6

Таблица 17

Урожай льна в 1933 г. в опыте по изучению соотношения между обменными кальцием и магнием на торфянистой почве (в г на сосуд)

CaCO <sub>3</sub> , в мг-экв. на 100 г почвы		MgCO <sub>3</sub> , в мг-экв. на 100 г почвы					
		0	5	10	20	35	50
0	Общий урожай . . . . .	0,4	1,4	—	0	0	0
	Зерно . . . . .	0	0	—	0	0	0
10	Общий урожай . . . . .	14,3	9,5	10,0	13,7	15,4	0
	Зерно . . . . .	3,4	2,3	1,8	3,0	0	0
25	Общий урожай . . . . .	13,3	17,1	12,4	15,8	9,9	24,4
	Зерно . . . . .	3,3	4,5	2,4	3,3	1,3	2,0
50	Общий урожай . . . . .	23,2	21,5	14,0	26,0	39,9	11,6
	Зерно . . . . .	5,3	5,1	3,4	5,7	0	1,1
75	Общий урожай . . . . .	—	25,1	29,6	14,0	6,8	8,6
	Зерно . . . . .	—	1,9	0,4	0,5	0,4	0,7
100	Общий урожай . . . . .	22,9	10,1	20,7	26,5	21,1	6,2
	Зерно . . . . .	1,5	0,8	1,0	1,3	1,3	0,6
150	Общий урожай . . . . .	8,4	5,7	13,4	2,8	5,4	1,0
	Зерно . . . . .	0,4	0,5	0,9	0,1	0,4	0
200	Общий урожай . . . . .	23,4	19,3	16,4	1,3	0,9	1,5
	Зерно . . . . .	3,5	3,3	1,7	0	0	0
300	Общий урожай . . . . .	28,9	16,0	14,0	3,4	10,2	0,5
	Зерно . . . . .	3,5	1,8	2,2	0,1	1,1	0
400	Общий урожай . . . . .	16,2	5,7	33,9	1,9	12,4	8,3
	Зерно . . . . .	2,6	0,6	1,3	0,1	1,5	1,0
500	Общий урожай . . . . .	11,8	24,0	11,8	8,6	8,4	1,6
	Зерно . . . . .	1,5	4,7	1,6	0,1	0,3	0

на льне более резким, чем на овсе. Величины благоприятного соотношения между кальцием и магнием лежали для льна в более узких пределах, чем для овса.

Однако при повторении этого опыта в 1933 г. урожайные данные льна получились чрезвычайно пестрые (табл. 16.) Во многих сосудах опыта урожай льна то получался ненормально низким, то, наоборот, урожай оказывался неожиданно высоким, выскакивающим по своей величине от урожая предыдущего и последующего сосудов схемы опыта. При таком разнообразии в характере развития льна при повторении этого опыта полученные цифровые данные дают очень мало для оценки действия той или иной комбинации изучаемых в опыте факторов. Вполне определенно можно говорить при повторении этого опыта только о положительном действии на лен известкования на сильно кислой торфянистой почве, о губительном действии одного MgCO<sub>3</sub> и об исправлении его вредного действия внесенным CaCO<sub>3</sub>.

г) Опыт № 19. SrCO<sub>3</sub> и CaCO<sub>3</sub> на торфянистой почве

Этот опыт, поставленный в 1932 г. с двумя растениями: льном и овсом, был полностью составлен К. К. Гедройцем на 1933 г. Сосуды опыта были перебиты 23 мая с внесением в каждый сосуд по 0,15 г N в виде NaNO<sub>3</sub> и по 0,15 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KN<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. 26 мая был произведен посев овса и льна. Урожайные данные по овсу, убранному в зрелом виде 20 августа, представлены в таблице 18.

Таблица 18

Урожай овса в 1933 г. в опыте с SrCO<sub>3</sub> и CaCO<sub>3</sub> на торфянистой почве (в г на сосуд)

Схема опыта (внесено на 100 г почвы)	№ сосудов	Зерно		Солома		Всего		1/2 зерна в обл., урожае
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
Повторное основное удобрение: 0,15 г N и 0,15 г P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
Без удобрений . . . . .	I	5,60	5,60	10,2	10,2	15,8	15,8	36
SrCO <sub>3</sub> 10 мг-экв. . . . .	369—70	5,60	5,60	10,2	10,2	15,8	15,8	36
» 35 » . . . . .	{ 371 372	{ 1,8 1,5	{ 1,7 1,7	{ 22,7 16,6	{ 19,6 19,6	{ 24,5 18,1	{ 21,3 21,3	{ 7 8
» 75 » . . . . .	{ 373 374	{ 0,2 0,2	{ 0,2 0,2	{ 8,7 8,1	{ 8,4 8,4	{ 8,9 8,3	{ 8,6 8,6	{ 3 3
» 200 » . . . . .	{ 375 376	{ 1,1 2,9	{ (2,0) (2,0)	{ 12,0 23,1	{ (17,5) (17,5)	{ 13,0 26,0	{ (19,5) (19,5)	{ 8 7
CaCO <sub>3</sub> 100 мг-экв. . . . .	11	6,7	6,7	20,9	20,9	27,6	27,6	24
CaCO <sub>3</sub> 100 мг-экв. + 10 мг-экв. SrCO <sub>3</sub> . . . . .	{ 393 394	{ 12,1 12,1	{ 12,1 12,1	{ 16,3 19,6	{ 17,9 17,9	{ 28,4 31,8	{ 28,0 28,0	{ 42 38
+ 35 мг-экв. SrCO <sub>3</sub> . . . . .	{ 395 396	{ 5,3 7,2	{ 6,3 6,3	{ 20,1 21,2	{ 20,6 20,6	{ 25,4 28,4	{ 26,9 26,9	{ 21 25
+ 75 » » . . . . .	{ 397 398	{ 2,9 4,1	{ 3,50 3,50	{ 23,5 25,0	{ 24,2 24,2	{ 26,4 29,1	{ 27,7 27,7	{ 11 14
+ 200 » » . . . . .	{ 399 400	{ 9,8 11,5	{ 10,6 10,6	{ 17,7 20,7	{ 19,2 19,2	{ 27,5 32,2	{ 29,8 29,8	{ 35 35

Общий результат опыта, полученный в 1932 г., остался тем же и на второй год его проведения. Нейтрализация кислой торфянистой почвы углекислым стронцием действует при всех его дозах губительным образом на образование зерна. Вместо 5 г зерна в контрольном сосуде, по SrCO<sub>3</sub> получается 1—2 г, и процент зерна в общем урожае падает с 36 до 7—8%. Вообще наличие в почве SrCO<sub>3</sub> придавало овсу необычный внешний облик. Листья и стебли овса имели красновато-лиловый оттенок и были покрыты каким-то сизым налетом, который можно было стереть, особенно на стеблях; листья овса были узкими, жесткими и не клонились вниз, а стояли прямо и имели колючие верхушки. Кроме того овес по SrCO<sub>3</sub> чрезвычайно сильно кустился, раза в 3—4 больше, чем по CaCO<sub>3</sub>, но стебли раскустившись, овса оставались слабыми и тонкими и большинство из них не выколосивалось; в выколосившихся же метелках оказывалось очень много пустых цветочных пленок беловатого цвета.

Все эти ненормальные явления как во внешнем облике овса, так и в его урожаях совершенно однако уничтожались при внесении на фоне  $\text{SrCO}_3$  100 мг-экв. углекислого кальция. Урожай зерна в этих случаях снова поднимаются до более или менее нормальной высоты, и даже наблюдается тенденция в повышении урожая зерна под влиянием  $\text{SrCO}_3$  по сравнению с урожаями зерна по одному  $\text{CaCO}_3$ ; вместо 24% зерна в общем урожае овса по 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  получается 35—40% зерна по 10 мг-экв. и 200 мг-экв.  $\text{SrCO}_3$  на фоне 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$ . Этот интересный результат в совместном действии  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$ , не наблюдавшийся в первый год опыта, не проявляется однако при двух других дозах  $\text{SrCO}_3$  в 35 и 75 мг-экв.; вполне возможно что это обуславливается какими-нибудь и случайными причинами, поскольку эти две дозы  $\text{SrCO}_3$  являются промежуточными между минимальной дозой  $\text{SrCO}_3$  в 10 мг-экв. и максимальной в 200 мг-экв., оказавших благоприятное влияние подобно  $\text{MgCO}_3$  на увеличение урожая зерна при избыточном известковании.

Аналогичный опыт с  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  на льне при повторении его в 1933 г. дал неожиданные результаты: лен вообще отказывался расти в большинстве сосудов этого опыта. Трехкратный пересев льна и сухими, как обычно, семенами и пророщенными давал один и тот же результат: хорошие, ровные всходы в первых трех парах сосудов с 5, 10 и 20 мг-экв. одного  $\text{SrCO}_3$ , сильно задержавшиеся (недели на две) и недружные всходы при дозах  $\text{SrCO}_3$  в 35 и 50 мг-экв. и единичные большие всходы по остальным дозам  $\text{SrCO}_3$ ; по  $\text{SrCO}_3$  на фоне 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  появлялись неровные всходы при первых четырех дозах  $\text{SrCO}_3$  и единичные всходы в остальных сосудах. Последний пересев льна, произведенный уже 21 июня, был все-таки оставлен, лен в зеленом виде был убран 15 сентября; полученные цифры приведены в таблице 19.

В полученных результатах опыта со льном можно все-таки определенно говорить о положительном влиянии на сильно кислой торфянистой почве небольших доз (от 5 до 20 мг-экв.) углекислого стронция. При дозе 10 мг-экв.  $\text{SrCO}_3$  получен вполне нормальный урожай льна как зерна, так и соломы, в то время как в контрольном сосуде с торфянистой почвой лен при повторении этого опыта погиб, хотя всходы его были хорошие и полные и некоторое время развивались нормально (позднее они полностью засохли). Более высокие дозы  $\text{SrCO}_3$  оказывают губительное влияние на лен уже даже в стадии всходов его. Внесение 100 мг-экв.  $\text{CaCO}_3$  на фоне различных доз  $\text{SrCO}_3$  не только не устраняет губительного влияния больших доз  $\text{SrCO}_3$ , как это наблюдалось на овсе, но даже и в отношении действия небольших количеств  $\text{SrCO}_3$  дает менее благоприятные результаты, чем при одном  $\text{SrCO}_3$ .

с) Опыт № 20. Известкование торфянистой почвы, частично насыщенной  $\text{Ca}$  и  $\text{Ca} + \text{Mg}$

Этот небольшой рекогносцировочный опыт, поставленный в маленьких сосудах, представляет по видимому попытку К. К. Г е д р о ф ц а подойти к выяснению вопроса о том, имеются ли различия в действии на кислой почве кальция, внесенного в почву в виде  $\text{CaCO}_3$ ,

Урожай льна в 1933 г. в опыте с  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  на торфянистой почве  
(в граммах на сосуд)

Схема опыта (в мг-экв. на 100 г почвы)	№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
		по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.	по сосуд.	средн.
Без удобрений . . . . .	177	0	0	0,4	0,4	0,4	0,4
$\text{SrCO}_3$ 5 мг-экв. . . . .	{ 353 354 }	0	0	{ 3,85 2,50 }	3,17	{ 3,85 2,50 }	3,17
» 10 » . . . . .	{ 355 356 }	2,20 1,90	2,05	{ 7,40 7,50 }	7,45	{ 9,60 9,40 }	9,50
» 20 » . . . . .	{ 357 358 }	0,10 0,55	0,32	{ 2,30 4,15 }	3,23	{ 2,40 4,70 }	3,55
» 35 » . . . . .	359—60	0	0	0	0	0	0
» 50 » . . . . .	361—62	0	0	0	0	0	0
» 75 » . . . . .	363—64	0	0	0	0	0	0
» 100 » . . . . .	365—66	0	0	0	0	0	0
» 200 » . . . . .	367—68	0	0	0	0	0	0
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. . . . .	188	1,5	—	21,4	—	22,9	—
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 5 мг-экв. . . . .	{ 377 378 }	0	0	{ 0,60 2,30 }	—	{ 0,60 2,30 }	—
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 10 мг-экв. . . . .	{ 379 380 }	0	0	{ 1,70 10,20 }	—	{ 1,70 10,20 }	—
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 20 мг-экв. . . . .	{ 381 382 }	0	0	{ 2,80 0,30 }	—	{ 2,80 0,30 }	—
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 35 мг-экв. . . . .	{ 383 384 }	0,80	0	{ 8,90 0,45 }	—	{ 9,70 0,45 }	—
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 50 мг-экв. . . . .	385—86	0	0	0	0	0	0
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 75 мг-экв. . . . .	387—88	0	0	0	0	0	0
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 100 мг-экв. . . . .	389—90	0	0	0	0	0	0
$\text{CaCO}_3$ 100 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 200 мг-экв. . . . .	391—92	0	0	0	0	0	0
$\text{CaCO}_3$ 50 мг-экв. + $\text{SrCO}_3$ 50 мг-экв. . . . .	529—30	0	0	0	0	0	0

и кальция, введенного в почву уже заведомо в поглощенное состояние; кроме того в этот опыт включен еще вопрос о значении поглощенного магния при известковании почвы. Соответственно с этим схема опыта построена таким образом, что различные степени известкования в количестве 20, 25, 35 и 70 мг-экв. на 100 г почвы (при ненасыщенности торфянистой почвы в 80 мг-экв.) осуществляется двумя способами: 1) путем внесения в исходную торфянистую почву  $\text{CaCO}_3$  в указанных количествах в виде аптекарского мела и 2) путем пред-

Таблица 20

Урожай льна в 1932 и 1933 гг. в опыте с известкованием торфянистой почвы, частично насыщенной Са и Са+Mg  
(в граммах на сосуд)

Доза известкования в мг-экв. на 100 г почвы	П о ч в а	№ сосудов	1932 г.				1933 г.			
			Зерно	Солома	Всего	%, зерна	Зерно	Солома	Всего	%, зерна
0	Первонач. торфян. почва	534—35	0	0,9	0,9	0	0	0	0	—
20	То же+20 мг-экв. СаСО <sub>3</sub>	536—37	1,2	4,4	5,6	21	0	0	0	—
	Торфян. почва, насыщ. 20 мг-экв. Са . . . . .	553—54	0,1	2,6	2,7	4	0	1,1	1,1	0
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg . . . . .	566—57	0,5	3,3	3,8	13	0,3	2,4	2,7	11
25	Первонач. торф. почва+ +25 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . .	538—39	0,7	4,1	4,8	15	0	0	0	—
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са+5мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . .	555	0,4	4,0	4,4	9	0	0,2	0,2	0
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg+5 мг-экв. СаСО <sub>3</sub>	568	0,7	3,6	4,3	16	0	0,1	0,1	0
35	Первонач. торф. почва+ +35 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . .	540—41	0,3	4,6	4,9	6	0,8	4,3	5,1	16
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са+15 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . .	556	0,9	4,4	5,3	17	0	2,8	2,8	0
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg+15 мг-экв. СаСО <sub>3</sub>	569	0,9	3,9	4,8	19	0	0,8	0,8	0
70	Первонач. торф. почва+ +70 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	542—43	0,6	6,2	6,8	9	0,2	5,8	6,0	4
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са+50 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . .	557	1,4	5,6	7,0	20	0,3	1,9	2,2	14
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg+50мг-экв. СаСО <sub>3</sub>	570	1,5	5,5	7,0	21	0,6	3,9	4,5	14

варительное введение в почвенный поглощающий комплекс 20 мг-экв. Са или 20 мг-экв. Са+Mg промыванием исходной торфянистой почвы растворами СаCl<sub>2</sub> и СаCl<sub>2</sub>+MgCl<sub>2</sub> и последующим внесением дополнительных до 25, 35 и 70 мг-экв. количества СаСО<sub>3</sub> (т. е. 5; 15 и 50 мг-экв. СаСО<sub>3</sub> в виде аптекарского мела). Сосуды этого опыта, оставленные К. К. Гедройцем на повторение в 1933 г., были перебиты 2 июня с внесением в каждый сосуд новой порции питательных веществ в количестве 0,05 г N в NaNO<sub>3</sub> и 0,05 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в KN<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Посев опытных растений — льна, горчицы, овса и клевера — был произведен 4 июня. Урожайные данные за оба года опыта для льна приведены в таблице 20, для горчицы — в таблице 21, для овса и клевера — в таблице 22.

Таблица 21

Урожай горчицы в 1932 и 1933 г. в опыте с известкованием торфянистой почвы, частично насыщенной Са и Са+Mg  
(в г на сосуд)

Доля известк. известкований в мг-экв. на 100 г почвы	П о ч в а	№ сосудов	1932 г.				1933 г.			
			Зерно	Солома	Всего	% зерна	Зерно	Солома	Всего	% зерна
0	Первонач. торфянистая почва . .	534—26	0	0	0	—	0	0,3	0,3	0
20	То же + 20 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	526—27	0,7	1,6	2,3	30	0	1,0	1,0	0
	Торфян. почва, насыщ. 20 мг-экв. Са . . . . .	548—49	0,1	0,8	0,9	11	0	0,6	0,6	0
	Торфян. почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg . . . . .	563—63	0,1	0,5	0,6	17	0,1	0,9	1,0	10
25	Первонач. торфян. почва + 25 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	528—29	0,8	1,8	2,6	91	0,8	2,4	2,7	11
	Торфян. почва, насыщ. 20 мг-экв. Са + 5 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	550	0,1	1,6	1,7	6	0	0	0,7	0
	Торфян. почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg + 5 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	Первонач. торфян. почва + 35 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	530—31	1,0	2,4	3,4	90	0	1,8	1,8	0
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са + 15 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	551	0,5	1,2	1,7	30	0,3	2,2	2,5	9
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg + 15 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	564	0,2	1,1	1,3	15	0,1	1,0	1,1	9
70	Первонач. торфян. почва + 70 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	532—33	0,3	8,0	8,3	4	0,1	3,7	3,8	2
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са + 50 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	552	0,6	5,2	5,8	10	0,4	2,6	3,0	15
	Почва, насыщ. 20 мг-экв. Са и Mg + 50 мг-экв. СаСО <sub>3</sub> . . . . .	565	1,0	3,8	4,8	21	0,4	2,2	2,6	15

Таблица 22

Значение поглощенного магния по урожаям овса и клевера в 1932 и 1933 гг. на торфянистой почве  
(в г на сосуд)

П о ч в а	№ сосудов	В 1932 г.			В 1933 г.		
		Зерно	Солома	Всего	Зерно	Солома	Всего
<b>О в с о</b>							
Торфянистая почва, насыщ. 20 мг-экв. Са	544—45	2,0	4,4	6,4	1,3	2,7	4,0
Торфянистая почва, насыщ. 20 мг-экв. Са + Mg . . . . .	558—59	2,1	4,4	6,5	2,0	3,2	5,2
<b>К л е в е р</b>							
Торфянистая почва, насыщ. 20 мг-экв. Са	546—47	—	—	2,7	—	—	0,15
Торфянистая почва, насыщ. 20 мг-экв. Са + Mg . . . . .	560—61	—	—	3,3	—	—	1,35

Оценивая результаты этого опыта, следует иметь в виду, что он носил рекогносцировочный характер и был поставлен в маленьких сосудах, вмещающих очень небольшую навеску торфянистой почвы— всего 250 г воздушносухой почвы.

Это обстоятельство, понижающее точность вегетационного опыта, не позволяет оформить полученные результаты в виде вполне определенных выводов.

## 2. Опыты с поглощенными катионами

а) Опыт № 27. Действие одинаковых количеств поглощенного Cd и Ni при двух различных способах введения их в почву

Опыт носил главным образом методический характер с точки зрения исследования методов приготовления почвы, искусственно насыщенной теми или иными катионами. Опыт имел целью выяснить, будет ли какое-нибудь различие в развитии растений на искусственно приготовленных почвах, если частичное насыщение их теми или иными катионами производить двумя возможными путями: 1) промыванием раствором соли катиона всей почвы, поступающей в вегетационные сосуды, и 2) внесением в неизмененную почву того же количества катиона в виде соответствующей навески почвы, полностью насыщенной этим катионом.

Опыт был заложен в 1931 г. с Cd и Ni, оставлялся К. К. Гедройцем на учет последствия в 1932 г. и был оставлен им и на 1933 г. Сосуды опыта были перебиты 2 июня с внесением в каждый сосуд по 0,05 г N в  $\text{NaNO}_3$  и по 0,05 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

В сосуды были посеян овес, доведенный до полного созревания и убранный 26 августа.

Урожайные данные овса приведены в таблице 23 по Cd и в таблице 24 по Ni.

Результаты этого опыта остались те же, какие были получены в 1931—1932 гг. Несмотря на то, что опыт ведется в тех же сосудах уже третий год, различия между двумя способами введения в почву поглощенных катионов не сглаживаются.

Так же как и в первые годы опыта, действие катионов, в данном случае ядовитое действие Cd и Ni, оказывается сильнее, если они введены в почвенный поглощающий комплекс путем промывания почвы раствором соли катиона, чем если то же количество катиона внести в первоначальную почву добавкой к ней почвы, полностью насыщенной этим катионом.

б) Опыт № 4 (проверочный) по выяснению причин лучшего развития растений на искусственно приготовленных почвах по сравнению с первоначальным черноземом

В целом ряде опытов К. К. Гедройца с искусственно приготовленными из каменнестепного чернозема почвами путем обработки его 0,05 N HCl или растворами  $\text{AlCl}_3$  и  $\text{MnCl}_2$  различной концентрации К. К. Гедройцем было замечено, что все растения, бывшие в опытах, развиваются на второй год опыта во многих сосудах значительно лучше на таких искусственно приготовленных

Урожай овса в 1933 г. в методическом опыте с Cd  
(в граммах на сосуд)

№ почв	Схема опыта	№ сосудов	Зерно		Солона		Всего		
			по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	
I	1. Почва, обработанная 1 раз CdCl <sub>2</sub> 0,01 N; в сосуде 17,25 мг-экв. Cd (3,45 мг-экв. на 100 г почвы)	995	0,20	} 0,17	2,50	} 2,20	2,70	} 2,37	
		996	0,15		1,90		2,05		
	2. Первонач. почва + 25 г почвы IV; в сосуде 17,25 мг-экв. Cd, как в № 1 . . .	997	1,00	} 0,95	4,05	} 3,52	5,05	} 4,47	
		998	0,90		3,00		3,99		
II	3. Почва, обработанная 1 раз CdCl <sub>2</sub> 0,05 N; в сосуде 36,1 мг-экв. Cd (7,22 мг-экв. на 100 г почвы)	999	Всходы погибли в стадии 2-3-го листа					0	0
		1000							
	4. Первонач. почва + 53 г почвы IV; в сосуде 36,1 мг-экв. Cd, как в № 3 . . .	1001	0,30	} —	2,90	} —	3,20	—	
		1002	0		0,90		0,90		
III	5. Почва, обработанная 1 раз CdCl <sub>2</sub> 0,1 N; в сосуде 67,6 мг-экв. Cd (13,52 мг-экв. на 100 г почвы)	1003	Большие всходы погибли, едва появившись					0	0
		1004							
	6. Первоначальная почва + 99 г почвы IV; в сосуде 67,6 мг-экв. Cd как в № 5; . . .	1005	Всходы погибли в стадии 3-го листа					0	0
		1005							
IV	Эта почва полностью насыщена кадмием . . . . .								

почвах, чем на первоначальном каменностепном черноземе при одинаковом количестве внесенных питательных веществ.

Для выяснения причин повышенных урожаев на искусственно приготовленных почвах первой задачей К. К. Гедройца было установить, не произошло ли какой-нибудь ошибки с внесением питательных веществ на различно обработанных почвах при постановке

Таблица 25

Урожай овса в 1933 г. в методическом опыте с Ni (в граммах на сосуд)

№ почв	Схема опыта	№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
			по сосудам	средн.	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
I	1. Почва, обработанная 1 раз $\text{NiCl}_2$ 0,01 N; в сосуде 13,55 мг-экв. Ni (2,71 мг-экв. на 100 г почвы)	1007	1,30	1,87	3,20	3,25	4,50	4,62
		1008	1,45		3,30		4,75	
	2. Первонач. почва + 20 г почвы IV, в сосуде 13,55 мг-экв. Ni, как в № 1 . . .	1009	1,10	1,10	3,60	3,60	4,70	4,70
		1010	1,10		3,60		4,70	
II	3. Почва, обработанная 1 раз $\text{NiCl}_2$ 0,05 N; в сосуде 30,55 мг-экв. Ni (6,11 мг-экв. на 100 г почвы)	1011	Всходы погибли в стадии				0	0
		1012	1-го листа				0	
	4. Первонач. почва + 45 г почвы IV; в сосуде 30,55 мг-экв. Ni, как в № 3 . . .	1013	Всходы погибли в стадии				0	0
		1014	2-го листа				0	
III	5. Почва, обработан. 1 раз $\text{NiCl}_2$ 0,1 N; в сосуде 67,6 мг-экв. Ni	1015	Всходы не появлялись				0	0
		1016					0	
	6. Первонач. почва + 99 г почвы IV; в сосуде 67,6 мг-экв. Ni, как в № 5 . . .	1017	Всходы не появлялись				0	0
		1018					0	
IV	Это почва, полностью насыщенная никелем . . . . .							

этих опытов. С этой целью К. К. Гедройцем были оставлены на 1933 г. соответствующие группы сосудов из отдельных опытов с искусственно приготовленными почвами с тем, чтобы при перебивке этих сосудов обратить особенное внимание на правильность внесения в них питательных растворов.

В 1933 г. сосуды опыта были перебиты 2 июня с внесением в каждый сосуд по 0,15 г N в  $\text{NaNO}_3$  и 0,15 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  в  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . 4 июня сосуды были засеяны различными растениями, убранными в зрелом виде 23 августа.

Урожайные данные опыта приведены в таблице 25.

Результаты этого проверочного опыта показывают, что никакой ошибки во внесении питательных растворов при основной закладке опыта не было. Так же как и в 1931—1932 гг., все растения этого опыта дают более высокие урожаи на черноземе, полностью насыщенном N и нейтрализованном углекислым кальцием, чем на первоначальном

Урожай различных растений в 1933 г. в опыте по выносу ирригации повышенных урожаев на искусственно приготавливаемых почвах (в г на сосуд)

П о ч в а	№ сосудов	Зерно		Солома		Всего	
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее
Повторное основное удобрение 0,15 г N в $\text{NaNO}_3$ и 0,15 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KH}_2\text{PO}_4$							
Овес							
Первоначальный каменостепной чернозем . . . . .	600	1,35	1,35	2,50	2,50	3,85	3,85
Он же, промытый водой . . . . .	{ 603	{ 1,90	{ 1,52	{ 2,80	{ 2,80	{ 4,10	{ 4,10
	{ 604	{ 1,75		{ 3,00		{ 4,75	
Чернозем, полностью насыщенный Н + оптимальная доза $\text{CaCO}_3$ (47,5 мг-экв.) . . . . .	{ 839	{ 2,50	2,50	5,10	5,10	7,60	7,60
	{ 840	{ 2,50		{ 4,65		{ 7,45	
Гречиха							
Первоначальный каменостепной чернозем . . . . .	597	1,15	1,15	2,30	2,30	3,45	3,45
Он же, промытый водой . . . . .	{ 607	{ 1,05		{ 3,20		{ 4,25	
	{ 608	{ 1,20		{ 2,75		{ 3,95	
Чернозем, полностью насыщенный Н + оптимальная доза $\text{CaCO}_3$ (55 мг-экв.) . . . . .	{ 879	{ 3,05	3,62	5,70	5,80	8,75	9,42
	{ 880	{ 4,20		{ 5,90		{ 10,10	
Первоначальный каменостепной чернозем . . . . .	599	0,25	0,25	1,30	1,30	1,55	1,55
Лен							

Таблица 25 (продолжение)

П о ч в а	№ опыта	Зерно		Солона			Всего		
		по сосудам	среднее	по сосудам	среднее	по сосудам	среднее		
								по сосудам	среднее
Повторное основное удобрение 0,15 г N в $\text{NaNO}_3$ и 0,15 г $\text{P}_2\text{O}_5$ в $\text{KPi}_2\text{PO}_4$ .									
Он же, промытый водой . . . . .	{ 609 610	0 0,55	0,55	{ 0 2,20	0 2,20	{ 0 2,20	0 2,20	{ 0 2,75	2,75
Чернозем, полностью насыщенный Н + оптимальная доза $\text{CaCO}_3$ (47,5 мг-экв.) . . . . .	{ 907 908	0 <sup>1)</sup> 0	0	{ 0 <sup>1)</sup> 0	0 0	{ 3,25 4,25	3,25 3,75	{ 3,25 4,25	3,75
Горчица									
Первоначальный наименостепной чернозем . . . . .	598	0	0	0	0	{ 1,85 1,85	1,85	{ 1,85 1,85	1,85
Он же, промытый водой . . . . .	{ 605 606	0,10 0,02	0,06	{ 0,10 0,02	0,06	{ 3,40 3,60	3,50	{ 3,50 3,62	3,56
Чернозем, полностью насыщенный Н + оптимальная доза $\text{CaCO}_3$ (57,5 мг-экв.) . . . . .	{ 849 950	0,90 1,20	1,05	{ 0,90 1,20	1,05	{ 6,50 5,15	5,82	{ 7,40 6,95	6,87
Клевер									
Первоначальный наименостепной чернозем . . . . .	601	—	—	—	—	—	—	{ 1,60 1,90	1,75
Он же, промытый водой . . . . .	{ 602 611	—	—	—	—	—	—	{ 1,60 1,60	1,60
Чернозем полностью насыщенный Н + оптимальная доза $\text{CaCO}_3$ [56 мг-экв.] . . . . .	981	—	—	—	—	—	—	{ 7,25	7,25

1 Экспериментальная высота 8—10 см, почему-то засохли.

черноземе, ничем не обработанном или обработанном только водой. Предположение, что в этом повышении урожая на искусственно приготовленных почвах может играть роль увеличение подвижности питательных веществ почвы под влиянием в частности обработки ее соляной кислотой, в известной мере ослабляется тем, что во все сосуды давалось одинаковое и достаточно большое для навески в 500 г почвы количество питательных веществ; поэтому различия в урожайности разных почв не могли в такой сильной степени зависеть только от различий в обеспеченности растворимыми питательными веществами.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Краткая биография акад. К. К. Гедройца . . . . .	6
<b>Германов Ф. Н.</b> Работы акад. К. К. Гедройца на Долгопрудном опытном поле Научного института по удобрениям НКТП (НИУ) . . . . .	8
1. Почвенный поглощающий комплекс; процессы разрушения и образования его в почве . . . . .	9
2. Роль обменных катионов, состава и соотношения их в почвенном поглощающем комплексе и в определении основных и агрономических свойств почвы . . . . .	21
3. Изучение биологических свойств почв в зависимости от свойств их поглощающего комплекса . . . . .	33
<b>ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ТРУДЫ АКАД. К. К. ГЕДРОЙЦА</b>	
<b>Почвенные обменные катионы и растения . . . . .</b>	<b>40</b>
1. Доступность растениям кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии, к обмену неспособном. Отношение растения к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы . . . . .	40
2. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве . . . . .	52
3. Влияние на урожай марганца, алюминия и некоторых других металлов, введенных в почвенный поглощающий комплекс в различных количествах . . . . .	64
4. Поглощенный аммоний как источник азота для растений и действие его на почву . . . . .	76
5. Действие на растения углесоей кальция и магния . . . . .	87
6. Работы Агрохимического отдела НИУ по взаимоотношению между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением . . . . .	97
7. Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация . . . . .	110
8. К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии в кислых почвах . . . . .	121
9. Действие перекиси водорода на почву . . . . .	126
10. Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растением . . . . .	156
11. Тематический план по группе акад. К. К. Гедройца на 1933 г. . . . .	159
12. Объяснительная записка к темам группы академика К. К. Гедройца на 1933 г. . . . .	160
13. Список научных трудов К. К. Гедройца . . . . .	161
	341

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. МАТЕРИАЛЫ ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ  
ОПЫТАМ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА ЗА 1930—1932 г.

А. Н. Вольская и С. Р. Шедеров

Почвенные обменные катионы и растение . . . . .	164
Введение . . . . .	164
А. Методика акад. К. К. Гедройца в вегетационных опытах . . . . .	164
В. Опыты по известкованию и изучению соотношения между обменным кальцием и магнием в почве. . . . .	168
1. Опыты с известкованием на почве, полностью насыщенной водородом. 168	
а) Опыты № 1 и 2. Предварительные опыты с известкованием 1929— 1931 гг. . . . .	168
б) Опыт № 3 с обменным магнием . . . . .	173
в) Опыты № 4, 5 и 6. Известкование почвы, полностью насыщенной водородом (основной опыт 1931—1932 г.) . . . . .	178
г) Опыт № 7. Изучение действия углекислых солей кальция и угле- кислых солей магния на первоначальном черноземе и в песчаных культурах. . . . .	199
д) Опыт № 8 с $MgCO_3$ и магнезитом на фоне $CaCO_3$ , на черноземе, насы- щенном водородом . . . . .	204
е) Основной опыт (№ 9) 1932 г. по изучению соотношения между обменными кальцием и магнием на черноземе, полностью насыщенном водородом . . . . .	208
ж) Опыт № 10. Влияние времени внесения $CaCO_3$ на эффект известко- вания . . . . .	227
з) Опыт № 11 с различными видами и дозами доломитов на почве, пол- ностью насыщенной H <sup>+</sup> . . . . .	229
и) Опыт № 12. Магнезит на почве, полностью насыщенной водородом. 241	
к) Опыт № 13 с почвой, полностью насыщенной кальцием. . . . .	241
2. Опыты с известкованием на торфянистой почве . . . . .	246
а) Опыт № 15. Действие $CaCO_3$ и доломита на торфянистой почве . . . . .	246
б) Опыт № 16. Соотношение обменного Ca : Mg на торфянистой почве. 247	
в) Действие доломита на торфянистой почве . . . . .	268
г) Опыт № 18. Действие различных форм магнезита на торфянистой почве. 269	
д) Опыт № 19. Углекислый стронций на торфянистой почве . . . . .	277
е) Опыт № 20. Известкование торфянистой почвы, частично насыщенной кальцием и кальцием + магнием . . . . .	280
С. Опыты с поглощенными катионами . . . . .	280
а) Опыты № 25 и 26. Влияние на урожай поглощенных почвой алюми- ния и марганца. . . . .	280
б) Опыт № 27. Сравнительное действие алюминия, кадмия и никеля, поглощенных всей почвой и частью ее . . . . .	303

**ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ В 1933 г.  
ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТОВ акад. К. К. ГЕДРОЙЦА ПО ТЕМЕ  
«ПОЧВЕННЫЕ ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ И РАСТЕНИЕ»**

*А. Н. Вольская*

1. Опыты по известкованию и изучению соотношения между обменными кальцием и магнием . . . . .	309
а) Опыты № 9 (основной). Изучение соотношения между обменными кальцием и магнием на почве, полностью насыщенной Н <sup>+</sup> . . . . .	309
б) Опыты № 11. Доломит на почве, полностью насыщенной Н <sup>+</sup> . . . . .	318
в) Опыты № 13. Почва, полностью насыщенная кальцием . . . . .	320
г) Опыты № 16 (основной). Соотношение между обменными кальцием и магнием на торфянистой почве . . . . .	322
д) Опыты № 19. SrCO <sub>3</sub> и CaCO <sub>3</sub> на торфянистой почве . . . . .	329
е) Опыты № 20. Известкование торфянистой почвы, частично насыщенной Са и Са+Mg. . . . .	330
2. Опыты с поглощенными катионами . . . . .	334
а) Опыты № 27. Действие одинаковых количеств поглощенного Cd и Ni при двух различных способах введения их в почву . . . . .	334
б) Опыты (проверочный) по выяснению причин лучшего развития растений на искусственно приготовленных почвах по сравнению с первоначальным черноземом . . . . .	334

Цена 4 р. 50 к. Переплет 1 р.

Редакторы Селиванов и Ярошенко.  
Техн. редактор И. Соболев-Докучаев  
Корректор В. Метлицкая.

Индекс 23-Г. Сельхозгиз № 4473/1517. Сдано  
в набор 26/V 1934 г. Подписано к печати  
10/XII 1934 г. 21½ печ. лист. Авт. лист. 30,142  
Формат 62×94/16. 52 000 тип. знаков в печ. л.  
Уполн. Главлита № Б-39394. Тираж 7000 экз.  
Заказ тип. № 90

---

Отпечатано с матриц в 18-й типографии  
треста «Полиграфинига» Москва, Варгун-  
хи .а гора, 8.

5 руб. 50 коп.