

КРД  
Пр 102  
12

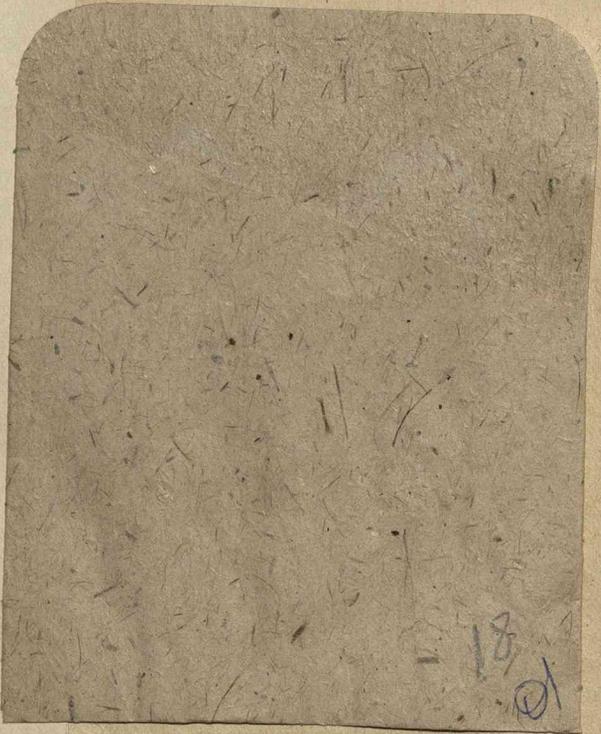


# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

СЕРИЯ ГЕОЛОГО-ПОЧВЕННЫХ НАУК

ВЫП. 12

ИЗДАНИЕ ЛЕНИНГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ОРДЕНА ЛЕНИНА УНИВЕРСИТЕТА  
ЛЕНИНГРАД 1944



ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
- ОРДЕНА ЛЕНИНА УНИВЕРСИТЕТ

Пр 102  
12

# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

СЕРИЯ ГЕОЛОГО-ПОЧВЕННЫХ НАУК

ВЫП. 12

Отв. редактор проф. С. С. Кузнецов

1252456

Рязанская  
областная библиотека  
им. А. М. Горького

ИЗДАНИЕ  
ЛЕНИНГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ОРДЕНА ЛЕНИНА УНИВЕРСИТЕТА  
ЛЕНИНГРАД  
1944

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ЧАСТЬ I

	Стр.
Биография и речи, произнесенные на мемориальном заседании Геолого-почвенного факультета ЛГУ, Института земной коры и Общества естествоиспытателей 31 октября 1938 г.	
П. А. Яц ю к. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">С. П. Кравков</span> (1873—1938) . . . . .	5
В. Н. Симаков. Научная деятельность С. П. Кравкова . . . . .	13
С. С. Кузнецов. О Сергее Павловиче Кравкове . . . . .	23
Е. И. Шилова. Памяти С. П. Кравкова . . . . .	28

### ЧАСТЬ II

Из работ кафедры почвоведения ЛГУ им. С. П. Кравкова и кафедры географии почв.	
В. Н. Симаков. К вопросу о поглощении органических веществ почвами	33
С. А. Персин. Поглощение воднорастворимых органических веществ почвами . . . . .	50
М. Д. Рыдалевская и В. В. Тищенко. О катионном обмене гуминовых кислот различных почвенных типов . . . . .	67
Л. Н. Александрова. К характеристике органической и минеральной части почвенных коллоидов . . . . .	77
Е. И. Шилова. Продукты взаимодействия белков с минеральными веществами. (Сообщение II) . . . . .	100
Т. Л. Симанова. Доступность бактериям азотистых веществ, поглощенных клетчаткой и лигнином. (Сообщение I) . . . . .	113
М. И. Рожанец. Аналоги и гомологи в системе почв . . . . .	118
А. Ф. Цыганенко. Опыт изучения изменений в химизме чернозема под влиянием искусственных лесных посадок и зависимости этих изменений от состава насаждений . . . . .	128
И. Н. Скрынников. К вопросу о передвижении минеральных элементов в системе растение — почва — почвообразующие породы . . . . .	153
С. М. Миневич. Приемы коренного улучшения песчаных почв Полесья. (Сообщение I) . . . . .	183
М. А. Глазковская. Опыт сопоставления почв приморских дельт различных географических областей . . . . .	202
П. А. Яц ю к. Физико-химические свойства серпентинов и серпентинитов . . . . .	212

Отв. редактор проф. С. С. Кузнецов

Подписано к печати 20/ХП 1944 г. М 05052 Тираж 500+50 отд. оттисков. 4 вкладки  
 Печатных л. 14,5. Учет. авт. л. 19,5. Зак. № 910.  
 Цена 25 руб.

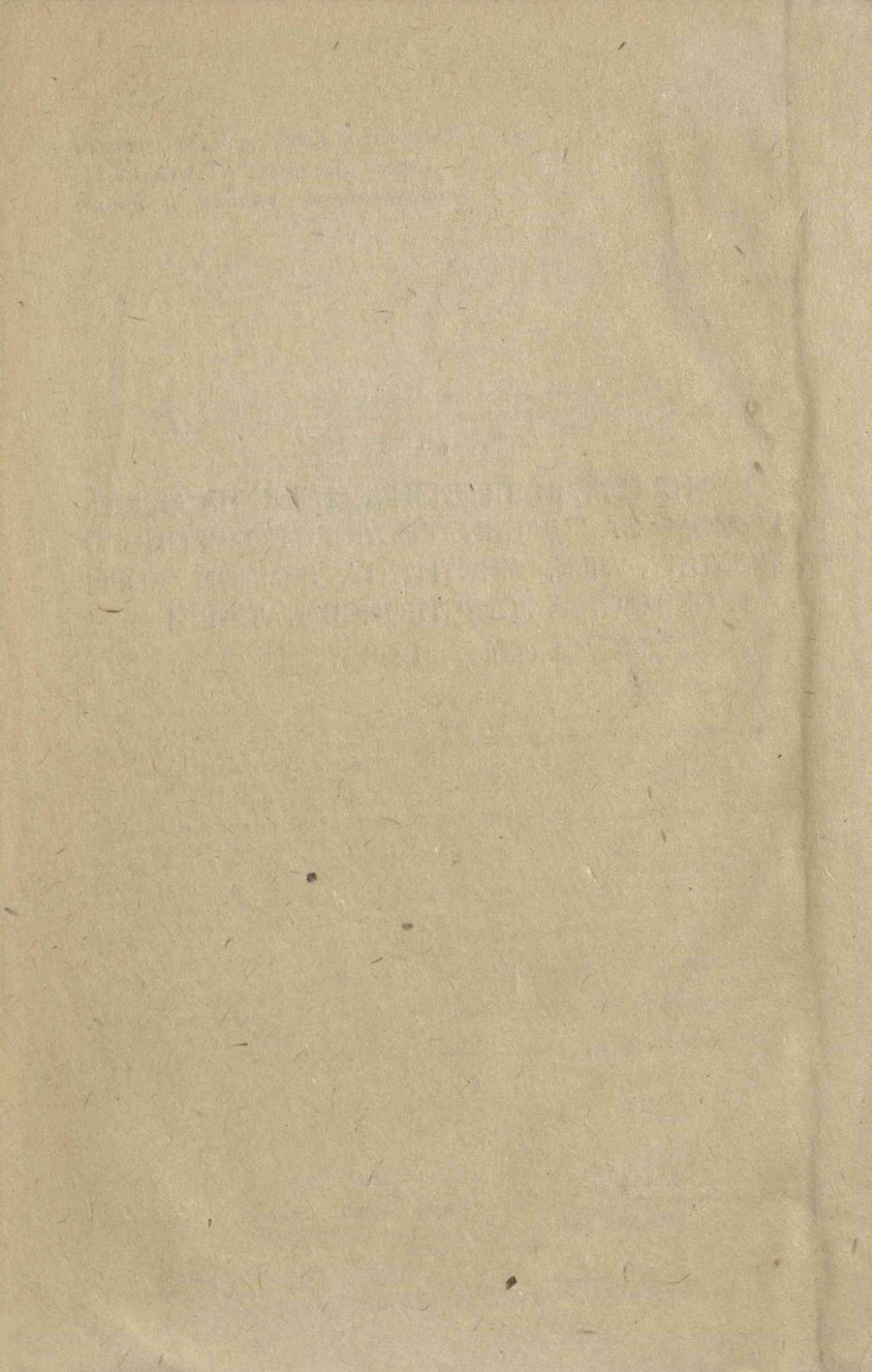
2-я типография „Печатный Двор“ им. А. М. Горького, треста „Полиграфнига“  
 ОГИЗа при СНК РСФСР. Ленинград, Гатчинская, 26.

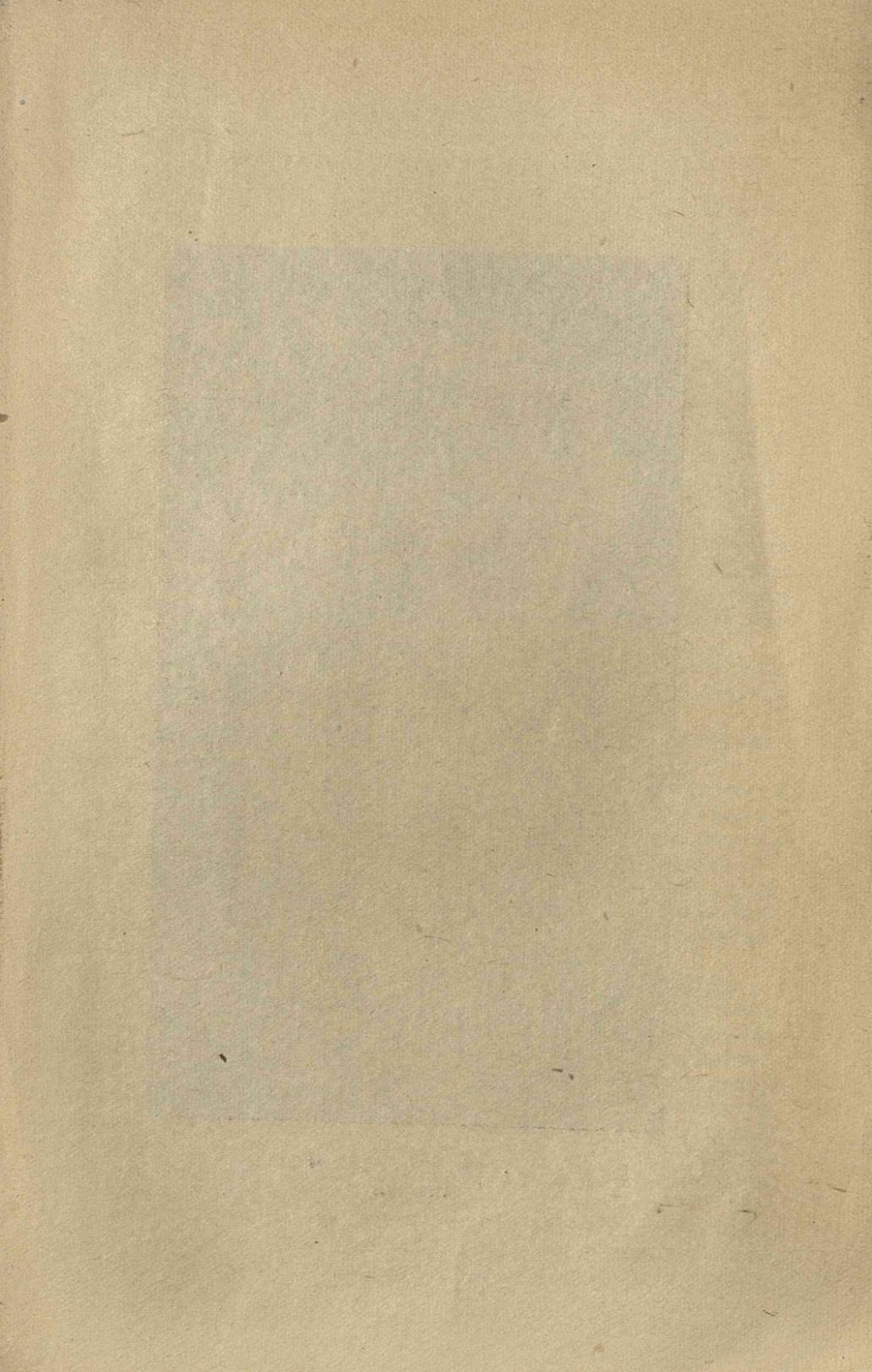
*Светлой памяти дорогого учителя  
Сергея Павловича КРАВКОВА  
признательные ученики и друзья*

ЧАСТЬ I

БИОГРАФИЯ И РЕЧИ, ПРОИЗНЕСЕННЫЕ НА МЕМО-  
РИАЛЬНОМ ЗАСЕДАНИИ ГЕОЛОГО-ПОЧВЕННОГО  
ФАКУЛЬТЕТА ЛГУ, ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ  
И ОБЩЕСТВА ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЕЙ

31 октября 1938 г.







*Проф. С. П. Кравков*  
(1873—1938)

**С. П. КРАВКОВ**

(1873—1938)

*П. А. Яцук*

Обрисовать в столь короткое время ту исключительную во многих отношениях натуру, каковую представлял собою покойный Сергей Павлович, натуру в высшей степени разностороннюю и многогранную, с весьма богатым содержанием, и представить таким образом весь жизненный путь С. П. — является делом далеко не легким.

Жизненный путь С. П. начался в Рязани в 1873 г., когда в семье Кравковых родился последний, девятый ребенок, которого назвали Сережей.

Отец С. П., кантонист, прошел суровую военную школу николаевского времени, которая воспитала в нем, как рассказывал об этом С. П., грубоватого, черствого, но вместе с этим аккуратного и исполнительного человека. Мать С. П., по своему характеру полная противоположность отцу, была доброй и отзывчивой и имела большое влияние на воспитание своих детей. От отца С. П. унаследовал точность и аккуратность, от матери — отзывчивость и чуткость к людям. Семья Кравковых состояла из шести сыновей и трех дочерей; жили они на средства, зарабатываемые отцом, и на приработок — стиркой белья — матери.

Вспоминая об этом периоде жизни, С. П. рассказывал: «Было тяжело смотреть на мать, обремененную повседневной заботой о семье и изнуряемую частой работой на стороне. Хотелось во что бы то ни стало самостоятельно зарабатывать и тем самым облегчить ее положение. Обладая хорошим голосом, я пел в церковном хоре, на вечеринках, на свадьбе, на похоронах, всюду пользовался успехом и помимо собственного развлечения доставлял семье материальные блага». «Я был в это время, — говорит С. П., — каким-то заброшенным и предоставленным самому себе. В школе учился не блестяще, больше любил развлекаться пением, музыкой и особенно охотой. В связи с этим был даже оставлен в шестом классе гимназии на 2-й год. Но это обстоятельство мало смущало меня, и я попрежнему оставался бойким мальчишкой, и теперь с удовольствием вспоминаю об этих никогда невозвратимых годах».

С. П. окончил гимназию в 1892 г. и поступил на естественное отделение Физико-математического факультета Петербургского университета.

О студенческих годах С. П. нет пока достаточно полных сведений, характеризующих этот период его жизни, и сам С. П. мало вспоминал и рассказывал об этом. Известно, что С. П. принадлежал не к привилегированной части студенчества, занимался очень хорошо, жил весьма скромно, зарабатывая уроками средства к жизни.

В 1896 г. С. П. окончил университет и за свою дипломную работу «О плодосменности» был награжден золотой медалью.

После окончания университета С. П. был оставлен на два года при университете, при кафедре агрономии у проф. А. В. Советова, для подготовки к магистерским экзаменам. С этого времени и начинается научная деятельность С. П. В 1898 г. появляется в свет его первая научно-исследовательская работа «К вопросу о влиянии электризации почвы на совершающиеся в ней процессы». Эти исследования были направлены на разрешение одного из спорных в то время агрономических вопросов об электрокультурах. В этой работе С. П. впервые по-новому был поставлен вопрос об изучении процессов, совершающихся в почве под влиянием ее электризации. Об этих исследованиях М. Егоров писал: «Вопрос о действии электричества на растение и почву имеет очень почтенную давность (около 200 лет), но только лишь в последнее время начинает приобретать некоторую ясность в постановке и разрешении своем в связи с исследованиями С. П. Кравкова, работа которого стоит совершенно особняком среди другого рода работ по этому вопросу».

Выводы, сделанные С. П. на основании этих исследований, касаются изменения морфологических и химических свойств почвы под воздействием ее электризации и получили полное подтверждение со стороны многих современных исследователей, применявших новейшие методы физико-химического анализа почв.

Вся последующая деятельность С. П. до самой его кончины была посвящена всестороннему и глубокому изучению свойств почв и взаимодействия их с растениями.

Кроме упомянутой выше работы, С. П. в 1898 г. принял участие в геоботанических исследованиях Деркульской степи в Харьковской губернии и в результате этих исследований написал три научные статьи.

Своими первыми научными работами С. П. зарекомендовал себя как самостоятельный молодой ученый, проявив при этом необычайные способности и склонность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности.

Для окончания лабораторных исследований С. П. необходимо было продолжить пребывание его в университете. В связи с этим, возбуждая ходатайство по поводу продления срока пребывания С. П. в университете, проф. А. В. Советов писал: «Кравков один из талантливых и деятельных молодых ученых, заявивший себя серьезными научными трудами». Попечитель учебных заведений разрешил С. П. посещать агрономическую лабораторию со следующей характерной для того времени формально-казенной припиской: «этот год не будет впоследствии зачислен ему [Кравкову] в действительную службу». С большой энергией и настойчивостью, свойственной особо талантливым людям, С. П. продолжал работу в агрономической лаборатории, получая при этом стипендию от Общества естествоиспытателей. Для

дальнейшего усовершенствования в науке в 1899 г. С. П. был командирован за границу.

За границей С. П. проходит в Галле у проф. Меркера агро-химический практикум, отрабатывает практикум по микробиологии у знаменитого микробиолога Дюкло и, наконец, проводит специальную работу на тему: «О движении солей в почве» под руководством проф. Орта. В летние месяцы за время пребывания за границей С. П. знакомится с постановкой научно-исследовательской работы на опытных сельскохозяйственных станциях Германии, Франции и Англии.

Ознакомившись, таким образом, с богатым опытом агрономической школы Европы, С. П. в 1901 г. вернулся из командировки в Россию и в июле того же года был назначен заведующим опытным хозяйством Ново-Александрийского с.-х. института.

Работа в опытном хозяйстве представляла большие трудности, обуславливаемые многими и разными причинами. «Прежде всего не было опыта и достаточного знакомства с практическим ведением хозяйства, — рассказывал С. П., — между тем приходилось разрешать самые необычные и неожиданные вопросы, о которых раньше и не мечтал, как, например, по скотоводству, по коневодству, по кирпичному делу, по винодельному производству и т. д.»

Из Новой Александрии в 1903 г. С. П. был снова командирован за границу и работал у проф. Раманна над вопросами изучения продуктов разложения органических веществ. Эти исследования послужили началом тех классических работ С. П., которые составили впоследствии магистерскую и докторскую диссертации.

Вернувшись из-за границы в 1904 г., С. П. оставил заведывание опытным хозяйством Ново-Александрийского с.-х. института, переехал обратно в Петербург, сдал в университете магистерские экзамены и был оставлен при университете в качестве приват-доцента по кафедре агрономии.

С. П. было поручено чтение лекций по курсу «О химико-биологических процессах в почве». В это время кафедра агрономии оставалась без заведующего в связи со смертью в 1901 г. А. В. Советова. Поэтому С. П. оставался без руководства своего учителя, что осложняло дальнейшую его работу. С. П. приходилось надеяться только на свои собственные силы, чтобы добиться полного совершенства в научно-педагогической деятельности.

Будучи высоко образованным и достаточно подготовленным в научном отношении, С. П. широко развернул научно-исследовательскую и педагогическую работу не только в университете, но и за его пределами. В 1905 г. С. П. был избран преподавателем общего земледелия на Стебутовских женских с.-х. курсах.

Уже в это время лекции С. П. пользовались необычайным успехом как по своему глубокому научному содержанию, так и по форме их изложения.

Талантливый молодой С. П., в расцвете своих сил и способностей, горячо любящий молодую науку — «Почвоведение», с большим увлечением популяризирует ее среди широких кругов слушателей, выступая в качестве лектора среди народных учителей, на агрономических курсах и т. д.

Помимо педагогической работы, С. П. с 1906 по 1907 г. работает в опытном Велико-Анадольском лесничестве по вопросу о причине усыхания лесных посадок в степи.

В 1908 г. С. П. участвовал в организации Каменностроговского с.-х. института, реорганизованного после Октябрьской революции в Ленинградский с.-х. институт, а затем в Институт прядильных культур, где С. П. заведывал кафедрой общего земледелия до 1932 г. В начале педагогической деятельности С. П., помимо работы в высших учебных заведениях, принимал живое участие в качестве преподавателя химии в средних школах. Здесь С. П. также пользовался исключительным вниманием и большой любовью со стороны учащихся. Ежегодно после окончания учебного года С. П. получал десятки писем от учащихся, которые выражали ему благодарность за проведение преподаваемого им курса. «Ваши уроки всегда будут вставать в нашей памяти, как одни из ценных воспоминаний ученических лет. Ваши уроки дали нам не только теоретические сведения, но служат и подготовкой к самостоятельной жизни. Мы Вам очень благодарны. Когда настанет пора применить эти знания к делу, мы будем с благодарностью вспоминать о Вас», писали учащиеся.

Окруженный любовью слушателей и полный творческих сил, С. П. еще с большей энергией постепенно, но верно приближался к вершинам ученой карьеры.

В 1908 г. С. П. защитил в Казанском университете (кафедра агрономии при Петербургском университете была вакантной после смерти проф. А. В. Советова до 1912 г.) магистерскую диссертацию на тему: «Материалы по изучению процессов разложения растительных остатков в почве».

После защиты магистерской диссертации С. П. был избран доцентом университета, и ему было поручено чтение обязательного для агрономов курса — «Почвоведение и агрохимия».

Все это время С. П. ведет интенсивную научно-исследовательскую работу и после поездки в 1910 г. в Берлин, где он окончательно отшлифовывает свою докторскую диссертацию, защищает ее в 1912 г. под названием «Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании». Эта работа С. П. явилась крупным вкладом в науку о почве.

После защиты докторской диссертации С. П. в том же году избирается профессором кафедры агрономии Петербургского университета, которая после десятилетнего перерыва получила наконец достойного и талантливого руководителя, впоследствии создавшего школу агропочвоведов.

Научная и педагогическая деятельность С. П. получила особенно широкий размах после Октябрьской революции, когда качественный состав слушателей университета полностью обновился, когда самой жизнью было предъявлено требование на подготовку новых кадров из рабочих и крестьян, призванных правительством и партией для строительства новой жизни на новых социалистических началах.

С. П. как верный сын народа не оставил его в трудные революционные годы, он вместе со всеми переживал неудачи, горе и радости

и со всеми передовыми человеческими умами работал над светлым будущим трудящегося народа.

Октябрьская революция помогла С. П. теоретические основы его учения приложить в практической советской действительности. Поэтому послереволюционный период жизни и деятельности С. П. может быть отмечен как наиболее интересный.

С. П. был специалистом того направления в почвоведении, которое было наиболее близко к практическим запросам сельского хозяйства и которое только после Октябрьской революции смогло развиваться надлежащим образом.

Со всех концов Советского Союза к С. П. поступали различного рода вопросы от его учеников и лиц, работающих на опытных станциях и в научно-исследовательских учреждениях. Просили С. П. дать указания, разъяснения и советы по самым разнообразным вопросам, касающимся организации и постановки научно-исследовательской работы на местах.

С. П. готовил многочисленные кадры специалистов как в высших учебных заведениях (Университет, Сельскохозяйственный институт, Высшая коммунистическая с.-х. школа им. Кирова), так и в научно-исследовательских институтах (ГИОА, ЛОВИУА, Сев.-Зап. обл. с.-х. оп. станция и др.).

Большое участие С. П. принимал в общественном переустройстве нашей страны. Он чутко отзывался на правительственные постановления, касающиеся, в частности, реконструкции сельского хозяйства. С. П. принимал деятельное участие как в проведении, так и в организации ряда лекций и занятий с отъезжающими в деревню студентами, аспирантами, рабочими-сезонниками, с директорами совхозов, с председателями колхозов и др. Лекции С. П. были доступны и понятны для всех, всюду он сеял доброе семя.

Еще так недавно, в день 35-летнего юбилея С. П., проф. Г. Н. Высоцкий писал: «Сеятель» Вы добрый, талантливый, красноречивый, захватывающий. Поэтому Ваши «посевы» густы и мощны..., все — «поликарпы». Желаю Вам много лет сеять семя доброе, обильное, высококачественное так, чтобы никакие «сорные травы», «вредные насекомые» и никакие иные вредители не портили Ваших посевов».

Советская общественность высоко ценила педагогическую, научную и общественную деятельность С. П., и он много раз был премирован.

Особую награду С. П. получил от ВЦИКа, присвоившего ему звание заслуженного деятеля науки.

Вот краткий перечень биографических данных, которые, разумеется, и в слабой степени не отражают богатой плодотворной жизни С. П.

Далее мне хочется остановиться на некоторых чертах С. П. как человека, хочется, хотя бы грубыми штрихами, наметить основные черты его личной, внутренней жизни, которая была такой же интересной и поучительной, как и весь его жизненный путь. С. П., одаренный от природы сильным умом, обладал большой наблюдательностью и живой восприимчивостью ко всему окружающему. Однако он не всегда и не со всеми готов был делиться результатами личных переживаний. Поэтому многие детали его душевных качеств могут оставаться слабо или совсем не освещенными мною.

Я намереваюсь поделиться главным образом личными впечатлениями, которые остались у меня со времени первого знакомства с С. П., в бытность мою студентом, и до последних дней совместной с ним работы.

На первый взгляд С. П. производил впечатление человека сосредоточенного, молчаливого, малообщительного и не очень доступного, но даже после кратковременного знакомства с ним такое впечатление полностью рассеивалось: С. П. был прямой, искренний и деликатный человек.

К С. П. обращались очень многие за всевозможными советами по самым разнохарактерным вопросам, не исключая в отдельных случаях и вопросов личного порядка.

Имея огромный жизненный опыт, С. П. давал конкретные, ясные и исчерпывающие советы и указания, от него посетитель уходил согретый отеческой лаской, с чувством полного удовлетворения.

Проявляя особое внимание и заботу к людям, С. П. умел расположить их к себе и настолько сильно, что чувство глубокого уважения к нему оставалось навсегда.

С. П. был всегда самим собою, со всеми говорил одинаково спокойно, деликатно и ласково. Своего посетителя всегда выслушивал до конца и старался оказать немедленную помощь. С. П. был со всеми и всегда корректным — это одна из характерных его черт. Таков он был со служителями, со студентами, со своими сотрудниками, со всеми; таков он был на службе, в семейной обстановке дома, в официальных заседаниях и т. д.

Второй особенностью характера С. П. была его исключительная отзывчивость к людям. Если принять во внимание, что С. П. обладал феноменальной памятью и что он никогда никакого дела не откладывал ни на минуту, то станет ясным, что то, что касалось других и зависело хотя бы в какой-либо мере от него, находило свое выражение в немедленной помощи и поддержке.

Собственную деловитость и исполнительность он старался привить и своим ученикам. Он часто говорил: «Учитесь делать все сегодня, не откладывая на завтра».

И, наконец, третьей особенностью характера С. П. было стремление найти в человеке положительные его качества, оставляя в стороне отрицательные черты его характера.

Благодаря таким душевным качествам С. П. пользовался глубоким уважением и любовью со стороны своих учеников, товарищей по работе и вообще всех тех, кто его знал.

Я позволю себе привести выдержку из письма известного в Союзе профессора почвоведов, который писал С. П.: «За короткий срок ко мне приезжали четыре Ваших ученика, и в словах и поступках их чувствуется Ваше обаятельное влияние как ученого и человека. Я не встречал ни одного из Ваших учеников, который не отзывался бы о Вас с глубоким уважением. Сам я лично, не будучи Вашим учеником официально, многое от Вас воспринял и теперь воспринимаю из Ваших прекрасных книг, а Ваша многократная моральная поддержка меня навсегда останется в моем сердце и сознании»... и далее: «не сомневаюсь, что молодежь и молодость

всегда будут окружать Вас вниманием, потому что свою жизнь Вы отдаете им».

Действительно, С. П. очень любил молодежь и всегда горячо приветствовал всевозможные студенческие начинания и всемерно их поддерживал.

К самому себе С. П. был очень строгим и требовательным, он обладал поразительной выдержкой и никогда почти никому не говорил о своих недугах, как бы они ни были для него тягостны.

Мне вспоминается случай, когда весной 1937 г. питомцы С. П. обратились к нему с просьбой присутствовать на выпускном вечере, который они устраивали по случаю окончания университета. Подобного рода вечера, на которых почти всегда присутствовали кроме С. П. ныне здравствующие профессора П. А. Земятченский и Я. С. Эдельштейн, были настолько интересными — по своему содержанию — и настолько оживленными, что надолго оставались в памяти участников, поддерживая бодрое настроение вступающих на новый трудовой путь.

С. П. согласился присутствовать на этом вечере и как всегда был в центре внимания собравшихся. Внешне казалось, что он был жизнерадостным, веселым, речи его были содержательными, остроумными и злободневными, с некоторым неподдельным юмором. Ни по его речам, ни по внешнему виду его никто не заметил, никто не узнал в этот вечер о той внутренней трагедии, которую он переживал, — С. П. предстояла сложная и тяжелая операция; хирурги требовали немедленного операционного вмешательства. И все же, несмотря на тяжелое моральное и физическое состояние, С. П. не отказался присутствовать на вечере своих питомцев, заведомо зная, что его отсутствие было бы для них большим огорчением. Надо обладать поистине огромной силой воли и особой любовью к своим ученикам, чтобы делать подобного рода поступки.

При такой чуткости к людям С. П. был болезненно чувствителен и к тому отношению, какое проявлялось к нему. Если к С. П. подходили, как это называется, с открытой душой, с любовью и лаской, он с такими же чувствами шёл навстречу. Совершенно противоположный эффект получался, если в обращении с ним допускалась грубость: в таких случаях С. П. нервничал и раздражался.

Облик С. П. не будет полностью обрисован, если не указать еще на одну черту в его характере — любовь к природе. С. П. любил красивые, живописные места, подолгу мог любоваться ими и испытывал огромное удовлетворение, когда был один и слушал симфонию окружающей природы, богатую неисчислимыми и самыми разнообразными звуками.

Любовь к природе еще в большей мере станет понятной, если вспомнить, что С. П. имел огромное пристрастие к охоте. Многие годы С. П. каждое лето проводил свой отпуск в деревне, и там его излюбленным занятием была охота. Он уходил утром и возвращался вечером веселый, здоровый, весь пропитанный воздухом болот, лесов и полей. Охота — это та страсть, без которой он не мог жить и работать.

В начале этой осени самочувствие С. П. было хорошим. Ему предстояло прочитать в первом полугодии только общий курс почвоведения, остальное время он уделял руководству работой кафедры и осо-

бенно много проводил времени с молодыми научными сотрудниками кафедры, излагая им методику преподавания, главным образом на основании собственного многолетнего педагогического опыта.

Однако это продолжалось недолго. Вскоре здоровье С. П. резко ухудшилось, и в последнее время он уже читал лекции совсем больной. Его последняя лекция на тему об органических веществах почв состоялась 14 декабря 1937 г.

Эту лекцию, благодаря совершенно случайному стечению обстоятельств (С. П. чувствовал себя очень плохо и просил сотрудников в этот раз не присутствовать на лекции), мне удалось прослушать.

Впервые я видел, с каким трудом приходилось С. П. читать эту лекцию, как сильно тревожили его приступы болезни. Между тем С. П. читал с постепенно нарастающим подъемом, с таким воодушевлением и увлечением, какое я видел и слышал у него в первый и последний раз. Эта лекция произвела очень сильное впечатление на всех слушателей. После лекции С. П. попросил меня зайти к нему, и когда я зашел, он сказал: «Никогда так не чувствовал себя во время лекции, а прочитал как будто бы неплохо, но это, пожалуй, последняя — лебединая песня».

В этих словах С. П. прозвучала неизбежная горькая правда: после 8 месяцев тяжкой и мучительной болезни С. П. скончался 12 августа 1938 г.

---

## НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С. П. КРАВКОВА

*В. Н. Симаков*

К смерти С. П. мы, ближайшие его сотрудники, были подготовлены всем ходом его болезни, и тем не менее еще до сих пор нам трудно свыкнуться с мыслью, что среди нас нет этого многогранного, талантливого ученого, исключительного педагога, нет любимого руководителя и учителя, щедро одаряющего нас идеями, указывающего новые пути в разрешении сложнейших проблем почвоведения.

Нелегкая задача сделать краткий обзор всей столь разносторонней научной деятельности С. П., которую он вел, начиная с первых работ, появившихся в 1898 г., т. е. на 2-й год после оставления его при нашем университете, и продолжал вплоть до последних дней своей жизни, т. е. в течение 40 с лишком лет.

Я коснусь только трех разделов деятельности С. П., по которым он работал наиболее интенсивно: 1) динамика почвенных процессов, 2) изучение свойств почвы в интересах культивируемых растений, т. е. работ по агропочвоведению, 3) изучение вопросов гумусообразования.

Но прежде чем перейти к рассмотрению работ С. П. по указанным разделам, я позволю себе остановиться на некоторых общих, характерных для всей научной деятельности С. П. моментах. Во-первых, несколько слов о характере тем, которые выбирал С. П. для своей работы. Он охотно включался как в разработку самых трудных, наиболее запутанных проблем, имеющих часто вековую историю (влияние пропуска электрического тока на растение; проблемы гумусообразования и др.), так и в разработку вопросов, совершенно неосвещенных, впервые им выдвигаемых (динамика почвенных растворов; человек как фактор почвообразования и др.). В обоих случаях в результате тщательного, исчерпывающего разбора литературы по затронутому вопросу С. П. умел находить главное звено, ухватившись за которое, изучаемый вопрос можно было ставить на новые рельсы, по которым и направлялось решение его. И очень часто решение вопроса С. П. искал совсем не там, где искало его большинство исследователей, работавших в данной области до него. Укажу, как на характерный в этом отношении пример, на работы С. П. по вопросу о причинах усыхания лесных посадок в Велико-Анадольском лесничестве (1907—1909 гг.). В то время как большинство исследователей искало причины гибели насаждений в наличии избытка различных солей, С. П. устанавливает, что в ряде случаев гибель насаждений можно объяснить

недостатком питательных веществ в почве, на что большинство исследователей совершенно не обращало внимания. В своей первой научной работе «К вопросу о влиянии электризации почвы на совершающиеся в ней процессы» С. П. указывает, что неуспех большинства работ по этому вопросу, проводившихся до него (около 200 лет), можно объяснить тем, что, пропуская электрический ток через почву, судили о его действии по урожаю растений и совершенно не обращали внимания на те изменения, которые совершались при этом в почве, из которой растения и получают необходимые им питательные вещества. Надо сказать, что мысль изучать каждый культуртехнический прием, применяемый при обработке почвы, по изменению процессов, которые совершаются в самой почве, а не только по урожаю растений, как это делали агрономы, явилась основным положением во всех последующих работах С. П. В дальнейшем я еще приведу ряд примеров, иллюстрирующих оригинальность подхода С. П. при решении разнообразных вопросов.

Характерной особенностью работ С. П. является также стремление его осветить вопрос со всех сторон, уметь подчеркнуть разностороннее действие того или иного фактора на весь сложный комплекс явлений, протекающих в почве. Этому помогало то, что С. П. в процессе подготовки к научной деятельности получил широкое и основательное знакомство как с химическими, физическими, так и микробиологическими методами исследования почв у крупнейших западноевропейских ученых, с одной стороны, а с другой стороны, он в совершенстве освоил и успехи нашей русской школы почвоведов, во главе которых стояли В. В. Докучаев и П. А. Костычев.

Прежде чем перейти к детальному рассмотрению работ С. П., мне хотелось бы обратить внимание еще на один момент в работах С. П. — это исключительно мастерское, красочное, образное изложение полученных им результатов, прекрасный слог, что позволяло читать его работы как увлекательный роман.

После этих общих замечаний перейдем к рассмотрению работ С. П. по динамике почвенных процессов. Впервые С. П. обратил внимание на то, что некоторые признаки почвы, по которым почвоведы стараются их характеризовать, не являются устойчивыми во времени и подвержены изменчивости у данной почвы в течение даже одного года, приблизительно в 1900 г., когда он сообщил о том, что по его наблюдениям уровень горизонта вскипания в почвах за  $2\frac{1}{2}$  месяца на одном и том же пункте колебался в глубину до 11 см. И этот, казалось бы на первый взгляд, незначительный факт наводит С. П. на мысль о том, что явления изменчивости свойств почв широко распространены в природе и должны быть учитываемы при изучении почв, в особенности при исследовании их в целях сельскохозяйственного использования. И непосредственно после первого наблюдения этого явления С. П. приступает к систематическим исследованиям вопросов динамики питательных веществ в почве. Надо сказать, что С. П. всей своей предыдущей работой был подготовлен к тому, чтобы сразу же оценить значение этого явления для понимания почвенных процессов. Имея основательную подготовку по микробиологии, С. П., как никто иной, понимал исключительную роль в процессе почвообразования жизне-

деятельности микронаселения почвы. В связи с этой жизнедеятельностью вполне естественно было ожидать, что в почве будет наблюдаться ряд превращений и изменений в первую очередь органических веществ, которые являются наиболее доступными их воздействию. Соединения, которые появляются в почве, как продукты жизнедеятельности биосферы, очевидно, будут накапливаться главным образом в летние периоды, наиболее благоприятные для жизнедеятельности микронаселения, в то время как в зимние периоды деятельность их должна затухать. Что касается соединений, потребляемых микронаселением почвы, то в этом случае летний период будет характеризоваться наиболее сильным поглощением этих соединений.

В настоящее время, когда динамичность почвенных процессов является общепризнанным явлением, трудно себе представить, что сравнительно совсем недавно об этом явлении, можно сказать, абсолютно ничего не знали и часто даже не предполагали о его существовании. В то время господствовало изучение статики почвы, а не динамики ее. И С. П. постепенно, шаг за шагом, убедительно доказывал, как важно учитывать этот момент для правильного понимания почвообразовательного процесса и при решении ряда практических вопросов сельского хозяйства. За успехами в развитии учения о динамичности почвенных свойств удобнее всего проследить по работам самого С. П.

В 1900 г. С. П. указывает на колебание глубины горизонта вскипания, наблюдавшееся им за небольшой период в  $2\frac{1}{2}$  месяца.

В 1904 г. С. П. в статье «Из с.-х. и геоботанических наблюдений. II. К вопросу о содержании в почве растворимых в воде солей в зависимости от различных условий», помещенной в «Земледельческой газете» № 47, стр. 674—678, пишет: «Однако концентрация почвенного раствора не представляет собой постоянной величины, а напротив, весьма изменчива в зависимости от погоды, свойств почвы, рельефа местности. В виду изложенного, было бы крайне желательно проследить, так сказать, режим почвенного раствора, изучая его в связи с метеорологическими, геологическими, почвенными и другими условиями». Заканчивает свою статью С. П. такой фразой: «Крайне интересно было бы вообще расширить все эти наблюдения над режимом почвенного раствора: изучить влияние характера почвенного покрова, отдельных климатических и др. факторов, изучить отдельные виды почв, разных слоев их и пр. и пр.».

Вот в каком состоянии находился вопрос о режиме почвенного раствора.

В 1907 г. С. П. публикует свою вступительную лекцию, которой он открыл в 1906 г. чтение в нашем университете курса «Из области химико-биологических процессов в почве». В этой работе С. П. говорит уже следующее:

«Этих примеров, я думаю, достаточно, чтобы признать, что почва действительно представляет собою обширную арену непрестанно совершающихся в ней не только химических, но и биологических процессов, крайне подвижных, крайне изменчивых».

В 1915 г. на страницах «Земледельческой газеты» С. П. выступает со статьей «Статика и динамика почвы», в которой приводит небольшое

количество наблюдений, проведенных к этому времени как у нас, так и за границей. Эти наблюдения касались динамики главным образом воднорастворимых соединений: нитратов, фосфатов, сульфатов. В результате рассмотрения всех данных С. П. приходит к следующим выводам:

«1. Большинство известных нам почв представляет собой среду, находящуюся непрерывно в состоянии изменяющегося и неустановившегося химического равновесия.

2. ...даже на протяжении короткого промежутка времени в почве изменяется количество не только водно-растворимых, но и гораздо более стойких соединений, а именно тех, которые являются растворимыми лишь в более энергичных реактивах».

И заканчивает выводом:

«6. В виду всего вышеизложенного является безусловно необходимым помимо изучения статистики почв серьезнейшее внимание обратить и на изучение динамики их».

И одновременно указывает программу действий:

«Одной из важнейших и вместе с тем интереснейших задач тех почвенных отделов, которые проектированы при наших областных с.-х. опытных станциях, и явится несомненно изучение как раз всех намеченных выше вопросов».

Вслед за этим, главным образом уже после Октябрьской революции, С. П. развертывает большую работу по исследованию динамики биохимических процессов на заведываемых им кафедрах ЛГУ, ЛСХИ и на Сев.-Зап. областной с.-х. опытной станции, где он заведывал отделом прикладного почвоведения.

В 1925 г. С. П. опубликовал в журнале «Почвоведение» работу «Агрологические исследования в области изучения динамики биохимических процессов в почвах подзолистого типа». Эту работу С. П. начинает так:

«В настоящей работе я предполагаю изложить в сжатом виде те основные и наиболее определившиеся выводы, которые можно в настоящее время сделать на основании весьма большого фактического материала, добытого за последние годы в области изучения динамики жизненных процессов почв подзолистого типа моей лабораторией».

В этой работе С. П. подытоживает данные по методике изучения динамики почв и приходит к целому ряду практически важных выводов, которые позволяют ему в дальнейшем от наблюдения и изучения явления динамики почвенных процессов перейти к вопросам использования этого явления для регулирования и направления почвенных процессов по определенному пути в целях создания наиболее благоприятных условий для произрастания культурных растений.

Сюда надо отнести раздел работ С. П. «по определению потенциальных сил почв», которые он начал с 1925—1926 гг. В результате этих работ в 1932 г. С. П. выступает в журнале «Почвоведение» со статьей под заглавием «Производительные силы почв», в которой был подведен итог работам по выявлению запасов удобоподвижных азотистых соеди-

нений и степени их мобильности у различных почвенных представителей «методом постановки исследуемой почвы в условия оптимального увлажнения, отепления и аэрации». Этот метод в настоящее время широко известен под названием «термостатного метода Кравкова» и основан на том, что в почве, поставленной в оптимальные условия температуры, увлажнения и аэрации, «совершается мобилизация всех тех соединений ее, коими определяются скрытые потенциальные силы последней». При этом наблюдение за процессом мобилизации и изучаемых соединений должно вестись обязательно в динамическом разрезе.

И в этой работе был намечен ряд важных практических выводов, позволивших оценить почвы с точки зрения отзывчивости их на механическую обработку, потребности в удобрениях и т. д. Но это уже касается больше вопросов агропочвоведения.

Чтобы закончить рассмотрение вопроса о развитии успехов в деле изучения динамики почвенных процессов, укажу на работу С. П. 1929 г., помещенную в сборнике «Новейшие достижения и перспективы в области агрономии» под заглавием «Динамика почвенных процессов». В этой работе С. П. указывает, что к этому времени можно было уже говорить о динамичности не только почвенных растворов, но большинства физических и химических свойств почв.

Из изложенного мы видим, что начатое С. П. дело изучения динамики почвенных явлений уже при его жизни получило широкое признание у почвоведов. В настоящее время учение о динамике почвенных процессов входит в качестве важного раздела в учебники почвоведения. Характер динамики является важным признаком почвы при агрологической ее оценке.

Запросы нашего социалистического хозяйства натолкнули С. П. на мысль о том, что результат изучения динамики питательных веществ в почвах можно использовать для более правильного питания растений. И в связи с этим он выступает в газете «За соц. земледелие» с идеей о том, что «растения надо кормить в срок и по норме», а следовательно, в почве создавать такие условия, чтобы растения могли черпать для себя нужные им в данный момент вещества. Эта идея воплотилась в агротехнический прием «подкормки растений», широко применяемый стахановцами наших социалистических полей.

Из всего вышеизложенного мы видим, что благодаря правильной оценке значения такого, казалось бы, незначительного явления, как динамичность глубины горизонта вскипания, наблюдаемого им при изучении почв, С. П. в результате дальнейшего углубленного изучения почв в этом отношении перешел к управлению явлениями динамики почв и использованию их для нужд нашего сельского хозяйства.

Перехожу к рассмотрению раздела работ С. П., которые содействовали тому, чтобы свойства почвы, изучаемые почвоведом для установления законов развития почв, можно было оценить с точки зрения интересов культурных растений. Эти работы С. П. имеют исключительное значение потому, что они позволили затормозить, а в дальнейшем и прекратить противоестественный стрыв так называемого теоретического почвоведения — педологии — от породившей его науки

агрономии. На первых шагах развития почвоведения почвоведы имели все основания подчеркнуто выпячивать подход к почве как к особому естественно-историческому телу, которое развивается по особым законам, которое требует особых приемов изучения и т. д. и т. п., так как это выпячивание играло положительную роль в развитии наших знаний о почве, позволяло более глубоко познать основные законы развития почв. Но излишество — враг хорошему. Вот почему стремление некоторых ретивых педологов при изучении почв отметить все, что могло бы интересовать практику сельского хозяйства, стремление сохранить почвоведение как какую-то чистую науку о почве, для которой запросы практики сельского хозяйства не представляют никакого интереса и, даже более того, для которой деятельность человека и влияние его на почвообразовательные процессы являлись чем-то неестественным и неподлежащим изучению педолога, — такое направление не могло способствовать развитию науки, так как такой подход искусственно сужал круг применения достижений почвоведения и отталкивал от себя вопросы, решение которых было возможно только лишь при основательном познании почвенных процессов. А надо отметить, что среди объектов изучения земной коры почва отличается тем, что в ней происходят энергичные процессы, сравнительно легко поддающиеся нашему воздействию. Мы можем направлять течение этих процессов в нужную нам сторону, но для этого надо осознать, для чего мы хотим использовать тот или иной процесс, протекающий в почве. С другой стороны, заставить почвенные процессы идти в определенном, нужном нам направлении для решения определенной агрономической задачи можно только в том случае, если мы вскрыли закономерности, от которых зависит ход данного процесса. Следовательно, для педолога возможность решить ту или иную практическую проблему, используя основные законы почвообразования, должна явиться критерием правильности установленных им законов. Вот понимание того, что в развитии почвоведения, в глубоком изучении почв агрономы должны быть заинтересованы наравне с почвоведом, а почвоведы в свою очередь должны быть заинтересованы в том, чтобы их выводы проверялись практикой, и следовательно почвоведы должны стремиться к тому, чтобы быть понятыми агрономами и говорить с ними на одном общем языке, — вот этого-то как раз и не было среди почвоведов. И в установлении такого понимания между агрономами и почвоведом С. П. сделал исключительно много, во-первых, тем, что он всеми силами содействовал распространению правильного представления о почве как естественно-историческом теле, а во-вторых, тем, что деятельность человека он рассматривал как один из естественных факторов почвообразования, и фактора мощного, особого, отличного от всех остальных, сознательно влияющего на почвообразование, требующего сугубо внимательного изучения. Такой подход к почве позволил С. П. поставить вопрос о необходимости оценки всех почвенных явлений с точки зрения интересов культурного растения. Такая постановка вопроса позволила показать агрономам, как много они могут почерпнуть из того, что вскрыли почвоведы, изучая почву как естественно-историческое тело, а с другой стороны, такая постановка вопроса наглядно показала почвоведом, насколько глубоко и совер-

шенно они познали законы почвообразования и в какой степени они могут использовать их при решении больших вопросов, поставленных нашим социалистическим строительством. Вот почему появление в 1926 г. труда С. П. «Агрономическое почвоведение», этого любимого детища С. П., было большим событием в агропочвенной литературе и сделало исключительно много для установления связи и понимания между почвоведцами и агрономами. Этот труд позволил осмыслить почвоведцам те вопросы, на которые они еще не могут ответить практикам сельского хозяйства. С другой стороны, агрономы получили возможность понять смысл и практическое значение почвенных обследований и углубленного изучения свойств почвы.

С. П. указывает, что «агрономическое почвоведение, вкладывая в сущность понятия о почве тот же самый смысл и толкование, которые даются этому понятию педологией, ставит свою задачу, с одной стороны, изучить все свойства и все явления, совершающиеся в почвенной толще, как факторы жизни культивируемых растений, с другой — осветить все те изменения, которые совершаются в этой толще под влиянием сельскохозяйственной деятельности человека».

Интересно отметить, что уже начиная с первой своей работы С. П. наметил основные вехи того раздела агропочвоведения, который должен освещать изменения, совершающиеся в почве под влиянием различных агрикультур-технических приемов, по тем процессам, которые совершаются в самой почве, а не только косвенным путем по урожаю растений.

Стремление изучать все свойства почв с точки зрения интересов культурного растения — проходит красной чертой во всех работах С. П., поэтому я не буду на этом останавливаться, так как все примеры будут говорить об одном и том же, о чем так ярко и красочно сказано в его курсе агрономического почвоведения, изложению которого он предпосылает изложение свойств почв как естественно-исторического тела.

С. П. очень часто выступал в качестве защитника теоретического почвоведения, когда ему грозила опасность со стороны ярых агрономов, и всегда доказывал, что в развитии почвоведения, как самостоятельной науки, в первую очередь заинтересовано именно сельское хозяйство.

Больше всего С. П. заботился о том, чтобы почвоведение развивалось не односторонне, т. е. чтобы не было одностороннего увлечения педологией, но чтобы не было и игнорирования этой ветви. К такой дружной работе всех направлений в почвоведении С. П. призывал не раз.

Перехожу к рассмотрению работ С. П. по изучению гумусообразования.

Работы С. П. в этой области заслуженно пользуются мировой известностью. В этой области С. П. работал систематически, лично экспериментируя по ряду вопросов, и надо сказать, что при изучении этих вопросов С. П. проявил себя исключительно талантливым экспериментатором. Значение органического вещества в процессах почвообразования переоценить трудно. И С. П. в первой же своей эксперимен-

тальной работе «К вопросу о влиянии электризации почвы на совершающиеся в ней процессы» отмечает, что разгадку многих явлений, совершающихся в почве, можно найти в поведении органической части почвы — гумуса. В изучении гумуса С. П. пошел опять-таки не шаблонным путем.

Аналитический подход не удовлетворяет С. П. Он предлагает изучать процессы формирования гумуса путем наблюдения за процессами превращения органических остатков и органических веществ в гумусовые стойкие соединения.

Встает вопрос, среди каких составных частей растительных остатков надо искать источников гумусообразования — среди легко подвижных, растворимых в воде, или же среди инертных, нерастворимых соединений?

Этот вопрос тесно связан с определением, что такое гумус, в чем специфическая особенность гумусовых соединений. С. П. дает определение гумусу как органоминеральному соединению, которое может образоваться в результате тесного взаимодействия между продуктами разложения органических остатков и минеральной частью почвы.

Отсюда вытекает и исключительное значение в процессах гумусообразования воднорастворимых органических соединений, на поведение которых в процессе разложения С. П. обратил свое внимание.

С. П. приступил к систематическому изучению количественного и качественного состава воднорастворимых соединений, появляющихся в процессе разложения растительных остатков при различных условиях разложения этих остатков.

В этих исследованиях С. П. пошел по оригинальному пути. Вместо того чтобы изучать процессы разложения органических остатков только по учету углерода, С. П. обратил внимание также на поведение минеральной, зольной части растительных остатков, так как в тесной связи с нею находятся и свойства образующегося в данных условиях гумуса.

С. П. экспериментально показал, что в растительных остатках содержится значительное количество воднорастворимых веществ, причем в различных растительных остатках содержание их далеко не одинаково. Больше всего их содержится в корнях с.-х. растений, меньше всего в хвое.

Экспериментальные работы, начатые С. П. в 1904 г. в лаборатории Раманна и более углубленно проводимые им на кафедре нашего университета, и послужили материалом для его магистерской диссертации, которая носила название: «Материалы к изучению процессов разложения растительных остатков в почве».

Ряд выводов, сделанных в этой работе, имел исключительную ценность. Так, например, С. П. разъяснил процесс формирования кислого гумуса при подзолообразовании, отметив роль характера поступления влаги к разлагающемуся материалу в деле удаления из получающихся продуктов главных нейтрализаторов образующихся органических кислот Са и Mg.

Кроме того, С. П. в этой работе экспериментально показал, что можно вызвать искусственным путем деградацию чернозема, а в серой лесной почве можно экспериментальным путем вызвать процессы регенерации, процесс обратного перехода деградированной почвы в черноземный тип.

Последующие годы С. П. посвящает дальнейшему углубленному изучению «роли мертвого растительного покрова в почвообразовании». Результаты всех этих экспериментальных работ и послужили темой его докторской диссертации, которую он блестяще защитил в 1912 г.

В этой работе С. П. с исключительным мастерством показал, какую огромную роль в процессах почвообразования призваны играть мертвые растительные покровы (лесная подстилка, степной войлок и т. п.), которые являются посредствующим звеном между атмосферой и почвой.

Подчеркнув еще ярче роль воднорастворимых соединений, вымываемых из мертвого растительного покрова, и доказав, что среди воднорастворимых соединений присутствуют такие неотъемлемые составные части гумуса, как «гуминовая, креновая и апокреновая кислоты», С. П. кроме того ставит вопрос о поглощении органических веществ почвами.

В явлении поглощения органических веществ С. П. устанавливает, что каждый тип почвы имеет свой «предел насыщения» гумусом.

Тем самым С. П. вносит существенно новое в понимание гумусообразования. Он устанавливает, что количество гумуса в почвах зависит не только от состава и количества поступающих органических остатков, но и от состава и свойств минеральной части почвы. Это положение С. П. начинает развивать уже позднее, после Октябрьской революции.

Эта диссертационная работа С. П. по справедливости считается классической.

Защитив докторскую диссертацию и получив заведывание кафедрой в университете, С. П. переключает работу всего состава кафедры агрономии на выяснение роли отдельных органических веществ в образовании гумусовых веществ.

К сожалению, С. П. постигла большая неудача, он рано потерял своих наиболее талантливых, непосредственных учеников-помощников, и вследствие этого изучение органических веществ в университете несколько затормозилось, так как для этого требовалось подготовить и закрепить соответствующие кадры.

И постепенно С. П. начинает вновь готовить достаточно работоспособный коллектив одновременно на кафедре нашего университета и в Институте удобрений и агропочвоведения в Академии с.-х. наук им. Ленина.

И вот в 1932 г. на страницах журнала «Почвоведение» С. П. выступает с программной статьей «Пути изучения органического вещества почв и удобрений в связи с проблемой освоения севера», где ставит со всей остротой основные вопросы, стоящие перед агропочвоведцами в деле изучения процессов разложения и закрепления органических веществ в почвах.

С этого момента С. П. вновь, как он говорил, начинает переживать свою вторую молодость. Я бы сказал, что свое внимание с этого момента С. П. сосредоточивает на изучении органического вещества и в частности на процессах гумусофиксации, закрепления органических веществ в почвах, что теснейшим образом, по мнению С. П., связано с минеральной частью почвы.

Все чаще и чаще встает перед С. П. вопрос о более правильной формулировке понятия гумуса. Слишком различное содержание различные исследователи вкладывают в этот общепотребительный термин. Отсутствие точной формулировки мешает целеустремленному изучению и характеристике этого сложного тела. У С. П. постепенно складывается убеждение, что в изучении гумуса исследователи топчутся на месте, не могут выйти из какого-то заколдованного круга.

И вот в 1936 г. первоначально на кружке СНО почвоведов ЛГУ С. П. выступает с докладом на тему: «О возможном выходе из тупика в изучении гумуса», а затем в последнем издании курса почвоведения впервые формулирует мысль о том, что необходимо слово «гумус», как выполнившее свою роль, заменить выражением «органические вещества почв».

Гумус — уже тормозит изучение природного образования. Гумус, как определенное соединение, в почвах существовать не может, и мы напрасно тратим силы на изучение этого несуществующего тела.

Тяжелая болезнь С. П. не смогла остановить его творческой деятельности.

В 1937 г. С. П. выступает на страницах Ученых записок ЛГУ со статьей «Проблема гумуса», где этот вопрос о гумусе ставится со всей остротой.

В этой работе намечена огромная программа, осуществление которой С. П. поставил перед своими учениками.

В этой статье ярко вырисовывается фигура С. П., как ученого, не знающего преград, смело ломающего установившиеся представления, мешающие развитию настоящей науки.

Дело многочисленных учеников С. П. осуществить эту программу, намеченную духовно молодым С. П., который всю свою жизнь делился с молодежью своими знаниями и опытом, подымая, организовывая ее на решение основных проблем почвоведения.

---

## О СЕРГЕЕ ПАВЛОВИЧЕ КРАВКОВЕ

С. С. Кузнецов

Старейший профессор нашего университета, заслуженный деятель науки Сергей Павлович Кравков родился 9/22 июня 1873 г. в г. Рязани в семье николаевского солдата-кантониста. В 1912 г. с большим успехом защитил в Юрьевском университете докторскую диссертацию на тему: «Исследование в области изучения мертвого растительного покрова в почвообразовании» и тогда же был избран профессором кафедры агрономии в Петербургский университет. На этом посту С. П. находился беспрерывно 26 лет до дня своей смерти, последовавшей 12 августа 1938 г. Смерть наступила после тяжелой и мучительной болезни. В лице С. П. ЛГУ и его Геолого-почвенный факультет потеряли выдающегося ученого-почвовода и замечательного, блестящего профессора. С. П. как ученый исследователь работал над изучением наиболее трудных и наиболее сложных вопросов почвообразования. В начале своей деятельности он был чуть ли не единственный ученый почвовед, который от попыток познать генезис почв путем исследования их географическим методом обратился к кропотливой и тонкой лабораторно-экспериментальной методике. С. П. занялся исследованием интимнейших и сокровеннейших процессов, протекающих в органико-минеральной массе, которая путем весьма сложного метаморфоза становится удивительно плодородной пленкой земной коры.

Не будучи специалистом-почвоведом, я не могу даже пытаться сколько-нибудь удовлетворительно охарактеризовать научную деятельность и научное наследие С. П. Однако меня, как натуралиста, приводят в восхищение продуманное, чрезвычайно искусное экспериментирование С. П., широта его кругозора и чрезвычайная его чуткость в уловлении процессов, невидимо идущих в опыте при исследовании явлений обмена веществ в системе растение — почва. Я имею в виду такие работы С. П., как «О водных растворах минеральных составных частей растительных остатков» (1905), «О растворимых в воде продуктах разложения органических веществ» (1906), «О процессах отщепления растворимых минеральных продуктов из разлагающихся растительных остатков» (1908), «Материалы к изучению процессов разложения растительных остатков в почве» (1908), «Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании» (1911).

Как видим, эти исследования были выполнены в 1905—1911 годах, т. е. имеют почти 30-летнюю давность. Но, повидимому, разрешенные

в них научные вопросы и намеченные пути к разрешению еще более точному и глубокому настолько важны, что почвоведы до сих пор обращаются к этим изысканиям С. П. и называют их классическими. В названных трудах ставились и разрешались два рода процессов почвообразования: с одной стороны, исследователь трудился над разрешением вопроса о ходе и скорости мобилизации зольных элементов при разложении растительных остатков, с другой — о поведении самих органических соединений при тех же явлениях разложения. Сначала С. П. ставил опыты, длящиеся десятки дней (до 56), затем — многие месяцы (16—20 месяцев). Экспериментируя с луговым сеном, овсяной соломой и листьями осины, С. П. установил, что количество минеральных веществ, переходящих в раствор, очень невелико, если действовать водой на еще не подвергавшиеся разложению растительные остатки; напротив, растительные остатки, начавшие разлагаться, в аналогичных опытах отдавали в раствор значительные количества минеральных веществ:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ . Еще большему количеству переходу их в водную вытяжку способствует температура: при  $-2^\circ$  до  $+6^\circ \text{C}$  после 65-дневного разложения кленовых листьев в раствор переходило 4.82% первоначального содержания  $\text{SiO}_2$ ; 6.79% —  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 7.76% —  $\text{CaO}$ ; 30.72% —  $\text{MgO}$  и т. д.; при температуре же  $+36^\circ$  до  $+38^\circ \text{C}$  перешло 10.66% —  $\text{SiO}_2$ ; 9.77% —  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 15.78% —  $\text{CaO}$ ; 42.42% —  $\text{MgO}$  и т. д.

В этих опытах особняком вела себя фосфорная кислота, которая иногда переходила в раствор из разложившихся растений в меньшем количестве, чем из свежих. Наблюдая подобный ход опытов и пытаясь проникнуть в сущность процесса, С. П. обнаруживает удивительную чутке естествоведа и обширность своей эрудиции. Для объяснения, казалось, непонятного поведения фосфорной кислоты С. П. высказывает предположение о наличии здесь вторичного процесса, а именно биологического закрепления  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Поставленные им опыты с антисептиками блестяще подтверждают высказанную замечательную догадку. 14-дневные опыты о влиянии антисептика на характер разложения клеверного сена показали, что в водную вытяжку перешло 6.56% —  $\text{P}_2\text{O}_5$  при опыте без хлороформа и 38.36% — с хлороформом; еще ярче это явление открылось в 56-дневных опытах: 10,53%  $\text{P}_2\text{O}_5$  перешло при опыте без хлороформа и 87.42% — с хлороформом. По мысли С. П., хлороформ угнетал микробиологические процессы и тем приостанавливал биологическое связывание  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Таким же оригинальным, острым, чутким исследователем-экспериментатором С. П. Кравков выказывает себя и в длительных (16—20 месяцев) опытах по разложению растительных остатков. Исследовались листья дуба, степное сено, хвоя сосны и корни ячменя. Эти опыты велись в двух сериях: в одной растительная масса разлагалась при оптимальной влажности и температуре  $15-17^\circ$  без всяких посторонних воздействий; в другой — через каждые три дня разлагавшиеся растительные остатки подвергались промыванию водой. Оказалось, что разлагавшиеся без экстрагирования дубовые листья и степное сено с течением времени отдавали в раствор все большие и большие количества зольных веществ; особняком лишь стояли  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , которые перешли в вытяжку в значительном количестве лишь

после месячного разложения; в дальнейшем известь и магнезия давали резкое сокращение перехода в раствор.

Совершенно иной процесс наблюдался при экстрагировании водой. В этом случае 88—96%  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  и значительное количество других окислов перешли в раствор по истечении первого же месяца опыта. В дальнейшем переход резко замедлился и, начиная с 50-го дня, фильтрующиеся растворы приобрели кислую реакцию. Изучая разложение хвои, С. П. установил антисептическое действие смоляных веществ.

Формулируя итоги своих опытов и наблюдений, С. П. пишет: «В тех случаях, когда растворимые в воде продукты разложения растительных остатков остаются при разлагающемся материале и не выходят из сферы взаимодействия друг с другом, тогда процессы разложения и отщепления, как результат этих процессов, растворимых минерализованных продуктов из растительных остатков — идут нормальным последовательным путем. Определенный характер разложения в данном случае обуславливается присутствием при разлагающемся материале извести, выпадающей в раствор обычно почти нацело в первые же стадии этого процесса и создающей путем нейтрализации образующихся при разложении кислот благоприятную среду для дальнейшего нормального хода этого процесса. В тех же случаях, когда растворимые в воде продукты разложения растительных остатков систематически удаляются из разлагающегося материала и выходят из сферы взаимодействия друг с другом, — тогда, в виду того, что этим путем в первые же стадии этого разложения удаляется почти нацело  $\text{CaO}$ , в разлагающейся массе накапливаются продукты кислотного характера, и дальнейший ход нормального разложения растительных остатков начинает идти угнетенным темпом». («О процессах отщепления растворимых минеральных продуктов из разлагающихся растительных остатков». ЖОА, т. IX, стр. 569—626, СПб., 1908).

Снова перед нами предстает блестящий, остроумный экспериментатор и широко образованный натуралист. Замечательно, что исследование, выполненное в 1932 г. Проневичем и Степановым в области изучения обмена веществ в системе почва—растение, находят хорошие объяснения и в указанных работах С. П. Кравкова и в главном их подтверждают, перенося из лаборатории в природу.

Исследования С. П. времен его докторской диссертации над выяснением поведения минеральных и органических веществ вели его к самому главному элементу почвы — гумусу. Что это за таинственный гумус? Тысяча работ посвящена ему; едва ли не столетний труд исследователей природы почв вложен в попытки решить вопрос о гумусе, но и до сего дня он остается запутанным и неясным. Одни утверждают, что гумус есть совокупность некоторых своеобразных веществ, обладающих определенным химическим строением и характерных только для почв. Другие, во главе с знаменитым гумусоведом Ваксманом, пытаются связать гумус с соединениями, присущими исходным растительным остаткам. Обратившись к работам 1917—1935 гг. западноевропейских и американских ученых о составе органической части лесных подстилок, опадающих листьев, различных растительных остатков (пшеничная солома, стебли злаков, листья дуба, хвоя сосны, гипновые мхи), нередко найдем там описание явлений, открытых и объяс-

ненных С. П. Кравковым еще в 1903 г., например антисептическое действие смолистых веществ.

Оригинально и смело ставит вопрос о гумусе С. П. в своей последней работе (1937 г.): «Мне лично думается, что и все дальнейшие попытки разгадать химическую физиономию почвенного гумуса (или его предполагаемых компонентов) обречены на неудачу, как обречены бывают на неудачу вообще искания чего-либо несуществующего... Настало, мне думается, время для исключения из почвенных понятий и терминов «гумус», «гуминовая кислота» и т. п., как уже отслуживших свою службу, — терминов, с которыми почвоведы и агрохимики до сих пор связывают представление или как об определенном химическом индивидууме, общем для всех почв, или как о таком комплексе, который, являясь различным по своему составу и свойствам для различных почв, все же якобы содержит в себе какое-то определенное с химической стороны общее г у м у с о в о е я д р о. От такого представления пора отказаться, так как данное понятие, введенное в науку еще Вокеленом, сослужив свою определенную роль, ныне лишь тормозит наши знания в области изучения органических веществ почвы, вынуждая многочисленных исследователей посвящать огромное количество времени и труда на разгадку несуществующего в почве объекта».

Вот к какому решению привели многоопытного ученого его длительные и кропотливые исследования почвы. Смелостью, самобытностью дышат цитированные строки. Они ясно обнаруживают настоящего ученого, искателя и творца науки.

Таким образом, в лице С. П. Кравкова мы имеем ученого, своими исследованиями оказывавшего влияние не только на исследователей нашей страны, но и далеко за ее рубежами.

Да простят мне почвоведы, что, желая вспомнить о С. П. Кравкове, я коснулся области научного знания вне моей прямой компетенции. Но, повторяю, я позволил себе это сделать, будучи увлеченным, как натуралист, блестящим умом С. П., его экспериментаторскими способностями и тонким чутьем природного естествоиспытателя.

Одаренность и высокие интеллектуальные данные С. П. Кравкова, кроме сферы научно-исследовательской, с неменьшим блеском проявились в его кипучей педагогической, профессорской деятельности. Обладая исключительным даром слова, превосходно владея материалом своей науки, умело педагогически строя лекции, С. П. Кравков заражал и увлекал слушателей. Мне хорошо известно, что его лекции по общему курсу почвоведения были всегда переполнены и на них нередко систематически ходили студенты самых различных специальностей, до гуманитарных включительно.

Эти превосходные качества счастливо сочетались в С. П. с отзывчивым и мягким характером. Обращаясь к нему в различных затруднительных житейских положениях, мы в нем, заслуженном деятеле науки, находили весьма чуткого товарища, готового помочь делом, чуждого всякой бумажной волокиты и сразу схватывающего сущность вопроса, а не его бюрократическое оформление. Исключительно ярко данные черты С. П. проявились в бытность его председателем квалификационной комиссии нашего факультета по присуждению ученых степеней и проведению кандидатских и докторских защит.

Все это окружало С. П. со стороны его товарищей по факультету и, я скажу, по всему университету чувством глубокого уважения и искреннего почтения. Молодежь же — студенчество и аспирантура, без преувеличения можно сказать, видели в С. П. Кравкове своего кумира. В 1912—1915 гг. С. П. читал лекции по почвоведению на курсах Стебута. Однажды профессор, ведший там анатомию животных, предложил для большего удобства изучения ввести лошадь в аудиторию. Среди студентов произошел чуть ли не бунт: «Как можно вводить лошадь в ту аудиторию, в которой читаются лекции проф. С. П. Кравковым».

О близости его к молодежной массе весьма ярко свидетельствует такой факт. Постоянно находясь в своей лаборатории, лично руководя аспирантурой, С. П. Кравков не раз, обращаясь к своим ученикам, говорил: «Я учу вас наукам, почвоведению, химии почв; но сам я учусь у вас — уменью правильно чувствовать окружающую действительность, правильно понимать политику нашей Великой социалистической страны».

Мои скромные познания и небольшое умение не дают мне возможность очертить более ярко и, как подобает, более рельефно облик С. П. Кравкова — крупного, оригинального почвевода-экспериментатора и блестящего профессора и учителя молодежи.

Выступающие после меня, несомненно, дадут исчерпывающую характеристику и оценку научной деятельности С. П.

Кончая, я хочу отметить те чувства, которые овладели нами во время его похорон.

Догорал светлый августовский день, когда мы принесли С. П. на Смоленское кладбище. Царили необыкновенная, предвечерняя тишина, прозрачность и покой. Нежнейшие ветки берез висели трогательно и мило. Так не хотелось класть навсегда, навеки, в могилу нашего товарища, учителя, профессора. Его седая голова представляла драгоценную копилку обширнейших знаний, его руки заключали в себе ловкость и умение экспериментатора, приобретенные долгими годами практики. Душой овладевала безнадежность и тоска... Но утешали две мысли, они бодрили. Одна мысль: С. П. Кравков сумел выработать из себя большого ученого, который крепко взял великодушное знамя русского докучаевского географического почвоведения и вместе с Гедройцем, Высоцким и другими проложил в нем новую глубокую борозду — химико-экспериментального почвоведения. Как в области географического почвоведения наша страна была новатором, так и теперь, трудами С. П. Кравкова, она осталась впереди других государств, прокладывая пути к более глубокому проникновению в сущность почвообразовательного процесса. Вместе с делами С. П. Кравкова торжествовала моя родина.

Другая мысль: С. П. Кравков оставил после себя многочисленных учеников, он создал целую школу в университете, он щедрыми пригоршнями передал им свои знания. Эти ученики, эта молодежь — добрая почва; семена учителя возрастут сторицей. С талантом, с увлечением еще более горячим, с трудоспособностью еще более напряженной, молодые ученики С. П. Кравкова углубят и разовьют сделанное им, высоко держа знамя советского почвоведения и неся славу нашей родине.

## ПАМЯТИ С. П. КРАВКОВА

*Е. И. Шилова*

До сих пор трудно освоиться с мыслью о том, что навсегда потеряна возможность общения и совместной работы с Сергеем Павловичем. Для тех, кто учился и воспитывался под его руководством, преждевременная кончина С. П. является особенно тягостной и горькой, ибо в его лице потерян не только крупный ученый, выдающийся исследователь и человек-гуманист в полном смысле этого слова, но также и прекрасный педагог, воспитавший и приобщивший к науке и культуре многие поколения специалистов. Трудно подобрать слова для того, чтобы с достаточной полнотой охарактеризовать чувства ответственности и любви, с которыми относился С. П. к своим педагогическим обязанностям, и те трогательные заботы и готовность прийти на помощь, которые проявлял он в отношении студентов, аспирантов и научных сотрудников. Вся его огромная деятельность, его устремления были постоянно направлены к одной цели: воспитать широко образованных, культурных и преданных своему делу советских специалистов. Воспитание слушателей начиналось обычно с абсолютно точного, согласно указанному времени, начала его лекций. Положение опаздывающих было весьма незавидным, и уже после одной-двух лекций таких не оказывалось совершенно, все слушатели аккуратно являлись к началу лекций. Лекции С. П. всегда протекали при переполненной аудитории, причем его слушали не только те, кому полагалось это в порядке обязательности предмета, но и очень многие представители других специальностей. Лекции слушались с захватывающим вниманием как высококвалифицированными специалистами, так и мало подготовленным в этой области колхозным активом. В них всегда было что-то новое, все непонятное в его прекрасном изложении становилось понятным, все приобретало определенный смысл и значение. Форма изложения, культура речи, отношение к аудитории — все это было у С. П. очень простым и изящным и не могло не оказывать определенного воспитывающего влияния на его молодых слушателей.

Но не только лекции были у С. П. формой общения и воспитания молодежи. Надо сказать, что его постоянное стремление передать свой опыт и знания подрастающему поколению было просто поразительным. На индивидуальных консультациях, на методических совещаниях для начинающих педагогов, в студенческом научном об-

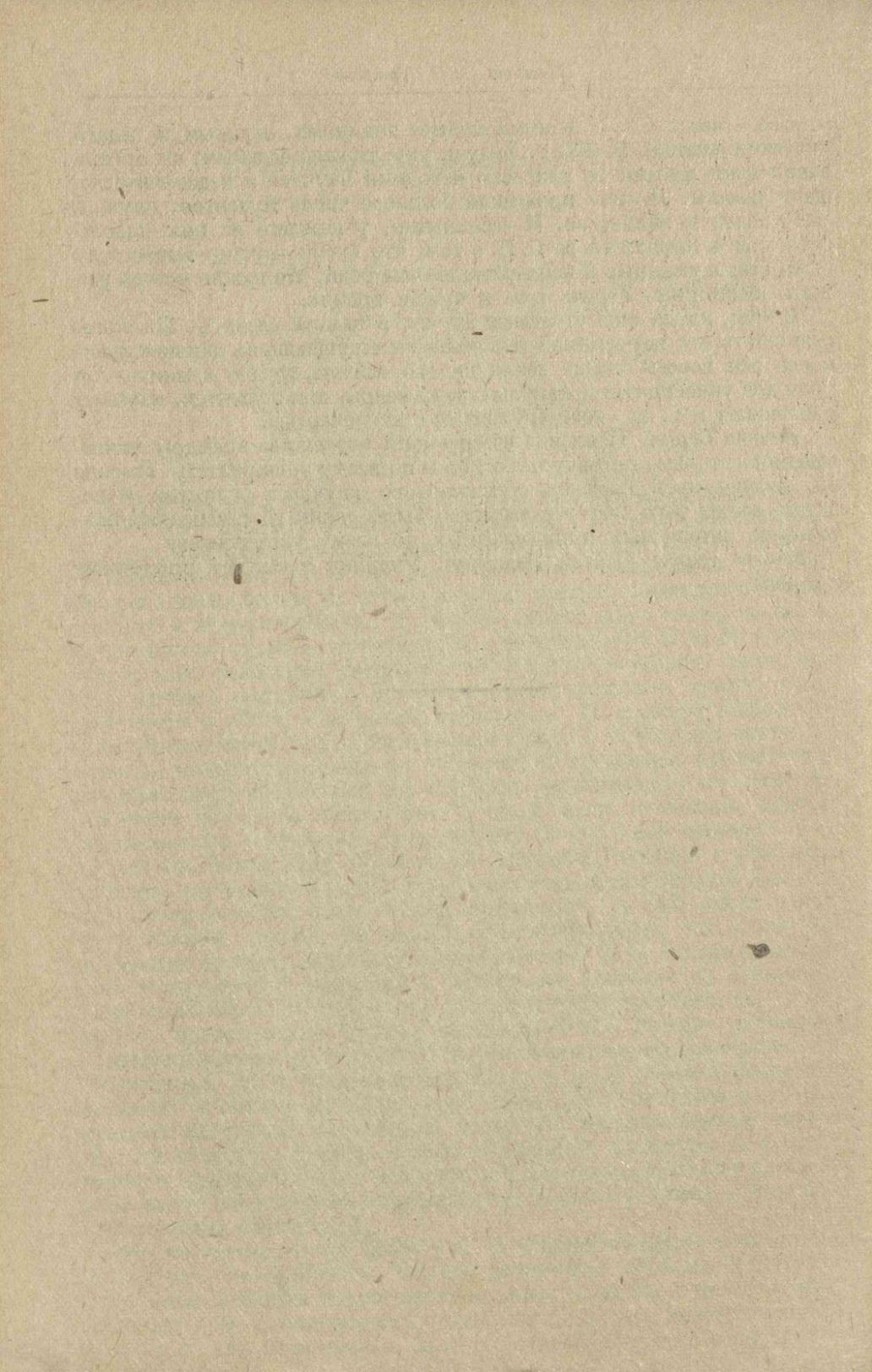
ществе — везде С. П. делился своими знаниями, научным и педагогическим опытом. В 1937 г., будучи уже тяжело больным, он организовал цикл лекций по вопросам методики научной и педагогической деятельности. Лекции привлекли большое число студентов, научных работников и педагогов. И несомненно, у каждого из них надолго останутся в памяти слова С. П. о том, что «очень грустно бывает слушать непродуманные и неподготовленные речи, что нужно всегда уважать аудиторию, беречь свое и чужое время».

Сейчас, когда еще отчетливо звучат в памяти слова С. П., когда результаты его неутомимой деятельности ощущаешь на каждом шагу, когда еще совсем свежа земля на его могиле, трудно оценить тот урон для университета, факультета, кафедры, для студентов, научных работников и т. д., который связан с его смертью.

Именно Сергей Павлович обеспечивал первенство кафедры почвоведения не только по факультету, но и по всему университету. Именно он, будучи председателем студенческого научного общества почвоведов, достиг того, что это общество было одним из самых содержательных, интересных и многолюдных по всему университету.

Многое сделал Сергей Павлович. Ученики с успехом продолжают его дело.

---



ЧАСТЬ II

ИЗ РАБОТ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ ЛГУ  
ИМ. С. П. КРАВКОВА  
И КАФЕДРЫ ГЕОГРАФИИ ПОЧВ

THE NATIONAL ARCHIVES  
COLLECTIONS DIVISION  
1000 PENNSYLVANIA AVENUE, N.W.  
WASHINGTON, D.C. 20540

## К ВОПРОСУ О ПОГЛОЩЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВАМИ

В. Н. Симаков

Познать свойства «гумуса», познать процессы превращения растительных и животных остатков, попадающих в почву, в стойкие органические и органоминеральные соединения, — это значит разъяснить один из основных моментов превращения горной породы в почву. До сих пор свойства гумуса и характер взаимодействия между органическими веществами и минеральной частью почвы остаются почти неосвещенными. Причин к тому много. Одна из причин — сложность состава тех соединений, которые образуют гумус, вторая — неопределенность самого этого понятия, так как различные исследователи вкладывают в него весьма различное содержание (ср., например, определение гумуса, даваемое П. Д. Глинкой, В. Г. Вильямсом, Maiwald'ом, S. Waksman'ом, С. П. Кравковым и др.). Разнобой, который в этой области существует, показывает, что однозначно охарактеризовать это почвенное образование нельзя. Вот почему нельзя не приветствовать мысль, наиболее четко сформулированную С. П. Кравковым (1),<sup>1</sup> что «настало время для исключения из почвенных понятий термина «гумус», как уже отслужившего свою службу, термина, с которым почвоведы и агрохимики до сих пор связывают представление или как об определенном химическом индивидууме, общем для всех почв, или как о таком комплексе, который, являясь различным по своему составу и свойствам для различных почв, все же якобы содержит в себе какое-то определенное с химической стороны гумусовое ядро». Упразднить этот термин необходимо потому, что «данное понятие ныне лишь тормозит наши знания в области изучения органических веществ почвы, вынуждая многочисленных исследователей посвящать огромное количество времени и труда на разгадку несуществующего в почве объекта». Вот почему, по мнению С. П. Кравкова, «было бы правильнее и целесообразнее объединить все органические соединения почвы в общее понятие «органические вещества»».

В этом случае само название будет наталкивать исследователей на мысль по-иному подходить к исследованию этого объекта и не тратить бесцельно времени на расшифровывание свойств какого-то определенного «гумусового комплекса». Исследователь должен из-

<sup>1</sup> См. список литературы в конце статьи.

3 Ученые зап., № 71—910

учать свойства различных органических соединений, образующихся в почве, должен изучать процессы взаимодействия их с минеральной частью почвы, процессы взаимодействия между различными органическими соединениями, должен изучать и те микробиологические процессы, в результате которых различные органические соединения в почве появляются и исчезают. Недопустимо, чтобы почвоведы по-прежнему ограничивались при характеристике органической части почвы определением гумуса по Кнопшу, Густавсону или Тюрину, забывая при этом, что такой характеристики органических веществ так же недостаточно, как недостаточно характеризовать минеральную часть почвы при помощи определения минерального остатка от прокаливания.

Исходя из вышеизложенного, мы решили исследовать один из моментов взаимодействия почв с органическими соединениями: явления взаимодействия воднорастворимых органических соединений с почвами и явления взаимодействия воднорастворимых органических соединений с нерастворимыми органическими соединениями, поступающими в почву с растительными остатками. Среди таких нерастворимых органических соединений в первую очередь мы остановились на лигнине, так как этому соединению приписывают исключительное значение в деле образования стойких, так называемых «гумусовых кислот». Лигнин, поступая в почву, очевидно, может в дальнейшем взаимодействовать с поступающими в почву растворами, воднорастворимыми продуктами разложения органических остатков. В таких случаях, когда во взаимодействие между собой вступают растворенные вещества с находящимися в твердой фазе нерастворимыми соединениями, наиболее вероятны адсорбционные явления, которые нас и интересовали в первую очередь. Такие адсорбционные явления, в результате которых воднорастворимые органические соединения переходят из раствора на поверхность минеральных и органических частиц, в почве должны быть широко распространены и должны играть существенную роль в формировании гумуса. Мы считаем, что воднорастворимые органические вещества, адсорбированные на поверхности твердых частиц, как минеральных, так и органических, должны изменить некоторые свои химические свойства, а это может вызвать то, что к веществам, адсорбированным на поверхности, иначе будет относиться и микроорганизмы, в результате чего по-иному пойдет и ряд биохимических превращений этих веществ. Если же воднорастворимые вещества не взаимодействуют с твердой поверхностью, то ожидать каких-либо изменений в химических свойствах таких соединений от соприкосновения их с твердыми частицами почвы вряд ли можно. Все это заставляет нас считать, что воднорастворимые органические вещества, распределенные в растворе между твердыми частицами, в том случае, когда они не адсорбируются на поверхности этих твердых частиц, будут обладать теми же свойствами, какими они обладали и в отсутствие этих твердых частиц. Если же воднорастворимые органические соединения приходят во взаимодействие с твердыми частицами почвы, на поверхности которых они адсорбируются, то в этом случае поглощенные органические вещества изменяют более глубоко ряд своих свойств, и мы можем сказать в таком случае, что

изменилась не только химическая и физическая обстановка, существовавшая для этих веществ, но изменились химические свойства этих адсорбированных веществ. Вот, исходя из этих соображений, мы в первую очередь и решили выяснить, как взаимодействуют такие типичные воднорастворимые продукты разложения растительных остатков, как сахара и аминокислоты с лигнином. Воднорастворимые органические соединения нас интересовали потому, что, как показали работы Норре-Seyley, Леваковского, Слезкина и в особенности работы С. П. Кравкова и его учеников (Трусова, Одинцова и др.), именно в результате превращений этих соединений формируются стойкие темноокрашенные вещества, накапливающиеся в почве.

Чтобы охарактеризовать несколько явления взаимодействия лигнина не только с органическими соединениями, но и с воднорастворимыми минеральными соединениями, мы провели опыты по поглощению некоторых катионов и анионов лигнином. Это позволило нам сравнить поведение лигнина в отношении минеральных соединений с поведением других сходных органических соединений в почве, например с поведением гуминовой кислоты.

Для опытов мы готовили лигнин из еловых опилок. Опилки предварительно были пропущены через сито в 1 мм и проэкстрагированы спирто-бензолом (1 : 1) в приборе Сокслета. После высушивания опилок последние заливались десятикратным количеством 72%  $H_2SO_4$  и оставались стоять на 2 часа при температуре 20°. После этого смесь разбавлялась водой в 10 раз и кипятилась 5 часов, причем испаряющаяся вода доливалась. После такой обработки раствор отфильтровывался через воронку Бюхнера, лигнин промывался (с отсасыванием водоструйным насосом) горячей водой до отрицательной реакции на  $SO_4$ , высушивался первоначально при 65—70°, а потом при 100—105° С до постоянного веса. Для дальнейшей очистки (см. Стадников, 2) полученный лигнин обрабатывался в аппарате Сокслета спирто-бензолом до полного обесцвечивания раствора, после чего лигнин высушивался и хранился в банке с притертой пробкой. С приготовленным таким образом лигнином мы и провели ряд опытов по взаимодействию его с различными минеральными соединениями.

Прежде всего мы определили рН суспензии лигнина в воде. рН определили электрометрически с хингидроном. Как и надо было ожидать, суспензия лигнина в воде показала ясно выраженную кислую реакцию рН = 4.11.

Для того чтобы выяснить, имеется ли в таком лигнине обменный водород, мы взяли 1 г лигнина и прибавили к нему 50 куб. см 1 н. раствора NaCl и оставили стоять; через 2 часа раствор отфильтровывался, и в фильтре определялась реакция рН = 3.35, т. е. раствор сильно подкислился за счет образовавшейся HCl. Последняя получилась в результате обменной адсорбции натрия лигнином. Реакция протекала по формуле: лигнин — H + NaCl = лигнин — Na + HCl. Согласно этому уравнению в растворе появилась соляная кислота, которую можно оттитровать. Мы это и сделали. Титрование производили 0.1 н. раствором NaOH в присутствии метилоранжа в качестве индикатора. В 50 см<sup>3</sup> фильтрата NaCl после соприкосновения с 1 г лигнина образовалось 0.024 м. э. кислоты. Это указывает, что

в 100 г лигнина содержалось 2.4 м. э. водородного иона в поглощенном состоянии, который легко обменивался на Na при соприкосновении с раствором NaCl.

Мы повторили обработку лигнина, прилив к этой же навеске еще 50 куб. см 1 н. раствора NaCl, который и отфильтровали через 20 мин. Фильтрат оказался менее кислым, чем после первой обработки лигнина раствором NaCl,  $\text{pH} = 3.67$ .

При дальнейшем прибавлении NaCl к лигнину величина  $\text{pH}$  фильтрата постепенно повышалась, количество оттитровываемой HCl уменьшалось, и после 11-й порции 1 н. раствора NaCl, пропущенного через 1 г лигнина, фильтрат не показывал кислой реакции с метилоранжем. Это значит, что 550 куб. см 1 н. раствора NaCl вытеснили из лигнина H-ион в таком количестве, что учесть соляную кислоту, образующуюся в дальнейшем в результате обмена H-иона на Na-ион хлористого натрия титрованием в присутствии индикатора метилоранжа, нам уже не удавалось. Но тем не менее дальнейшее подкисление раствора NaCl продолжалось, что и сказывалось на величине  $\text{pH}$  фильтратов; так, 11-й фильтрат имел  $\text{pH} = 4.73$ , в то время как исходный раствор 1 н. NaCl имел  $\text{pH} = 6.41$ .

Реакция фильтрата почти равнялась реакции исходного раствора NaCl лишь после того, как через 1 г лигнина было пропущено 1900 куб. см 1 н. раствора NaCl.

После того как этот момент был достигнут, NaCl, задержанный в лигнине с раствором, был отмыт водой до отрицательной реакции на Cl. В результате получался лигнин, насыщенный Na. Величина  $\text{pH}$  такого лигнина, насыщенного Na, в водной суспензии была равна 7.11.

Эти опыты с насыщением лигнина показали, что при взаимодействии раствора NaCl с лигнином происходит поглощение последним из раствора катиона Na, вместо которого в раствор переходит с поверхности лигнина ион водорода. Благодаря этой реакции в растворе образуется HCl, которая и вызывает резкое подкисление раствором.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что лигнин, остающийся в почве при разложении растительных остатков, может увеличить обменную способность почв и обуславливать при определенных условиях обменную кислотность их. В тесной связи с обменной способностью лигнина находится его буферная способность. Для того чтобы проследить, какова буферная способность лигнина, мы брали навеску лигнина (из другой партии, приготовленной так же, как описано выше, но отмывание от  $\text{H}_2\text{SO}_4$  было проведено меньшим количеством воды), прибавляли к ней 25 куб. см воды и титровали электрометрически 0.01 н. раствором NaOH. Лигнин имел в водной суспензии  $\text{pH} = 2.92$ .

Привожу данные титрования 0.862 г лигнина 0.01 н. раствора NaOH электрометрически с хингидроном (табл. 1).

Из приведенных данных мы можем сделать заключение, что лигнин сильно буферит, не давая смещаться реакции в щелочную сторону. Это подтверждают предыдущие данные по обменной кислотности. Следовательно, наличие ненасыщенного лигнина в почве будет создавать в ней устойчивую кислую реакцию.

ТАБЛИЦА 1

0.01 н. NaOH куб. см	pH	0.01 н. NaOH куб. см	pH	0.01 н. NaOH куб. см	pH	0.01 н. NaOH куб. см.	pH
0	2.92	5.10	3.98	8.00	5.49	13.00	7.68
0.50	2.98	5.50	4.15	8.50	5.85	14.00	7.87
1.50	3.11	6.00	4.46	9.00	6.20	15.00	7.99
2.50	3.27	6.40	4.62	10.00	6.45	16.00	8.28
3.50	3.47	7.00	4.97	11.10	6.90	17.00	8.41
4.50	3.74	7.50	5.16	12.10	7.31	18.00	8.53

Еще лучше это можно проследить по табл. 2, где представлены данные величины pH при определении буферной способности лигнина способом, применяющимся при определении буферной способности почв. Измерения проводились следующим способом: 0.50 г возд.-сух. лигнина, что соответствовало 0.36 г абс.-сух. лигнина, заливались 10 куб. см раствора, в которых постепенно увеличивалось количество NaOH. Образцы встряхивались, закрывались пробкой и оставлялись стоять на 48 часов, после чего в них определялась величина pH. Одновременно определялась величина pH в растворе NaOH одинаковой концентрации без лигнина. Результаты приведены в следующей таблице (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2

Количество 0.1 н NaOH куб. см	Количество воды	pH	pH без лигнина
10.00	0.0	7.90	10.61
8.00	2.0	7.75	—
6.00	4.0	7.41	9.99
5.00	5.0	7.03	—
4.00	6.0	6.49	9.82
3.5	6.5	6.55	—
3.0	7.0	6.27	9.38
2.5	7.5	5.70	—
2.0	8.0	4.46	9.27
1.0	9.0	3.58	—
0.0	10.0	2.99	—

Полученные данные показывают, что при прибавлении щелочи к лигнину наиболее резко величина pH изменяется в зоне между pH 4.5—6.5. В этом интервале буферность у лигнина наименьшая.

Как видно из табл. 2, лигнин связывает значительное количество щелочи, благодаря чему в присутствии лигнина pH раствора от прибавления щелочи повышается значительно медленнее. Из этих же данных мы видим, что 0.36 г лигнина потребовали 5.0 куб. см 0.1 н. раствора NaOH для доведения суспензии до величины pH = 7.0.

Если мы переведем полученные данные на 1 г лигнина, то увидим, что для доведения 1 г суспензии лигнина до  $pH = 7.0$  потребуется 13.9 куб. см 0.1 н. раствора NaOH. Из всего вышеизложенного без дальнейших пояснений ясно, как сильно присутствие лигнина должно отразиться на химических процессах, протекающих в почве. Не менее сильно присутствие лигнина в почве должно отразиться и на ряде микробиологических процессов, протекающих в ней, так как микроорганизмы чутко отзываются на изменения реакции среды.

После опытов с обменным поглощением катионов мы поставили ряд опытов по поглощению анионов. Из анионов мы взяли Cl и  $PO_4$ . Опыт производился следующим образом.

Навеска лигнина, соответствующая 5 г абс.-сух. лигнина, помещалась в стаканчике. Стаканчик ставился в сушильный шкаф для просушивания в течение 2 часов при  $105-110^\circ$ . После этого к лигнину приливали 50 куб. см 0.1 н. раствора NaCl или 50 куб. см 0.1 н. раствора  $CaCl_2$ . Стаканы тотчас же взвешивались, содержимое их перемешивалось, после чего их оставляли стоять на пять дней закрытыми часовыми стеклами. На пятый день стаканы вновь взвешивались, испарившуюся воду доливали, тщательно перемешивали все содержимое стакана, после чего фильтровали через сухой беззольный фильтр и из фильтрата брали 2 порции по 10 куб. см, в которых и определяли Cl титрованием 0.1 н. раствором  $AgNO_3$  в присутствии  $K_2CrO_4$ . Предварительно в фильтрате определялось, какое количество 0.01 н. раствора NaOH надо прибавить, чтобы довести раствор до нейтральной реакции. Это количество NaOH и прибавлялось перед определением Cl. Одновременно с определением Cl в фильтрате определяли Cl в исходном растворе. Привожу соответствующие данные:

На 10 куб. см фильтрата NaCl пошло $AgNO_3$ 0.1 н. . . . .	9.90 куб. см.
"  10  "  "  исходного раствора NaCl пошло $AgNO_3$ . . . . .	9.65  "  "
"  0.1 н. . . . .	0.25  "  "
На 10 куб. см фильтрата NaCl потребовалось больше $AgNO_3$ . . . . .	9.65  "  "
"  10  "  "  исходного раствора $CaCl_2$ пошло $AgNO_3$ . . . . .	9.53  "  "
"  0.1 н. . . . .	0.12  "  "
На 10 куб. см фильтрата $CaCl_2$ потребовалось больше $AgNO_3$ . . . . .	

Эти цифры показывают, что после взаимодействия с лигнином концентрация хлоридов в фильтрате увеличилась по сравнению с исходными растворами. Такое явление можно объяснить тем, что лигнин из раствора хлоридов в воде адсорбировал на своей поверхности воду, благодаря чему вокруг частиц лигнина образовалась пленка воды, которая обладала иными свойствами, чем вода свободная. Эта пленка была обеднена Cl-ионами. Благодаря такому процессу и увеличилась концентрация Cl-иона в фильтрате. Это явление называют отрицательной адсорбцией.

Интересно отметить, что отрицательная адсорбция Cl из раствора  $CaCl_2$  была менее ярко выражена, чем из раствора NaCl. Если объяснять отрицательную адсорбцию, как это делает Маттсон (3), законом распределения ионов согласно равновесию Доннана между мицелляр-

ным и межмицеллярным растворами электроотрицательного лигнина, то мы должны ожидать, что с увеличением валентности катиона отрицательная адсорбция будет понижаться, что мы и наблюдали в нашем случае.

Для того чтобы сравнить, как отражается на явлении отрицательной адсорбции концентрация приливаемого раствора, мы определили отрицательную адсорбцию  $\text{Cl}$ -иона из 0.1 н. и 0.01 н. раствора  $\text{NaCl}$ . В пересчете на 100 г абс.-сух. лигнина отрицательно адсорбировано  $\text{Cl}$ -иона:

Из 0.1 н. раствора $\text{NaCl}$ . . . . .	3.35 м. э.
„ 0.01 н. „ „ . . . . .	1.11 „ „

т. е. несмотря на то, что концентрация приливаемого раствора хлорида уменьшилась в 10 раз, отрицательная адсорбция  $\text{Cl}$ -иона уменьшилась всего лишь в 3 раза; следовательно, отрицательная адсорбция хлора из растворов хлоридов с малой концентрацией относительно выражена сильнее, чем из растворов с большей концентрацией. Это положение, на которое указывали Трофимов (4), Думанский (5) и др., также находит себе объяснение в явлении Доннана, как на это указывает Маттсон (3).

Если сравнить отрицательную адсорбцию лигнином ионов  $\text{Cl}$  из  $\text{NaCl}$  и иона  $\text{PO}_4$  из раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , то, в согласии с теорией, объясняющей эти явления распределением ионов между мицелловым и межмицелловым растворами согласно равновесию Доннана, мы замечаем более резко выраженную отрицательную адсорбцию трехзначного фосфат-иона по сравнению с однозначным  $\text{Cl}$ -ионом, как это ясно видно из следующих данных:

Из 0.008 н. раств. $\text{NaCl}$ 100 г лигнина адсорб. отриц.	1.11 м. э. $\text{Cl}$
„ 0.0076 н. „ $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 100 г „ „ „	3.51 „ „ $\text{PO}_4$

То положение, что  $\text{PO}_4$  проявляет ясно выраженную отрицательную адсорбцию, имеет большое значение с агрономической точки зрения, так как показывает, что некоторые составные части растительных остатков будут способствовать вымыванию столь важного питательного элемента, каким является ион  $\text{PO}_4$ .

По вопросу о поглощении различных анионов лигнином можно привести некоторые данные из работ Wadekind und Garre (6), которые нашли, что лигнин Вильштетера обладает положительной адсорбционной способностью как по отношению к  $\text{HCl}$ , так и по отношению к  $\text{KOH}$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Данные указанных авторов по количественному поглощению  $\text{HCl}$  противоречат нашим данным. Объяснить это расхождение можно тем, что мы определяли кислоты не по количеству остающегося водородного иона, а по количеству анионной части кислоты, непосредственным определением соответствующего аниона, что является более правильным приемом. Авторы отмечают поглощение иона  $\text{K}$ . Поглощение определялось опять-таки титрованием остающейся щелочи. В этом случае оказалось, что при смешивании лигнина с  $\text{KOH}$  щелочность раствора убывает. Мы думаем, что здесь идет адсорбция катиона  $\text{K}$ , а в раствор переходит вытесненный  $\text{H}$ -ион,

благодаря чему и происходит нейтрализация щелочи. Этим и объясняется «необратимый» характер адсорбции К.

Надо отметить, что лигнин после насыщения его различными катионами приобретал ряд свойств, сходных со свойствами, которые приобретают в этом случае гумусовые вещества почв. Так, например, при отмывании лигнина водой от насыщавших его электролитов наблюдалось, что как только все свободные электролиты удалялись, лигнин, насыщенный Na, сильно замедлял фильтрацию воды, чем наминал свойства солонцовых почв, при этом появлялась щелочная реакция раствора. Такой лигнин сильно набухал.

Интересно еще отметить, что при подщелачивании Na-лигнина наблюдалось частичное его растворение, благодаря чему фильтрат окрашивался в золотисто-желтый цвет.

Такое же окрашивание фильтрата мы наблюдали при подщелачивании лигнина, насыщенного Ca, раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Лигнин и в этом случае растворялся. При промывании водой лигнина, насыщенного Ca путем многократной обработки его 0.01 н. раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , наблюдалось замедление фильтрации. Это указывает на то, что у лигнина, насыщенного Ca в щелочной среде, появляется способность к набуханию. Если сравнить адсорбцию Ca из 0.01 н. раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с адсорбцией Na из раствора той же концентрации NaOH, то оказывается, что Ca адсорбируется лигнином более энергично, чем Na. Все вышеизложенное показывает, что лигнин при взаимодействии с минеральными соединениями приобретает ряд свойств, отличных от тех свойств, которые приобретает в этих случаях почва в целом и какие имеет так называемая гуматная часть, выделяемая из почвы. Это подтверждает правильность высказанного положения, что для того, чтобы иметь возможность составить себе правильное представление о свойствах всего органического вещества почвы, необходимо изучать отдельные составные части его, а не только суммарные свойства гумуса.

Полученные нами данные ясно показывают, что различные составные части органического вещества почв имеют ряд свойств общих: например, растворимость в NaOH наблюдается как у гуминовых кислот, так и у лигнина; с другой стороны, эти два соединения отличаются друг от друга по характеру растворимости продуктов взаимодействия их с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в то время как Ca-гумат почти нерастворим. Ca-лигнин показывает явную растворимость. И для того чтобы познать свойства органических веществ почв, необходимо знать как состав этих органических веществ, так и свойства отдельных компонентов, входящих в их состав. Значит, различного состава органические вещества почвы, находящиеся в ней в виде твердых частиц, взаимодействуют с минеральными воднорастворимыми соединениями по-разному.

Как мы уже говорили, нас интересовал главным образом вопрос о взаимодействии органических воднорастворимых соединений как с почвами в целом, так и с отдельными компонентами, входящими в состав органического вещества почв.

С этой целью мы решили провести опыты по поглощению лигнином глюкозы, как одного из наиболее обычных продуктов разрушения

при разложении полисахаридов, попадающих с растительными остатками в почву.

В результате произведенных опытов мы получили определенный ответ по вопросу о поглощении глюкозы лигнином. Оказывается, глюкоза не только не поглощалась лигнином, но при взаимодействии водного раствора глюкозы с лигнином мы наблюдали ясно выраженную отрицательную адсорбцию ее. Такое поведение глюкозы при взаимодействии ее с почвой было уже ранее известно и использовано Думанским для определения содержания воды, поглощенной почвой. После опытов с глюкозой мы перешли к проведению опытов по поглощению лигнином аминокислот. Взаимодействие аминокислот с лигнином привлекло наше внимание потому, что в литературе имеются указания на энергичное взаимодействие лигнина с протеинами. При этом взаимодействии, по Ваксману, получается новый сложный комплекс, по своим свойствам очень похожий на «гуминовые кислоты», выделяемые из почвы щелочными вытяжками. При таком взаимодействии протеинов с лигнином азот белков становится менее доступным микроорганизмам. На аминокислоты лигнин у Ваксмана так не действовал. Мы провели опыт по поглощению лигнином гликоколя и аспарагина. Поглощение этих аминокислот изучалось на образцах лигнина, насыщенного различными катионами. Опыты проводились в цилиндрических воронках со стеклянным фильтром. Во взвешенную цилиндрическую воронку помещалась навеска лигнина. Навеска заливалась 0.05 куб. см раствором гликоколя и оставлялась стоять. Для того чтобы не вытекала жидкость из воронки, на конец отводной трубки ее надевали каучуковую трубку с зажимом. Сверху воронка закрывалась фарфоровой крышечкой, чем достигалось уменьшение испарения жидкости. Через определенный промежуток времени воронка взвешивалась, и в нее добавляли соответствующее количество воды, чтобы пополнить потерю ее, получившуюся в результате испарения.

По прошествии определенного времени жидкость отфильтровывалась, воронка взвешивалась, вновь наполнялась раствором аминокислоты и т. д. В определенном объеме фильтрата определяли аминокислоту либо сжиганием азота по Къельдалю, либо титрованием в спиртовом растворе по Harris. Пересчет вели на 100 г абс.-сух. лигнина. При пересчетах всегда учитывалось количество воды, задержанное лигнином.

Опыты по поглощению гликоколя  $\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}$  лигнином показали, что гликоколь адсорбируется лигнином отрицательно. Так, например, при взаимодействии лигнина (в пересчете на 100 г лигнина:

С 0.01 н. раствором гликоколя отриц. адсорбц. . . . .	1.93 м. э.
„ 0.05 н. „ „ „ „ „ „ . . . . .	0.90 „ „

Таким образом концентрация гликоколя в фильтрате получалась больше, чем в исходном растворе до взаимодействия его с лигнином.

Мы проверили, как будет отзываться на отрицательной адсорбции гликоколя присутствие в растворе, взаимодействующем с лигнином, хлорида, т. е. аниона, также отрицательно адсорбирующегося лигнином. Для иллюстрации приведу следующие данные:

Из 0.01 н. раствора	NaCl на 100 г лигнина	— 1.11 м. э. Cl	адсорбц. отриц.
» 0.01 н.	» NaCl + 0,05 н. гликоколя	— 0.39 м. э. Cl	» »
» 0.05 н.	» гликоколя	— 0.93 м. э. гликоколя	» »
» 0.05 н.	» гликоколя + 0.01 н. раств. NaCl	— 0.36 м. э. гликоколя	адсорбц. отриц.

Из этих данных видно, что присутствие NaCl уменьшает отрицательную адсорбцию гликоколя, равно как присутствие гликоколя уменьшает отрицательную адсорбцию Cl.

Интересно было проследить, как сильно будет отзываться на поглощении гликоколя лигнином предварительное насыщение последнего различными катионами. Для этих опытов были приготовлены образцы лигнина, насыщенные Na, NH<sub>4</sub>, Mg и Ca. Из 0.05 н. раствора гликоколя, при соотношении лигнин : раствор = 1 : 8.

100 г лигнина, насыщенные Na,	отриц. поглотили	0.08 м. э. гликоколя
100 г » » NH <sub>4</sub>	» »	0.44 » » »
100 г » » Mg	» »	0.62 » » »

Это показывает, что лигнин, насыщенный Na, NH<sub>4</sub> и Mg, отрицательно адсорбирует гликоколь.

Совершенно иная картина получилась при взаимодействии гликоколя с лигнином, насыщенным Ca.

В этом случае 100 г Ca-лигнина поглотили положительно 1.55 м. э. гликоколя. Для того чтобы определить, сколько гликоколя может поглотить Ca-лигнин, мы обрабатывали навеску Ca-лигнина гликоколем до тех пор, пока концентрация фильтрата не становилась равной по содержанию гликоколя концентрации исходного раствора, после чего навеску лигнина тщательно промывали водой, высушивали и определяли в ней азот.

Оказалось, что 100 г Ca-лигнина поглотили 482 мг гликоколя, который нельзя было из него удалить промыванием водой, что соответствует 90 мг N. Все вышеизложенное показывает, что способность лигнина поглощать гликоколь находится в зависимости от того, какой катион находился в поглощенном состоянии. Этот момент необходимо учитывать для правильного использования тех сложных процессов, которые мы будем наблюдать в почве. Очевидно, растительные остатки с одинаковым составом органических соединений могут существенно различно реагировать при взаимодействии с воднорастворимыми органическими соединениями, приходящими с ними во взаимодействие в зависимости от того, каков состав зольной части этих растительных остатков.

Подытоживая результаты опытов по взаимодействию гликоколя с лигнином, мы можем сделать вывод, что характер взаимодействия гликоколя с лигнином в сильной степени зависит от состава поглощенных лигнином катионов, при этом лигнин, насыщенный Ca, поглощает гликоколь положительно, в то время как лигнин, насыщенный H, Na, NH<sub>4</sub> и даже Mg, показывает отрицательную адсорбцию гликоколя. На величину отрицательной адсорбции гликоколя влияет также и присутствие в растворе минеральных солей.

После того как было выяснено, что гликоколь поглощается положительно только лигнином, насыщенным Ca, мы поставили опыты по

поглощению из водных растворов другой аминокислоты аспарагина  $\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}-\text{NH}_2\text{CONH}_2$ , который является кислым амидом аспарагиновой кислоты. Опыты показали, что эта аминокислота ведет себя совсем иначе, чем гликоколь. Независимо от состава поглощенных катионов, лигнин энергично поглощал аспарагин из раствора. Так, при однократной обработке 0.05 н. раствором аспарагина при отношении лигнин : раствор = 1 : 6 было поглощено на 100 г лигнина следующее количество аспарагина:

	H-лигнин	308.0 мг аспарагина =	64.3 мг N
	NaH-	29.0 " "	= 6.16 " "
	NH <sub>4</sub> -	204.5 " "	= 43.41 " "
	Mg-	128.7 " "	= 27.3 " "

Эти данные ясно показывают, что количество поглощенного аспарагина при однократном взаимодействии его с лигнином в сильной степени зависит от состава поглощенных катионов. Как показали дальнейшие опыты, состав поглощенных катионов сказывается на количестве удерживаемого аспарагина не только при однократном взаимодействии лигнина с раствором аспарагина. Максимальное количество аспарагина, удерживаемого лигнином после полного насыщения последнего, т. е. количество поглощенного аспарагина, которое не отмывается от лигнина даже при многократном промывании навески водой, весьма различно в зависимости от состава поглощенных катионов, как это видно из следующего опыта. Навески лигнина, насыщенного различными катионами, обрабатывались раствором аспарагина до тех пор, пока концентрация его в фильтре не становилась такой же, как в приливаемом растворе. После этого навеска промывалась водой при отсасывании 5 раз. В промытой навеске определяли поглощенный аспарагин. Результаты собраны в следующей табличке.

После отмывания водой в лигнине оставалось поглощенного аспарагина на 100 г:

В	H-лигнине	— 170 мг аспарагина, что =	36 мг N
"	NaH-	" — 189 " "	" = 40 " "
"	NH <sub>4</sub> -	" — 882 " "	" = 187 " "
"	Mg-	" — 774 " "	" = 164 " "
"	Ca-	" — 51 " "	" = 10.9 " "

Эти данные ясно показывают, что количество поглощенного аспарагина, который не отмывается водой, также в сильной степени зависит от состава поглощенных катионов. Наиболее сильно поглощается аспарагин лигнином, насыщенным аммонием, и слабее всего лигнином, насыщенным Ca. Из изложенного видно, что гликоколь и аспарагин весьма сильно отличаются друг от друга по характеру взаимодействия их с лигнином.

Для того чтобы правильнее подойти к вопросу о поглощении аминокислот, мы считали необходимым выявить влияние на поглощение их величины pH раствора. Влияние этого фактора надо было ожидать, поскольку аминокислоты являются амфотерными соединениями, и в зависимости от величины pH будут усиливаться или уменьшаться их свойства как катиона и аниона.

Суспензия лигнина в воде имела  $pH = 4.11$ .

Результаты получились следующие: при взаимодействии 25 куб. см 0.05 н. раствора аспарагина с 5 г (на абс.-сух. вещ.) Н-лигнина раствор (фильтрат) имел величину  $pH=3.41$ ; следующая порция 25 куб. см аспарагина повысила величину  $pH$  до 3.93 и 3-я порция аспарагина до  $pH=4.44$ , 4-я порция до  $pH=4.66$  и 5-я — до  $pH=4.72$ . Приведенные цифры показывают, что кислая реакция фильтрата постепенно уменьшалась. Это, казалось бы, можно было объяснить тем, что фильтрат постепенно приближается к величине  $pH$  исходного раствора аспарагина, который имел величину  $pH = 4.41$ . Но этого объяснения, оказывается, недостаточно, так как величина  $pH$  исходного раствора аспарагина была достигнута уже после 3-й фильтрации, когда реакция фильтрата измерялась величиной  $pH=4.44$ . Дальнейшая обработка аспарагином лигнина, казалось бы, не должна была приводить к подщелачиванию раствора. На самом же деле мы видим, что дополнительная двукратная промывка кислого лигнина аспарагином привела к дальнейшему подщелачиванию фильтрата, реакция которого достигла величины  $pH = 4.72$ . Эти данные как бы говорят о том, что при взаимодействии лигнина с аспарагином наблюдается ослабление действия  $COOH$ -групп, в результате чего и наступает усиление  $NH_2$ -групп, т. е. увеличиваются основные свойства аминокислоты. Такое явление подщелачивания аспарагина при взаимодействии его с кислым лигнином мы наблюдали многократно.

При взаимодействии аспарагина с лигнином, насыщенным  $Na$ , наблюдалось постепенное уменьшение щелочности фильтрата, как это видно из следующего опыта:

Навеска лигнина 2.91 г (абс.-сух.) обрабатывалась в трубке для фильтрования со стеклянным фильтром 50 куб. см 0.1 н. раствора  $NaOH$ , раствор отфильтровывался с отсасыванием при помощи водоструйного насоса. После этого вновь прибавлялись 50 куб. см 0.1 н.  $NaOH$  и т. д. Операция эта повторялась 10 раз. После обработки раствором  $NaOH$  навеска лигнина обрабатывалась 50 куб. см 1 н. раствора  $NaCl$ . После отфильтровывания  $NaCl$  навеска промывалась водой до отрицательной реакции на  $Cl$ . Так подготовленный лигнин после просушивания обрабатывали 0.05 м раствором аспарагина порциями по 25 куб. см. Величина  $pH$  исходного раствора аспарагина = 4.41. В фильтрате определяли  $pH$ . Полученные данные приводим в следующей таблице (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3

Порядк. ном. фильтрата аспарагина	Величина $pH$ фильтрата	Порядк. ном. фильтрата аспарагина	Величина $pH$ фильтрата	Порядк. ном. фильтрата аспарагина	Величина $pH$ фильтрата
1	8.49	4	7.46	7	7.03
2	8.03	5	7.37	8	6.96
3	7.73	6	7.07		

Как видно из приводимых данных, лигнин, насыщенный Na, очень сильно влияет на реакцию соприкасающегося с ним раствора аспарагина, способствуя подщелачиванию этого раствора, что объясняется обменной реакцией между натрием лигнина и H карбоксильной группы аспарагина, подобной той, какую мы наблюдали у H-лигнина с NaCl. При дальнейшей обработке такого лигнина наблюдалось интересное явление. После обработки аспарагином лигнин промывался многократно водой. В результате получился лигнин, цвет которого существенно отличался от цвета исходного лигнина. В данном случае лигнин получался значительно более светлым и имел ярко выраженный рыжеватый оттенок. Для того чтобы выяснить, что влияет на изменение цвета лигнина: NaOH с NaCl или последующая обработка его раствором аспарагина, мы подвергли новую навеску лигнина такой же обработке раствором NaOH и NaCl, как и в предыдущем опыте, только вместо дальнейшей обработки раствором аспарагина обрабатывали его водой. Лигнин после такой обработки имел обычный коричневый цвет. Этот опыт показывает, что темный цвет лигнина, очевидно, обуславливается наличием на поверхности его частиц каких-то темноокрашенных соединений, которые не пептизируются в растворе NaOH, но удаляются раствором аспарагина. Все вышеизложенное заставляет нас прийти к выводу, что в зависимости от состава органических веществ, находящихся в растворе, и в зависимости от предварительной обработки лигнина различными минеральными соединениями в почве будут формироваться из лигнина органические вещества, весьма отличные между собой по свойствам, равно как отличные и по свойствам от исходного лигнина. Кроме того, образующиеся вещества будут весьма сильно изменять и свойства почвенного раствора.

В вышеприведенных опытах непонятным является, почему H-лигнин, имевший в водной суспензии  $pH = 4.11$ , при взаимодействии с раствором аспарагина, имевшим величину  $pH = 4.41$ , дает фильтрат, величина  $pH$  которого выше обеих этих величин. Иными словами, непонятно, за счет какой реакции может наступить подщелачивание фильтрата. Надо думать, что в этом случае увеличивается сила основной группы аминокислоты. Для того, чтобы проследить за процессом поглощения (насыщения) аспарагина лигнином, мы поставили опыты для учета аспарагина в растворе методом спиртового титрования аминокислот по Harris, применяя при этом в качестве индикатора тимол-фталейн. Этот метод, как известно, позволяет следить за изменением содержания в растворе кислотных групп COOH и  $NH_2$ -групп. Определение производилось следующим образом. В колбу эрл. вносили 5 куб. см испытуемого раствора и 50 куб. см 96% спирта, прибавляли несколько капель тимол-фталейна и титровали 0.1 н. щелочью до слабого, но хорошо заметного посинения. Количество пошедшей на титрование щелочи будет эквивалентно количеству кислотных групп.

После окончания титрования щелочью к раствору прибавляли 2—3 капли метил-рот и приступали к титрованию 0.1 н. раствором HCl до появления оранжевой окраски (синяя окраска раствора от тимол-фталейна, полученная при предварительном титровании, про-

падает после прибавления к раствору первой капли HCl). По количеству пошедшей на титрование HCl вычисляли количество NH<sub>2</sub>-групп. Одновременно проводили холостой опыт, т. е. проводили такое же титрование щелочью и кислотой 5 куб. см воды, после прибавления к ним 50 куб. см спирта и тимол-фталейна и метил-рот в таком же количестве, как и в опыте. Данные, полученные в этом холостом опыте, вычитались из данных титрования испытуемого раствора.

Таким образом это определение (см. подробное его описание в статье Ашмарина, 7) дает возможность следить за изменением содержания в растворе как NH<sub>2</sub>-групп, так и COOH-групп.

Для проведения опыта мы брали навеску в 5 г Н-лигнина, смачивали ее водой и обрабатывали 25 куб. см 0.05 н. раствора аспарагина. После настаивания раствор отфильтровывали и в 5 куб. см фильтрата определяли группы COOH и NH<sub>2</sub>. После первой фильтрации результаты получились следующие:

Внесено с 25 куб. см раствора аспарагина 1.09 м.э. — COOH и 1.095 м.э. NH<sub>2</sub>; найдено после взаимодействия с лигнином 1.12 м. э. — COOH и 0.986 м.э. NH<sub>2</sub>.

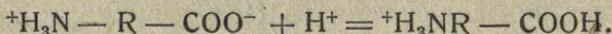
Иными словами, в результате взаимодействий аспарагина с лигнином в растворе уменьшилось NH<sub>2</sub>-групп с 1.095 до 0.986 = 0.109 м. э., и слабо увеличилось содержание кислотных групп. Уменьшение NH<sub>2</sub>-групп, конечно, могло произойти в результате поглощения аспарагина лигнином. Это можно себе представить следующим образом. Если считать, что аминокислоты являются цвиттер-ионом, т. е. ионом гермафродитом (Zwitter — гермафродит) или амфионом, как это показал Веггин (8), то в общем виде аминокислоты можно будет изобразить следующей формулой:



т. е. этот ион одновременно имеет заряд и + и —.

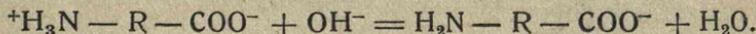
Надо отметить, что аминокислота в растворе приблизительно на 99.5% состоит из таких цвиттер-ионов, и лишь в очень незначительном количестве в растворе имеется аминокислота в форме недиссоциированной молекулы H<sub>2</sub>NR — COOH (см. об этих явлениях обстоятельную статью П. А. Ашмарина, 9).

При прибавлении сильной кислоты к аминокислоте мы будем иметь следующую реакцию связывания ее:



При этом в умеренно кислых растворах карбоксильные группы остаются еще значительно диссоциированными. Из приведенной реакции мы видим что H<sup>+</sup> прибавляемой кислоты связывается аминокислотой. Это уменьшает в результате диссоциацию COOH-группы. Группа NH<sub>3</sub> попрежнему несет свой положительный заряд.

Реакцию в щелочном растворе можно изобразить такой схемой:



Из приведенной реакции мы видим, что при подщелачивании аминокислоты идет отщепление H<sup>+</sup> от NH<sub>3</sub>, т. е. происходит уменьшение аминогруппы, несущих положительный заряд. Никакой добавочной

диссоциации  $\text{COOH}$ -групп при этом не наблюдается. В этом отношении старое представление об усилении диссоциации карбоксильной группы в щелочной среде является ошибочным.

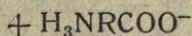
Приведенный пример показывает, что и в нашем опыте с кислым лигнином более энергичное связывание  $\text{NH}_2$ -групп при взаимодействии лигнина с аспарагином можно объяснить тем, что заряд у группы  $^-\text{RNH}_3^+$  заставил всю молекулу аминокислоты притянуться к отрицательно заряженным частицам лигнина. Благодаря этому процессу, количество  $\text{NH}_2$ -групп в растворе уменьшается. В процессе поглощения, очевидно, будут вытеснены  $\text{H}^+$ -ионы, которые и увеличивают кислотность раствора. Вот почему мы и имеем подкисление раствора аспарагина с  $\text{pH} = 4.41$  до  $\text{pH} = 3.41$ .

При 2-й фильтрации через 5 г лигнина в фильтрате было найдено уменьшение  $\text{COOH}$ -групп в растворе на 0.07 м. э., а количество  $\text{NH}_2$ -групп оставалось неизменным. Это показывает, что кислотные группы подавляются более энергично, чем аминогруппы, и что насыщение лигнина аспарагином происходит очень быстро.

Третья фильтрация показала, что дальнейшего поглощения аспарагина уже не происходило, и наблюдалась отрицательная адсорбция как  $\text{NH}_2$ , так и  $\text{COOH}$ -групп, равная 0.09 м. э.; при этом величина  $\text{pH}$  фильтрата была равна  $\text{pH}$  исходного раствора аспарагина. При 4-й и 5-й фильтрациях вновь наблюдалась положительная адсорбция, причем несколько более энергично поглощались  $\text{NH}_2$ -группы. При 4-й фильтрации поглощено  $\text{COOH}$ -групп 0.06 м. э., а  $\text{NH}_2$  — 0.07 м. э. При 5-й соответственно 0.15 и 0.16 м. э. Одновременно величина  $\text{pH}$  повысилась до 4.72. Таков процесс поглощения аспарагина  $\text{H}$ -лигнином, ненасыщенным катионами.

При работе с лигнином, насыщенным  $\text{Na}$ , картина получилась такая. После 1-й фильтрации было обнаружено, что 4.76 г лигнина связали 0.32 м. э.  $\text{COOH}$ -групп и всего лишь 0.07 м. э.  $\text{NH}_2$ -групп. При этом величина  $\text{pH}$  раствора была сильно щелочная.

Такое более энергичное связывание  $\text{COOH}$ -групп аминокислоты, конечно, надо отнести за счет обмена основаниями, в результате чего катион  $\text{Na}$  из лигнина перешел в раствор и нейтрализовал  $\text{COOH}$ -группы аминокислоты. Подщелачивание раствора вызвало уменьшенное поглощение аминокислоты, о чем можно судить по незначительному уменьшению в растворе  $\text{NH}_2$ -групп, т. е. в этом случае количество поглощенной аминокислоты было значительно меньше, чем в опыте с кислым лигнином. Такое явление хорошо объясняется тем, что в сильно щелочной среде большая часть аминокислоты находится в форме  $\text{NH}_2\text{R} - \text{COO}^-$ , т. е. аминокислота будет находиться в форме, которая отрицательно заряженным лигнином должна отталкиваться. По мере подкисления раствора, т. е. по мере замещения поглощенного  $\text{Na}$  на  $\text{H}$ -ион, надо ожидать, что в приливаемом растворе будет увеличиваться цвиттер-ионная форма аминокислот, т. е.



И действительно, при 1-й фильтрации было связано 0.32 м. э.  $\text{COOH}$  и 0.07 м. э.  $\text{NH}_2$ -групп, что равнялось 29% прилитых  $\text{COOH}$ -групп и 6% прилитых  $\text{NH}_2$ -групп.

При 2-й фильтрации было связано 0.47 м. э. COOH-групп и 0.21 м. э.  $\text{NH}_2$ , что равнялось 31% прилитых COOH-групп и 13% прилитых  $\text{NH}_2$ -групп. Дальнейшее промывание уже не дает более поглощения аминокислот, и количество  $\text{NH}_2$ -групп не уменьшается, в то время как количество COOH-групп в фильтрате уменьшается за счет нейтрализации ее вытесняемым из лигнина Na. Почти такую же картину мы имеем при взаимодействии лигнина, насыщенного Ca с аспарагином. В этом случае поглощение аспарагина наблюдалось только лишь при 1-й фильтрации. Дальнейшего поглощения аминокислотной группы уже не наблюдалось. Связывание COOH-групп продолжалось, но величина pH раствора была значительно больше. Так, после 3-й фильтрации через Na-лигнин pH раствора аспарагина = 7.73, а в опыте с Ca-лигнином pH = 9.48.

На образце с Ca-лигнином были проведены опыты по поглощению гликоколя. При 1-й фильтрации было поглощено 0.31 м. э.  $\text{NH}_2$ -групп. Карбоксильные группы были полностью насыщены Ca, а часть Са даже оказалась в избытке. Это показывает, что гликоколь вытесняет поглощенный лигнином Са легче, чем это мы наблюдали в опытах с аспарагином. Реакция при этом была сильно щелочной, pH = 9.49.

При 2-й фильтрации связывания лигнином  $\text{NH}_2$ -групп уже не наблюдалось. Значит и в этом случае происходило отталкивание аминокислоты в результате того, что Ca-лигнин отрицательным зарядом своих частиц отталкивал молекулы аминокислоты, которым можно приписать в щелочной среде строение  $\text{NH}_2 - \text{RCOO}^-$ .

При дальнейшей фильтрации гликоколя наблюдаются уменьшение связывания свободных COOH-групп и отрицательная адсорбция (увеличение количества их в растворе)  $\text{NH}_2$ -групп, что можно объяснить вышеупомянутым электростатическим отталкиванием несущих отрицательный заряд молекул аминокислот.

Из всего изложенного мы видим, что некоторые аминокислоты поглощаются лигнином, причем насыщение лигнина аспарагином происходит очень энергично и заканчивается в течение 1-й—2-й фильтрации.

Но, как показали дальнейшие наши опыты, поглощенная аминокислота удерживается лигнином несильно и легко отмывается.

Испробованные аминокислоты были алифатическими. Представляло большой интерес выяснить, как поглощаются другие органические азотистые соединения. В качестве таковых мы взяли  $\alpha$ -нафтиламин.

Навеску  $\alpha$ -нафтиламина растворяли в воде и 25 куб. см такого раствора приводили в соприкосновение с навеской лигнина. Раствор  $\alpha$ -нафтиламина был такой концентрации, что в 25 куб. см его содержалось 4.22 мг N. Азот определяли по Кьельдалю. Из такого раствора 5 г лигнина поглощали при 1-й фильтрации 3.99 мг N, т. е. 94.32%; при 2-й фильтрации из 4.30 мг — 3.36 мг N, т. е. 78%; при 3-й фильтрации из 4.50 мг N — 2.25 мг N, т. е. 50%, и т. д.

В результате лигнин после 5 фильтратий поглотил значительное количество  $\alpha$ -нафтиламина, за счет чего и обогатился азотом, который не отмывался водой. Содержание азота в пересчете на 100 г абс.-сух.

лигнина увеличивалось на 224.2 мг, т. е. поглощено 2.284 г  $\alpha$ -нафтиламина.

Этот опыт позволяет утверждать, что ароматические азотистые соединения очень энергично поглощаются лигнином. Энергия поглощения  $\alpha$ -нафтиламина была значительно больше, чем энергия поглощения аспарагина (мы не достигли насыщения лигнина  $\alpha$ -нафтиламином).

Все вышеизложенное достаточно ясно показывает, как сильно может изменяться состав воднорастворимых органических соединений в результате взаимодействия их раствора с некоторыми составными частями растительных остатков.

Эти данные показывают нам, что уменьшение воднорастворимых органических соединений, приходящих в соприкосновение с растительными остатками, нельзя объяснять только тем, что эти органические соединения были уничтожены микроорганизмами. В ряде случаев уменьшение количества воднорастворимых соединений при соприкосновении растворов их с почвой будет объясняться тем, что они были адсорбированы твердыми частицами почвы. Воднорастворимые органические соединения могут, с одной стороны, вступать в химическое взаимодействие с твердой частью почвы, растворяя ее, и т. д., а с другой стороны, они могут лишь адсорбироваться на поверхности твердых частиц почвы.

Все вышеизложенное приводит нас к выводу, что крайне необходимо для познания процессов гумусофикации подвергнуть основательным и разносторонним исследованиям этого рода явления, происходящие в почве.

После того как мы несколько познакомились с процессами поглощения воднорастворимых органических соединений с лигнином, как с одним из наиболее стойких соединений, переходящих в почву с растительными остатками, мы должны еще упомянуть о том, что азот поглощенных лигнином аминокислот менее доступен микроорганизмам, чем азот свободных аминокислот, как это показали опыты, проведенные Т. Л. Симаковой в Лаборатории эксп. почвоведения ЛГУ. Это еще более подчеркивает необходимость подробного изучения явлений взаимодействия воднорастворимых органических соединений с почвой в целом и с различными ее минеральными и органическими составными частями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кравков С. П. Почвоведение. 1937, стр. 69—70.
2. Стадников Г. А. Анализ и исследование углей; Изд. 2-е, 1936, стр. 122.
3. Маттсон С. Почвенные коллоиды. 1934, стр. 20.
4. Трофимов А. Научно-агроном. ж., 1927; 4, стр. 560.
5. Думанский А. В. и Думанская А. П. Изв. НИИС. Коллоидной химии. Воронеж, 1932, стр. 43.
6. Wadekind E. und Garre G. Zeitsch. f. angew. Chemie, 1928, 41, 107—112.
7. Ашмарин П. А. Успехи биологической химии, 1926, в. IV, стр. 46—62.
8. Веггит. Zeitschr. physical. Chemie, 1932, 104, 147; 1923, 106, 219.
9. Ашмарин П. А. Успехи биологической химии. 1935, в. XI, стр. 33—64.

## ПОГЛОЩЕНИЕ ВОДНОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВАМИ

С. А. Персин

Настоящая работа, проведенная нами в стенах лаборатории экспериментального почвоведения имени С. П. Кравкова ЛГУ в течение 1938—1939 гг., имеет своей целью выяснить наилучшие способы использования органических удобрений для обогащения малогумусных почв органическим веществом. Как известно, в процессе почвообразования минеральная часть материнской породы вступает в тесное взаимодействие с продуктами распада растительных остатков, в результате чего образуются характерные для почв новообразования — органо-минеральные соединения, которые некоторыми исследователями отождествлялись с гумусом (Кравков, Глинка). Этот процесс взаимодействия между составными частями продуктов выветривания горных пород и поступающими в последние многообразными продуктами жизнедеятельности поселяющихся на них растений и животных является одним из важнейших моментов почвообразования. Вот почему изучение явлений взаимодействия между продуктами разложения органических веществ с минеральной частью почвы представляет как в практическом, так и в теоретическом отношении исключительный интерес. Тем больший интерес представляет изучение процессов взаимодействия воднорастворимых продуктов разложения растительных остатков с почвами, поскольку, как известно, воднорастворимые вещества являются наиболее реакционно-способными.

Процессы взаимодействия воднорастворимых органических соединений с почвами весьма разнообразны. Одним из видов взаимодействия между растворимыми органическими соединениями и почвами оказываются адсорбционные явления, которые могут происходить как на поверхности минеральных соединений, так и на поверхности твердых органических соединений. Если процессы взаимодействия воднорастворимых минеральных соединений с почвами изучены довольно широко и всесторонне, то процессам взаимодействия воднорастворимых органических соединений с почвами не уделялось до последнего времени почти никакого внимания.

Между тем в этих процессах взаимодействия мы должны искать прежде всего объяснение образования того сложного органо-минерального комплекса, который, являясь типичным почвенным образованием, играет существенную роль в процессе почвообразования и влияет в конечном счете на плодородие почвы.

Помимо этого, неизученность этого вопроса тормозит и разработку приемов наиболее правильного использования целого ряда агрохимических мероприятий. Так, например, еще до настоящего времени мы не знаем, какие органические продукты желательно накопить в подготавливаемом навозе, чтобы получить от него наибольший эффект на разных почвах.

Все вышеизложенное побудило нас поставить ряд опытов для изучения вопросов поглощения почвами воднорастворимых органических веществ, получающихся при разложении растительных остатков.

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

По вопросу поглощения органических веществ почвами литература сравнительно бедна. Имеется большее количество работ по поглощению органических веществ глинами и т. п. материалами, связанных с вопросами очистки нефтепродуктов, масел, сточных вод и т. д. Но все эти работы не представляют большого интереса для почвоведения и агрохимии, поскольку они ограничиваются только изучением вопросов очистки, в связи с чем все их внимание обращено на изменение состава и свойств очищаемой жидкости, а не очистителя. Тем не менее некоторые работы в этом отношении должны быть отмечены, поскольку они выясняют общие закономерности поглощения органического вещества минеральной массой. К таким работам относятся работы Falk'a (30), который выяснил, что почвы энергично поглощают такие соединения, как загнивший настой лошадиного мяса и крови умерших животных. Он же в дальнейшем показал, что почвы энергично поглощают белки, пахнущие вещества, индол, тимол, стрихнин и не поглощают растительных и животных жиров, глицерина, амигдалина и салицина.

Soyka (25) наблюдал, что почвы поглощают хинин, морфин, атропин, пиридин, цинхнин. Во всех случаях почвы поглощали только основания, а кислоты переходили в фильтрат.

На важность поглощения органических веществ почвами для с.-х. практики указал Gazzeri (6), который наблюдал, что окрашенный настой навоза совершенно обесцвечивался при фильтрации через глину.

Из экспериментальных работ, касающихся непосредственно вопроса просачивания, поглощения и передвижения воднорастворимых органических соединений по почвенному профилю, необходимо указать на работы Костычева (11), Заломанова (8), Баракова (2), Докучаева (7), Леваковского (16), Слезкина (26), Норре-Seuyler'a (9) и др. Не останавливаясь подробно на взглядах вышеупомянутых исследователей относительно роли и судьбы воднорастворимых органических соединений в почве и способов их закрепления в ней, укажем только, что по данному вопросу в конце прошлого века существовала большая дискуссия, которая в основном заключалась в следующем. Одни исследователи (Костычев) считали совершенно невозможным образование гумуса за счет воднорастворимых органических соединений в результате превращения последних в почве; другие

(Леваковский, Слезкин и др.), наоборот, воднорастворимым органическим соединениям и процессам их изменения и взаимодействия с почвой придавали исключительное значение. В качестве закрепителей органических соединений в почве одни считали известь (Слезкин); другие, наоборот, считали, что известь служит проводником органических соединений в глубину; закрепителями же являются полуторные окислы (Леваковский, Заломанов).

Надо сказать, что ряд вопросов, указанных выше, как, например, о влиянии извести на разложение органического вещества и др., еще и до настоящего времени остается невыясненным.

В дальнейшем наиболее обстоятельно все вопросы по разложению, накоплению и закреплению органических веществ в почве исследовались проф. С. П. Кравковым. Основываясь на предыдущих работах Леваковского, Норре-Seyleg'a и Слезкина, С. П. Кравков пришел к выводу, что «в лице растворимых в воде продуктов разложения растительных остатков мы должны видеть действительно один из важнейших факторов почвообразования». Своими опытами С. П. Кравков показал, что чистая вода действительно в состоянии переводить в раствор весьма значительное количество как зольных, так и органических соединений, даже из таких растительных остатков, которые еще не подвергались процессам разложения. При этом растительные остатки различных растений и даже различные составные части одного и того же растения дают различное количество воднорастворимых органических веществ. Так, например, принимая количество растворимых органических соединений у хвой за единицу, С. П. Кравков получил следующие соотношения между различными объектами по содержанию в них этих соединений:

Хвоя	Солома	Сено	Листья	Корни
1	1.16	7.62	7.77	15.65

Выяснив, таким образом, что в результате разложения растительных остатков почвы обогащаются воднорастворимыми соединениями, С. П. Кравков в дальнейшем исследовал судьбу этих воднорастворимых органических веществ.

Остаются ли они в почве в каком-либо прочном соединении или циркулируют там вверх и вниз и вымываются вместе с водой, как это предполагал Костычев, который не придавал никакого значения растворимым веществам в гумусообразовании.

Для доказательства возможности поглощения и закрепления воднорастворимых органических соединений почвами С. П. Кравков взял различные типы почв, через которые пропускал определенное количество водной вытяжки из клеверного сена. Приводим данные, полученные им для различных типов почв.

1. Подзол супесчаный приблизительно за 90 дней опыта увеличил процентное содержание гумуса на . . . . .	0.01	4. Лесной серый сугл. . . . .	0.77
2. Подзолист. (суглино-супесь)	0.12	5. Темнокорич. лесной сугл. . . . .	1.50
3. Дернов. подзол. сугл. . . . .	0.34	6. Деград. чернозем. . . . .	0.66
		7. Чернозем суглин. . . . .	0.31
		8. Чернозем глин. . . . .	0.09

На основании полученных данных С. П. Кравков впервые установил различную поглотительную способность к органическим веществам у различных почв. При проведении данных опытов образцы почвы время от времени высушивались и затем вновь насыщались. Поэтому в этом случае был возможен переход части растворимых веществ в нерастворимую форму. Этим опытом С. П. Кравков впервые вполне определенно доказал, что каждая почва имеет определенную емкость поглощения по отношению к воднорастворимым органическим веществам. После работ С. П. Кравкова, несмотря на то, что прошло с тех пор почти около 30 лет, мало что можно прибавить из литературы по данному вопросу, так как в этом направлении систематических исследований до самого последнего времени не производилось.

Целый ряд исследователей (Маттсон, 19; Антипов-Каратаев, 7) отмечает способность гуматов вытеснять из почвы фосфорную кислоту, находящуюся в почве в поглощенном состоянии. I. Ungerer (29) своими исследованиями показал, что кальциевый цеолит обменивает свои основания на основания солей следующих азотосодержащих соединений: гуанидина, бетанина, метиламина, анилина и азотно-кислого аргинина. Этот обмен между кальцием и органическими соединениями происходит в эквивалентных количествах и наблюдается не только на искусственных алюмосиликатах, но и на обычной неочищенной глине. Работы Lindau и Rhodius (78) показали, что происходит адсорбция яичного альбумина кварцевым порошком, причем адсорбция альбумина происходит необратимо.

Во многих работах явление поглощения органических веществ почвами отмечено попутно в связи с другими исследованиями. Так, например, Чижевский и Макаров (31) наблюдали обогащение органическим веществом почвы при поливе ее водной вытяжкой из ковьялы у солонцовых почв. Также в работе Антипова-Каратаева, Филипповой и Сапелова (7) отмечается общее обогащение верхнего горизонта почвы органическим веществом в результате поливов ее водой, содержащей значительное количество органического вещества. За последнее время в лаборатории по изучению органических веществ и удобрений ЛОВИУАА обращено большое внимание на вопросы поглощения воднорастворимых органических веществ почвами. Особенно много работал в этом направлении В. Н. Симаков. Так как не все его работы еще напечатаны, мы сообщим некоторые данные В. Н. Симакова, который любезно предоставил нам возможность ими воспользоваться. В первом своем опубликованном сообщении (23) В. Н. Симаков показал, что различные материнские породы обладают различной емкостью поглощения по отношению к таннину и ксилану. Так, например:

	Таннин	Ксилан
100 г лёсса поглощает . . . .	1.83—1.67	0.35—0.39
100 г карб. суглинка . . . . .	1.50—1.64	0.37—0.43
100 г бескарб. сугл. . . . .	0.98—1.02	

Таким образом углеводы (ксилан) значительно слабее поглощаются почвообразующими материнскими породами, чем дубильные вещества (таннин). Другие еще не опубликованные работы того же автора пока-

зали, что изменение состава поглощенных оснований в почвообразующих породах также влияет на способность поглощать почвообразующими материнскими породами как дубильные вещества (таннин), так и углеводы (ксилан). Белковые соединения также поглощаются различными породами различно. Предварительное насыщение почв другим органическим веществом сильно влияет на емкость поглощения.

Влиянию железа и кальция на поглощение органических веществ подзолистыми почвами посвящена работа А. Т. Макарова (20). На основании своих опытов Макаров приходит к выводу, что кальций понижает поглощение воднорастворимых органических веществ, железо же действует в обратном направлении.

Из приведенного обзора литературы, так или иначе касающейся интересующего нас вопроса, т. е. изучения поглощения органических веществ почвами, мы можем заключить, что целый ряд сторон интереснейшего процесса, обуславливающего накопление органических веществ и превращение их в гумусовые соединения, еще и до настоящего времени недостаточно исследован. Пополнить все эти пробелы удастся лишь только в том случае, если в эту трудоемкую работу включатся достаточно многочисленные коллективы исследователей.

#### ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И МЕТОДИКА ОПЫТА

В предыдущем изложении мы совершенно не касались современного состояния вопроса о гумусе и о роли последнего в плодородии почв, так как недавно появились две монографии — Ваксмана (3) и Тюрина (28), где с исчерпывающей полнотой характеризуется современное состояние вопроса о гумусе и о роли органического вещества почвы в питании растений, что делает излишним для нас останавливаться на этом вопросе более подробно. Отметим только, что несмотря на огромную бесспорную роль, которую играет органическое вещество почвы в деле создания устойчивого плодородия почв, и несмотря на то, что этому вопросу посвящено колоссальное количество работ, до настоящего времени целый ряд моментов, имеющих большое теоретическое и практическое значение, еще не выяснен. Как справедливо пишет по этому поводу С. П. Кравков: «Такая слабая разработанность теоретических основ учения об органическом веществе почв прежде всего чрезвычайно болезненно отражается на возможности установления нами тех или иных агрономических положений. И насколько мы далеко ушли по пути овладения минеральным питанием растения и вообще минеральным режимом почв, настолько мы остаемся до сих пор пассивны и часто беспомощны в области познания и рационального использования органического вещества почв (и удобрений). Так, например, до сих пор еще не выяснен вопрос, при каких условиях сохранять навоз, чтобы получить от него наивысший эффект. Также не выяснено, как действуют на процессы разложения органических удобрений известь и прибавка других солей. Как видно из этих примеров, даже самые основные и элементарные вопросы, связанные с древнейшим удобрением, с которым человек имеет дело уже целые тысячелетия, — до сих пор не могут найти согласного решения и разъяснения».

Тем более актуальными становятся эти вопросы в связи с решением XVIII съезда ВКП(б), где говорится: «Освоить в колхозах и совхозах применение правильной системы органических и минеральных удобрений, обратив особое внимание на рациональное хранение и использование навоза и других местных удобрений».

Исходя из всего вышеизложенного, мы, подходя к изучению такой большой проблемы, какой является проблема поглощения воднорастворимых органических веществ почвами, требующая внимания и изучения со стороны целого ряда исследователей в области почвоведения и агрохимии, решили взять только одну небольшую часть ее и остановиться на выяснении следующего вопроса. До настоящего времени еще не выяснено, как нужно готовить органическое вещество, до какой степени нужно его разлагать, чтобы можно было его использовать с наибольшим эффектом для обогащения почв гумусом, а следовательно для улучшения ряда свойств почв. В этой связи было крайне интересно и важно выяснить влияние разложения органического вещества на накопление в нем воднорастворимых органических соединений и на поглощаемость последних почвами. Вот почему содержанием первого сообщения нашей работы является вопрос о влиянии на поглощаемость почвами воднорастворимых органических соединений, получающихся при разложении, в течение различных сроков, растительных остатков.

Для выполнения намеченной задачи мы поставили опыт по разложению клеверного сена. Нам нет надобности объяснять подробно, почему в качестве исходного объекта органических веществ для исследований взято именно клеверное сено. Укажем только, что, во-первых, в связи с массовым введением травопольных севооборотов, роль пожнивных остатков клевера сильно возрастает, и, во-вторых, клевер, являясь мотыльковым растением, обогащает почву азотом, что также представляет большой интерес.

Для опытов клеверное сено было размельчено ножницами на мелкие частицы. В широкие банки закладывалось по 200 г такого сена и прибавлялась дистиллированная вода в количестве 60% от полной влагоемкости клеверного сена. Полная влагоемкость клевера определялась следующим образом. К навеске сухого клеверного сена в 200 г прибавлялась вода в избытке. После полного насыщения растительного материала водой избыток ее отфильтровывался через марлю, сено вновь взвешивалось, и по прибавке в весе определялось количество поглощенной им воды. Затем банки были помещены (для разложения) в шкаф, в котором температура за все время опытов колебалась от 18 до 21° С (смачивание материала производилось регулярно через каждые 3—4 дня до оптимального увлажнения).

В качестве исходных почв для опытов по поглощению нами были взяты верхний горизонт А среднеподзолистой почвы на глубину 0.15 см близ станции Саблино и верхний горизонт чернозема Каменно-Степной опытной станции с той же глубины. Количественный учет воднорастворимых органических веществ производился следующим образом. Вначале приготавливали водную вытяжку из клеверного сена. Работами С. П. Кравкова (12) показано, что количество воды, превышающее количество взятого материала в 20 раз, извлекает из расти-

тельных материалов все, что есть в них растворимого в воде. Поэтому мы брали отношение воды к сухому веществу = 20 : 1.

В фильтрате определялись:

- 1) Сухой остаток (общая сумма воднорастворимых соединений).
- 2) Минеральный остаток (общая сумма воднорастворимых минеральных солей).
- 3) Потеря от прокаливания.
- 4) Общий углерод по Кюппу.
- 5) Общий N по Кьельдалю.
- 6) рН электрометрически с хингидронным электродом.

Все определения производились в двухкратной повторности. Аналогичные же определения производились в водных вытяжках из анализируемой почвы.

Затем 90 г почвы смешивались с 10 г сухого клеверного сена; к полученной смеси (почва + клеверное сено) приливались 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, все взбалтывалось в течение 5 минут и отфильтровывалось через бумажный фильтр. В полученном фильтрате из смеси почва + клеверное сено производились те же определения, что и в исходных вытяжках. По разнице между полученными данными смеси почва + клеверное сено и высчитанными мы определяли количество поглощенных органических веществ почвами.

### Экспериментальная часть

Прежде чем приступить к обсуждению экспериментальных данных по поглощению, приведем некоторые данные, характеризующие исходные почвы, взятые нами для исследования (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1  
Механический анализ по Робинзону

Почва	Ф р а к ц и и						Сумма
	1—0.25	0.26—0.02 по раз- ности	0.02— 0.005	0.005— 0.002	0.002— 0.001	< 0.001	
Черноземная .	1.51	2.48	33.8	17.69	6.96	37.48	100
Подзолистая .	5.49	6.39	42.06	18.57	14.05	13.44	100

Данные механического анализа показывают, что чернозем относится, согласно классификации Охотина, к глинистым разностям, а подзолистая почва — к пылевато-глинистым.

Как видно из приведенных в табл. 2 данных, нами для исследования взяты достаточно типичные верхние горизонты черноземных и подзолистых почв.

Переходим к разбору данных, полученных нами в опыте по поглощению воднорастворимых веществ из мотыльковой соломы различной степени разложения.

ТАБЛИЦА 2

Содержание гумуса, азота, рН и состав поглощенных оснований в исходных почвах

Почва	Гигроск. вода	Гумус по Кюпю	Общий азот по Кьельдаю	рН в водной суспензии	Поглощ. катионов в м. экв.		
					Са	Mg	H
Черноземная . .	6.76	10.4	0.51	7.0	49.25	9.79	—
Подзолистая . .	2.59	3.8	0.19	6.1	4.54	4.77	2.72

Во-первых, приведем данные, характеризующие количество воднорастворимых веществ, перешедших в фильтрат из образцов почвы, смешанных с мотыльковой соломой. Вычитанием из полученных данных количества высчитанных воднорастворимых веществ мы получали количество поглощенных веществ.

При этом условимся явления поглощения обозначать знаком (—).

В том случае, когда в фильтрате обнаруживается воднорастворимых веществ больше, чем можно было ожидать на основании пересчетов, мы говорим о пептизации соединений, находящихся в почве.

Такое явление пептизации будем обозначать знаком (+). Чернозем, насыщенный водородом, будем обозначать чернозем Н, подзолистую почву, насыщенную кальцием — подзолист. Са. После таких предварительных замечаний приведем в табл. 3 данные, характеризующие поглощение веществ, определяемых по сухому остатку в фильтрате. Пересчеты сделаны в проц. на абсолютно-сухое вещество.

ТАБЛИЦА 3

Почва	Сроки разложения орган. вещ.											
	Неразлагавш.				75-дневное разложение				12-месячное разложение			
	Получ.	Высчит.	Разница	% к высчит.	Получ.	Высчит.	Разница	% к высчит.	Получ.	Высчит.	Разница	% к высчит.
Чернозем + клеv. сено .	0.96	0.80	+ 0.16	+ 20	0.80	1.06	— 0.26	— 24.6	0.92	0.93	— 0.01	— 1.07
Подзолист. почва + клеv. сено .	1.20	0.87	+ 0.33	+ 38	0.86	1.03	— 0.17	— 16.5	0.91	0.96	— 0.05	— 5.21
Чернозем Н + клеv. сено . . . .	0.78	0.76	+ 0.02	+ 2.7	0.74	1.03	— 0.29	— 28.1	0.81	0.86	— 0.05	— 5.81
Подзолист. Са + клеv. сено . . . .	0.91	0.73	+ 0.18	+ 24.6	0.86	1.0	— 0.14	— 14.0	0.89	0.92	— 0.03	— 3.26

Как видно из приведенных данных, степень разложённости органического материала сильно сказывается на поглощаемости воднорастворимых веществ, выделяющихся из него почвами. При взаимодействии неразложившегося органического материала со всеми взятыми нами в опыте почвами не только не наблюдалось поглощения органических веществ мотыльковой соломы, но происходила значительная пептизация органических веществ почвы. Наибольшее поглощение воднорастворимых органических соединений для всех почв наблюдается при 75-дневном сроке разложения мотыльковой соломы. При 12-месячном сроке разложения мотыльковой соломы, хотя и наблюдается поглощение, но оно очень незначительно. При сопоставлении данных по поглощению органических веществ различными почвами бросается в глаза, что, как правило, чернозем больше поглощает и меньше пептизирует органических веществ, нежели подзолистая почва. Это объясняется, повидимому, тем, что, как видно из табл. 1, фракция частиц, меньше 0.001 мм, у чернозема составляет 37.48%, а у подзолистой почвы — 13.44%.

В. Н. Симаков (22) показал, что воднорастворимая фракция, внесённая с растительным материалом, задерживается в почвах различного механического состава различно, а именно: чем более глиниста почва, тем сильнее она удерживает эти вещества. Данные механического анализа наших почв (табл. 1) целиком подтверждают вывод вышеуказанного автора и объясняют нам наблюдаемую большую поглощательную способность по отношению к воднорастворимым органическим веществам у чернозема по сравнению с подзолистой почвой.

Несколько иную картину наблюдаем при взаимодействии почв с клеверным сеном, предварительно разлагавшимся вне почвы в течение 12 месяцев. В данном случае чернозем (хотя и незначительно) меньше поглощал воднорастворимые соединения, чем подзолистая почва. Аналогичный результат получил В. Н. Симаков, в опыте которого сухой остаток из образцов глинистой почвы, смешанной с мотыльковой соломой, был больший, чем из образцов песчаной и суглинистой почв. Характер поглощения воднорастворимых соединений почвами с изменённым составом поглощенных катионов не изменяет выводов, которые мы сделали из опытов с исходными почвами.

Более подробный разбор результатов этих опытов составит предмет особого нашего сообщения.

Обратимся теперь к рассмотрению полученных нами данных по вопросу о том, какая часть сухого остатка, минеральная или потеря от прокаливания, больше поглощается в зависимости от степени разложённости вносимого в почву органического вещества.

Данные о поглощении почвами минерального остатка приводятся в табл. 4 и выражены в проц. на абсолютно-сухое вещество.

Как можно видеть из данных табл. 4, поглощаемость воднорастворимых минеральных соединений почвами в большой мере зависит от степени разложённости тех органических веществ, из которых они выделены.

ТАБЛИЦА 4

Почва	Сроки разложения орган. вещ.											
	Неразлагавш. клеv. сено				75-дневное разложе- ние				12-месячное разло- жение			
	Получ.	Высчит.	Разница	В % к высчит.	Получ.	Высчит.	Разница	В % к высчит.	Получ.	Высчит.	Разница	В % к высчит.
Чернозем + клеv. сено .	0.25	0.21	+ 0.04	+ 19.1	0.20	0.15	+ 0.05	+ 33.3	0.27	0.68	- 0.41	- 60.0
Подзолист. почва + клеv. сено .	0.32	0.21	+ 0.11	+ 52.5	0.10	0.15	- 0.05	- 33.3	0.30	0.68	- 0.38	- 56.7
Чернозем Н + клеv. сено . . . . .	0.22	0.21	+ 0.01	+ 4.8	0.14	0.15	- 0.01	- 6.7	0.39	0.68	- 0.29	- 43.7
Подзолист. Са + клеv. сено . . . . .	0.23	0.21	+ 0.02	+ 9.53	0.15	0.15	0.0	0.0	0.40	0.68	- 0.28	- 41.2

Весьма характерно, что все почвы сильно поглощают минеральный остаток из органического вещества, подвергавшегося 12-месячному сроку разложения. Такая большая поглощаемость вышеназванных соединений объясняется тем, что после 12-месячного срока разложения мотыльковой соломы в результате сильной минерализации в водной вытяжке значительно преобладают чисто минеральные соединения над органическими и органоминеральными. Это подтверждают вычисленные данные отношений растворимых органических веществ к минеральным в водных вытяжках мотыльковой соломы.

Из неразлагавшегося клеv. сена . . . . .	2.8
„ разлагавшегося в течение 75 дней . . . . .	4.15
„ разлагавшегося в течение 12 месяцев . . . . .	0.24

Таким образом в водной вытяжке из материала, разлагавшегося в течение 12 месяцев, минеральных веществ было в 4 с лишним раза больше, чем органических, что, очевидно, и обуславливает сильную поглощаемость минеральных соединений.

При взаимодействии почв с неразлагавшимся материалом не только не наблюдается поглощения минеральных веществ, но, наоборот, можно отметить значительный переход их в раствор из почвы, причем и в данном случае из подзолистых почв значительно больше переходит в раствор минеральных соединений, чем из чернозема. При обсуждении данных сухого остатка мы объясняли различную поглощаемость воднорастворимых соединений исследованными почвами неоднородностью их механического состава (табл. 1). Но не только одним этим различием можно объяснить данный факт.

Согласно исследованиям Лейн (17), произведенным в лаборатории проф. Тюлина, оказалось, что при действии водной вытяжкой из сена на различные материнские породы получают неодинаковые результаты. При действии водной вытяжкой из сена различного ботанического

состава (в том числе и клевера) на часовоярскую и хвалынскую глины органические коллоиды значительно пептизируют минеральный субстрат последних; при действии той же вытяжки на коренной суглинок из-под оподзоленной почвы органические коллоиды не только не пептизировали минеральных коллоидов, но даже несколько понижали степень дисперсности их. Ввиду большого интереса работы вышеназванного исследователя приведем его данные (табл. 5).

ТАБЛИЦА 5

Часовоярская глина (навеска в г)	Сухой остаток		Моренный суглинок (навеска в г)	Сухой остаток	
	в воде	в орган. коллоид.		в воде	в орган. коллоид.
1	0	204	1	8	7
3	0	556	3	34	33
5	0	819	5	57	52
10	0	128	15	224	193
—	—	—	25	382	266
15	0	30	40	181	135

Таким образом степень выраженности пептизирующего и коагулирующего действия воднорастворимых органических соединений на минеральные составные части почвы в сильной степени зависит от состава и свойств этих исследуемых минеральных соединений. До очевидности ясно, что взятые нами для исследований чернозем Каменно-Степной опытной станции и подзолистая почва близ станции Саблино обладают различным минеральным составом. Повидимому, этим различием в составе минеральной части исследованных почв можно также объяснить совершенно различную поглощаемость черноземом и подзолистой почвой минеральных соединений, переходящих в водную вытяжку из мотыльковой соломы, разлагавшейся в течение 75 дней. В то время как подзолистые почвы поглощают минеральные соединения, переходящие в водную вытяжку из мотыльковой соломы, разлагавшейся в течение 75 дней, чернозем не только не поглощает, но вытяжка делает более подвижным значительное количество минеральных соединений, находившихся в нем. Также следует отметить, что для этого же срока разложения (75 дней) чернозем, насыщенный водородом, поглощает, а подзолистая почва, насыщенная кальцием, вовсе не поглощает воднорастворимых минеральных соединений. Отсюда можно сделать вывод, что поглощенный кальций в почве способствует пептизации минеральных воднорастворимых соединений, получающихся из продуктов разложения растительных остатков в течение 75 дней, хотя более подробно этот вопрос будет рассмотрен тогда, когда будет идти речь о влиянии рода поглощенного катиона на поглощение органических веществ. Данные поглощения той части воднорастворимых органических веществ, которые определяются как «потеря от прокаливания», приводятся в табл. 6.

ТАБЛИЦА 6

Почва	Сроки разложения орган. вещ.											
	Неразлагавш. клев. сено				75-дневное разложе- ние				12-месячное разло- жение			
	Получ.	Высчит.	Разница	В % к высчит.	Получ.	Высчит.	Разница	В % к высчит.	Получ.	Высчит.	Разница	В % к высчит.
Чернозем + клев. сено .	0.71	0.59	+ 0.12	+ 20.4	0.60	0.92	- 0.32	- 34.8	0.65	0.25	+ 0.40	+ 160
Подзолист. почва + клев. сено .	0.88	0.62	+ 0.26	+ 41.9	0.76	0.94	- 0.18	- 19.3	0.61	0.27	+ 0.34	+ 126
Чернозем Н + клев. сено . . . .	0.63	0.55	+ 0.08	+ 14.6	0.60	0.88	- 0.28	- 31.8	0.42	0.21	+ 0.21	+ 100
Подзолист. Са + клев. сено . . . .	0.68	0.53	+ 0.15	+ 28.3	0.71	0.85	- 0.14	- 16.5	0.49	0.19	+ 0.30	+ 156

Как видно из данных табл. 6, вещества, определяемые путем потери от прокаливания, переходящие в водную вытяжку из материалов, подвергавшихся разложению в течение различных сроков, поглощаются почвами совсем не одинаково. Прежде всего следует отметить, что все почвы при взаимодействии с неразлагавшимся материалом не только не поглощают этих фракций, но, наоборот, под влиянием веществ, переходящих из растений в вытяжку, часть органических соединений, находившихся в почве, увеличивает свою подвижность, переходит в раствор и пептизируется. Совершенно иначе взаимодействуют почвы с материалом, подвергнувшимся предварительно разложению в течение 75 дней.

В последнем случае все почвы заметно поглощают эту часть воднорастворимых соединений. Что же касается взаимодействия почв с материалами, подвергавшимися разложению в течение 12 месяцев, то при смешении их со всеми почвами наблюдалась пептизация их соединений, определяемых как потеря от прокаливания. Такая значительная пептизация этих соединений почвы объясняется, очевидно, химическими свойствами минеральных соединений, переходящих в большом количестве в водную вытяжку, что нами уже было указано при рассмотрении данных минерального остатка. При таком длительном сроке разложения мотыльковой соломы органическое вещество сильно минерализуется, в результате чего в водной вытяжке из него преобладают минеральные соединения над органическими: минеральный остаток — 6.55%; потеря от прокаливания — 1.57%. Поглощения минеральных соединений и приводят к пептизации соединений, определяемых как «потеря от прокаливания».

Сопоставляя данные по поглощаемости воднорастворимых соединений, входящих в потерю от прокаливания различными почвами следует отметить, что и в данном случае чернозем больше поглощает,

их, чем подзолистая почва. В тех же случаях, когда наблюдается пептизация этих соединений из почвы, из чернозема их меньше пептизируется, чем из подзолистой почвы. Исключение представляют опыты с мотыльковой соломой 12-месячного срока разложения. При взаимодействии почв с материалом, разлагающимся в течение 12 месяцев, в черноземе эта фракция пептизировалась больше, чем в подзолистой почве. В опытах с этим материалом наблюдается более сильная пептизация почв в том случае, когда они содержали в поглощенном состоянии кальций.

Так, исходный чернозем и подзолистая почва, насыщенная кальцием, не поглощали этих соединений, и содержание их в вытяжках из образцов почв, смешанных с разложившимся клевером, увеличилось по сравнению с высчитанными количествами.

С другой стороны, чернозем, насыщенный водородом, и исходная подзолистая почва, у которых в состав поглощенных катионов входил водород, поглощали те же соединения.

Потеря от прокаливания позволяет судить до некоторой степени о количестве органических веществ, переходящих в вытяжку, но правильнее о количестве органических веществ судить по содержанию углерода.

Не меньший интерес представляет проследить, как поглощались азотосодержащие соединения. Поэтому в дальнейшем мы рассмотрим, как поглощаются различными почвами углеродистая и азотистая части воднорастворимых органических соединений, в зависимости от степени разложенности клеверного сена.

Данные о поглощении общего углерода приводятся в табл. 7 (выражены в проц. на 100 г абсолютно-сухого вещества).

Как видно из табл. 7, в почвах пептизируются органические соединения как при взаимодействии с неразлагавшимся клевером, так и при взаимодействии с клевером, разлагавшимся в течение 12 месяцев. Эти данные находятся в полном соответствии с данными потери от прокаливания (табл. 5).

Совершенно иные результаты получаются при взаимодействии почвы с клеверным сеном, разлагавшимся в течение 75 дней.

В этом случае все почвы без исключения поглощали воднорастворимые органические соединения, переходящие в водную вытяжку из клевера, что опять-таки находится в полном соответствии с данными потери от прокаливания. Примерно такую же закономерность (хотя с некоторыми отклонениями) можно наблюдать в отношении поглощения воднорастворимых азотистых соединений, что подтверждают данные, приводимые в табл. 8.

Данные табл. 8 показывают, что и в отношении воднорастворимого азота степень разложения клевера оказывает сильное влияние на поглощаемость почвами тех азотистых соединений, которые переходят из него в водную вытяжку.

Прежде всего следует отметить, что всеми почвами поглощается азот при их взаимодействии с органическим веществом, разлагавшимся в течение 75 дней.

При взаимодействии почв с неразлагавшимся органическим веществом, так же как и при взаимодействии с материалом, разлагав-

ТАБЛИЦА 7

Почва	Сроки разложения орган. вещ.														
	Неразлагавш. клеv. сено					75-дневное разложение					12-месячное разложение				
	Получ.	Высчит.	Разность	В % к	Высчит.	Получ.	Высчит.	Разность	В % к	Высчит.	Получ.	Высчит.	Разность	В % к	Высчит.
Чернозем + клеv. сено	0.32	0.28	+ 0.04	+ 14.3	0.220	0.278	- 0.058	- 20.8	0.10	0.07	+ 0.03	+ 42.9			
Подзолист. почва + клеv. сено	0.36	0.28	+ 0.08	+ 26.6	0.260	0.278	- 0.018	- 6.5	0.10	0.07	+ 0.03	+ 42.9			
Чернозем Н + клеv. сено	0.33	0.28	+ 0.05	+ 17.8	0.220	0.278	- 0.058	- 20.8	—	—	—	—			
Подзолист. Са + "	0.32	0.29	+ 0.03	+ 10.3	0.280	0.287	- 0.007	- 2.4	—	—	—	—			

ТАБЛИЦА 8

Почва	Сроки разложения орган. вещ.														
	Неразлагавш. клеv. сено					75-дневное разложение					12-месячное разложение				
	Получ.	Высчит.	Разность	В % к	Высчит.	Получ.	Высчит.	Разность	В % к	Высчит.	Получ.	Высчит.	Разность	В % к	Высчит.
Чернозем + клеv. сено	0.027	0.022	+ 0.005	+ 22.7	0.013	0.026	- 0.013	- 50.0	0.007	0.007	0.0	0.0			
Подзолист. почва + клеv. сено	0.030	0.024	+ 0.006	+ 25.0	0.020	0.022	- 0.002	- 9.1	0.009	0.007	+ 0.002	+ 28.5			
Чернозем Н + клеv. сено	0.026	0.024	+ 0.002	+ 8.3	0.020	0.023	- 0.003	- 13.6	0.008	0.007	+ 0.001	+ 14.3			
Подзолист. Са + "	0.025	0.025	+ 0.00	+ 0.0	0.023	0.024	- 0.001	- 4.2	0.008	0.008	0.0	0.0			

шимся в течение 12 месяцев, наблюдалась в основном пептизация азота почвы.

Из данных табл. 8 можно также проследить, что поглощенный кальций способствует связыванию азота, переходящего в водную вытяжку из клеверного сена. Закрепляющую роль кальция в отношении азотистых веществ мы наблюдали в ряде других опытов.

Как известно, поглощаемость минеральных соединений находится в известной зависимости от рН среды.

Целым рядом исследователей выяснена зависимость поглощения как катионов, так и анионов от реакции среды. Среди этих работ особенно выделяются работы Маттсона (19), который объясняет явления поглощения почвами анионов и катионов, исходя из учения Михаэлиса об амфолитоидах. В силу амфолитоидности почвенных коллоидов, в зависимости от реакции среды, они могут менять свое поведение. При подкислении реакции почвенные коллоиды начинают отдиссоциировать анионы и обменивать их на анионы, находящиеся в растворе, а с подщелочением повышаются диссоциация и обмен катионов. Маттсон приводит экспериментальные данные, которые подтверждают данное положение.

Выделенные им из почвы коллоиды поглощали анионы и катионы в различной степени в зависимости от величины рН раствора: при нейтральной и щелочной реакции они поглощали преимущественно катионы, при кислой — поглощение катионов сильно уменьшалось, а поглощение анионов возрастало. Данное явление трактуется Маттсоном как обменная адсорбция, причем природа поглощения анионов не отличается от природы поглощения катионов. Для того чтобы выявить некоторую закономерность поглощения органических веществ от реакции среды, мы еще определяли рН водных вытяжек электрометрически с хингидронным электродом до и после взаимодействия почв с мотыльковой соломой.

Данные рН водных вытяжек до и после взаимодействия почв с клевером приводятся в табл. 9.

ТАБЛИЦА 9  
рН водных вытяжек

Исследованный объект	Сроки разложения					
	Неразлагавш.		75-дневное разложение		12-месячное разложение	
	До взаимодействия	После взаимодействия	До взаимодействия	После взаимодействия	До взаимодействия	После взаимодействия
Клеверное сено . . . . .	6.28	—	7.71	—	6.94	—
Чернозем . . . . .	7.0	6.06	7.0	7.54	7.0	6.40
Подзолистая почва . . . . .	6.10	5.39	6.10	7.51	6.10	5.84
Чернозем Н . . . . .	4.46	3.79	4.46	5.40	4.46	4.06
Подзолист. Са . . . . .	6.23	5.63	6.23	7.63	6.23	6.14

На основании данных табл. 9 можно заключить, что в результате взаимодействия почв с органическим веществом, подвергавшимся различным срокам разложения, происходит изменение рН в сторону подкисления. При этом следует отметить, что при взаимодействии почв как со свежим клевером, так и с разлагавшимся в течение 12 месяцев рН смеси получается ниже, чем каждого из компонентов в отдельности. При взаимодействии почв с клевером, разлагавшимся в течение 75 дней, рН была средней между рН клевера и почв.

Такое подкисление, по видимому, следует объяснить тем, что в результате взаимодействия почв с органическим веществом в первую очередь поглощаются соединения, имеющие основной характер.

Однако этот вопрос настолько сложен и интересен, что требует еще дополнительных специальных исследований в этом направлении — на чистых препаратах.

### ВЫВОДЫ

В настоящей работе исследовалось влияние степени разложенности клеверного сена на поглощение соединений, переходящих из него в водную вытяжку, различными почвами.

Результаты работы позволяют нам сделать следующие выводы.

1. Степень разложения клевера очень сильно влияет на поглощаемость его воднорастворимых соединений различными почвами.

2. При взаимодействии почв с неразлагавшимся клевером наблюдается значительная пептизация как минеральных, так и органических соединений почвы.

3. При взаимодействии почв с клевером, разлагавшимся в течение 12 месяцев, наблюдаются поглощение воднорастворимых минеральных соединений, с одной стороны, и пептизация органических соединений почвы, с другой.

4. Все почвы при их взаимодействии с клеверным сеном, разлагавшимся в течение 75 дней, поглощали воднорастворимые соединения, причем органические соединения поглощались почвами относительно больше, чем минеральные.

5. Из исследованных нами почв чернозем относительно больше поглощал соединения, переходящие в водную вытяжку из клеверного сена, чем подзолистые почвы.

Вышеуказанные выводы имеют большое теоретическое и практическое значение. Экспериментально доказано, что для закрепления и поглощения воднорастворимых органических веществ почвами, т. е., иначе говоря, для быстреего создания гумусового горизонта в почве исключительное значение приобретает степень разложения органического вещества.

Это обстоятельство должно учитываться при выборе приемов и способов подготовки и хранения органических удобрительных материалов.

В заключение считаю своим долгом выразить глубокую благодарность В. Н. Симакову за руководство и помощь, оказанные им при проведении данной работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов-Каратаев, Филиппова и Сапелова. Труды Комисс. по ирригации АН СССР, вып. 6. 1936.
  2. Барakov П. Опыты над просачиванием перегноя через искусственные смеси различного минерального состава. Материалы по изуч. русских почв, вып. 2, 1886.
  3. Ваксман. Гумус, 1937.
  4. Waksman and Yeer. Soil Science, v. 36, № 1, 1933.
  5. Глинка. Почвоведение, 1931.
  6. Gazzeri. Agrikulturchemische Jahresb., вып. 16 и 17, 1819.
  7. Докучаев В. В. Русский чернозем, 1936.
  8. Заломанов П. О влиянии некоторых составных частей почвы на образование чернозема, Тр. В. Экон. общ., т. 1, 1879.
  9. Норре-Seu'ler. Zeitschr. f. physiol. Chemie, XIII, 1888.
  10. Костычев П. А. Почвы черноземной области России, 1937.
  11. Костычев П. А. Об условиях образования черноземных почв, Тр. В. Экон. общ., т. III, 1884.
  12. Кравков С. П. Материалы по изучению процессов разложения растительных остатков в почве, 1908.
  13. Кравков С. П. Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании, 1911.
  14. Кравков С. П. Материалы по изучению продуктов разложения органических веществ и процессов закрепления их в почвах, 1935.
  15. Кравков С. П. Почвоведение, 1937.
  16. Леваковский. Некоторые дополнения и исследования над черноземом. Тр. Общ. природы при Харьк. унив., XXII, 1888.
  17. Лейн З. Я. Тр. ВИУА, вып. 11, 1935.
  18. Lindau und Rhodius. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. 172, 1935.
  19. Маттсон. Почвенные коллоиды, 1938.
  20. Макаров А. Т. Действие железа и кальция на поглощение органических веществ подзолистыми почвами, Диссертация (рукопись).
  21. Одинцов Б. Н. Материалы по изуч. русских почв, вып. 2, 1886.
  22. Симаков В. Н. и Исакова А. И. Влияние механического состава почвы на разложение вносимых в нее органических материалов, Тр. ЛОВИУА, вып. 37, 1935.
  23. Симаков В. Н. Изучение поглощения органических веществ почвами, Тр. ЛОВИУА, вып. II, 1938.
  24. Симаков В. Н. Влияние механического состава почвы на разложение вносимых в нее органических материалов, Тр. ЛОВИУАА, вып. 51, 1938.
  25. Souka. Naturforscher. 18, 166, 1888.
  26. Слезкин. Этюды о гумусе, 1900.
  27. Трусов. Материалы к изучению почвенного гумуса. I. Процессы образования гуминовой кислоты, 1917.
  28. Тюрин И. В. Органическое вещество почв, 1937.
  29. Ungerer I. Koll. Zeitschr., Bd. XXXVI, № 4, 1925.
  30. Falk. Vierteljahrsschrift für gerich. Med. und Öffentl. Sanitätswesen, № 5, N. F., Bd. XXVII, 1877.
  31. Чижевский М. Г. и Макаров Н. А. К вопросу о биологической мелиорации засоленных почв, Почвоведение № 3, 1939.
-

СЕРИЯ ГЕОЛОГО-ПОЧВЕННЫХ НАУК, ВЫП. 12

О КАТИОННОМ ОБМЕНЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ  
РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ ТИПОВ

М. Д. Рыдалевская и В. В. Тищенко

Известно, что при пропускании солевого раствора через почву происходит обмен между катионами раствора и катионами, находящимися в почве в поглощенном состоянии. Такой обмен будет происходить в наиболее дисперсной, коллоидальной части почвы, к которой прежде всего нужно отнести органическую часть, представленную в почве в виде гумусовых веществ, кислая часть которых — гумусовые или гуминовые кислоты — должна принимать в этом обмене особенно активное участие. Изучение обменной способности этих кислот имеет огромное практическое значение, так как наличие органического вещества, в частности гуминовых кислот, обеспечивает доступность и сохранность тех питательных элементов растения, которые вносятся в почву в виде различного рода минеральных удобрений.

В гуминовых кислотах типичных бурых углей Фуксом (1) было установлено наличие четырех карбоксильных и четырех фенольных групп, способных реагировать с основаниями.

Исследование (2) гуминовых кислот различных почв показало, что почвенные гуминовые кислоты, независимо от типа почвообразования, также имеют четыре карбоксила и три-четыре фенольных гидроксильных группы. Реакционная способность карбоксильных и фенольных гидроксильных групп неодинакова. Наиболее активной должна быть карбоксильная группа, так как у фенол-карбоновых кислот константа диссоциации кислотного радикала выше, чем фенольного гидроксильного. Водород кислотного радикала может замещаться катионами щелочных, щелочно-земельных металлов, а также металлами полуторных окислов. Фенольная группа не обладает такой активностью. Водород фенольного гидроксильного радикала легко замещается лишь катионами щелочей, катионы щелочных земель замещают водород в этом случае уже значительно труднее.

Все же, признавая гуминовую кислоту за фенол-карбоновую, следует принять во внимание, что фенольный гидроксил при наличии смежных электроотрицательных групп способен усиливать кислотность, повышая этим свою активность. Это было замечено Свен-Одемом (3), который отметил, что замещение водорода гуминовых кислот идет при различных рН. Кочергин (4), изучая обменную способность гуминовой кислоты торфа методом буферных растворов, обна-

ружил, что в интервале от 4.5 до 8.0 рН обменная способность является примерно линейной функцией от рН.

Хаинский (5), исследуя различные соли гуминовой кислоты торфа методом потенциометрического титрования, показал, что водород всех карбоксильных групп замещается при нейтральной реакции, после чего на потенциометрической кривой наблюдается резкий скачок рН.

Далее Стадников (6) и его сотрудники при изучении гуминовых кислот ископаемых углей установили тесную связь между поглощением катионов и полярными группами гуминовых кислот. Ими было показано, что реакция поглощения катионов гуминовыми кислотами протекает по типу хемадсорбции, так как количество поглощенных оснований строго соответствует количеству определяемых метилированием карбоксиллов и фенольных гидроксиллов, присутствующих в молекуле гуминовой кислоты. Кухаренко (7), а также Фуксом (8) был предложен метод определения карбоксильных и фенол-гидроксильных групп метилированием, основанный на способности водорода этих групп замещаться основаниями: для водорода карбоксиллов — ацетат кальция, а для суммы всех водородов — едкий барий. Приведенная выше — хотя далеко не полная — литература достаточно ясно показывает высокую реакционную активность карбоксильных и фенольных групп гуминовой кислоты при ее взаимодействии с растворами минеральных солей. Характер такого рода реакции почвенных гуминовых кислот должен определяться прежде всего количеством таких групп и способностью водорода этих групп к реакциям обмена. Несомненно, что обменная способность гуминовых кислот почвы будет зависеть от условий того или иного типа почвообразования, в силу хотя бы качественных и количественных различий структуры боковых групп их молекул.

Настоящая работа имела целью изучение катионного обмена почвенных гуминовых кислот в зависимости от характера периферических групп и способности водорода этих групп к реакциям обмена.

Для изучения обменной способности гуминовых кислот различных почв были использованы препараты, выделенные 1% NaOH. <sup>1</sup> В этих препаратах была определена обменная емкость вытеснением водорода до рН 6.8—7.01 N раствором ацетата кальция и раствором 1N хлористого бария (подщелоченным до рН 8.1).

Результаты сведены в табл. 1.

Из полученных данных можно видеть, что только гуминовые кислоты черноземных почв обладают совершенно одинаковой обменной способностью, что же касается гуминовых кислот торфяно-болотной, рендзин и подзолистой почвы, то их способность к обмену оказалась ниже обменной способности гуминовых кислот черноземных почв. Большая зольность гуминовых кислот подзолистой и рендзинной почв и преобладание в золе полуторных окислов давали возможность предполагать, что в данном случае снижение обменной способности этих гуминовых кислот объясняется присутствием в золе большого количества полуторных окислов. Такое же понижение емкости погло-

<sup>1</sup> Доклады Ак. Наук СССР, т. IV, № 3, 1936.

ТАБЛИЦА 1

Обменная емкость поглощения гуминовых кислот в м-экв. на 100 г сухой орган. массы

Почвы	Зольность гумин. кислот	Ca (CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	BaCl <sub>2</sub>
Торфяно-болотная . . . . .	3.62	296.0	270.0
Подзолистая . . . . .	15.32	—	290.0
Рендзина . . . . .	10.84	448.0	406.0
Деградированный чернозем . . . . .	9.81	492.0	490.0
Мощный чернозем . . . . .	3.94	498.0	495.0
Обыкновенный чернозем . . . . .	3.16	497.0	494.0
Каштанов. чернозем . . . . .	4.30	492.0	493.0

щения было отмечено при исследовании обменной емкости изоэлектрических осадков «гумус — полуторные окислы» Mattson'ом (9), который указал, что «поглощение катионов изоэлектрическими осадками, полученными при различных значениях pH, не является линейной функцией соотношения гуминовой кислоты к полуторным окислам, поскольку гумус и полуторные окислы в изоэлектрических осадках не соединяются друг с другом в соотношениях, существующих в этих комплексах».

С целью изучения влияния полуторных окислов на обменную емкость получения гуминовой кислоты были поставлены опыты с гуматом железа на трех препаратах, выделенных из торфяно-болотной, подзолистой и черноземной почв. Гуматы железа приготавливались насыщением гуминовых кислот 0.01 N раствором Fe (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.

Избыток Fe (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> удалялся промыванием гумата горячей водой до отрицательной реакции на NO<sub>3</sub> (дифенил-амин), и в полученных таким образом гуматах были определены содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и обменная емкость поглощения методом буферных растворов 0,1 N BaCl<sub>2</sub> при pH 4.5 и pH 6.4.

Применение буферных растворов давало возможность вести вытеснение водородного иона в строго определенных условиях и устраняло возможность обратной реакции.

Полученные результаты сведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Обменная емкость поглощения гуматов железа в м-экв. на 100 г сухой орган. массы

Почвы	Содерж. в. гумате в %	pH 4.5		pH 6.4		Потеря в %	
		гумин. кисл.	гумат железа	гумин. кисл.	гумат железа	pH 4.5	pH 6.4
Черноземная . . . . .	8.8	292.2	161.0	432.9	231.0	45.0	46.8
Подзолистая . . . . .	8.7	243.0	130.0	413.0	210.0	46.5	49.1
Торфяно-болотная . . . . .	5.7	146.3	—	286.3	120.0	—	58.1

Данные табл. 2 достаточно убедительно показывают уменьшение емкости поглощения, при наличии железа в молекуле гуминовой кислоты, в интервале кислой реакции. Следует отметить, что количество железа, которое удалось ввести в гуминовые кислоты, неодинаково; содержание его в торфяно-болотной значительно ниже, чем в гуминовых кислотах подзолистой и черноземной почв, и соответствует примерно водородам двух кислотных групп, а для двух других — трем.

Этот результат все же не должен вызывать сомнения, так как он хорошо согласуется с данными Кондратьева и Венера (10), которые при обработке гуминовой кислоты из классоновского низинного торфа различными солями окиси и закиси железа получили цифру поглощенного железа, равную 5.52% (на  $Fe_2O_3$ ).

Дальнейшее получение обменной емкости поглощения было проведено на трех образцах гуминовых кислот, которые были выделены из следующих почв:

1. Обыкновенного чернозема; Каменная степь (целина).
2. Подзолисто-суглинистой почвы; Лужский район.
3. Торфяно-болотной почвы; тип переходного осоко-сфагнового с древесными остатками болота; Болотная Новгородская станция.

Выделение гуминовых кислот производилось 0.1 раствором NaOH. Перед щелочной экстракцией почвы были обработаны 0,05 N HCl для декальцинирования, а затем подвергнуты экстракции спирто-бензольной смесью. Предварительная обработка торфяно-болотной почвы была проведена по методу Стадникова. В полученных кислотах было определено содержание золы. Препараты с высокой зольностью подверглись электродиализу, благодаря чему их зольность удалось значительно снизить. Сжиганием по Либиху был установлен их элементарный состав, результаты которого приводятся в табл. 3. Содержание C, H и N вычислялось на сухую органическую массу, а количество кислорода вычислено по разности.

ТАБЛИЦА 3

Почвы	Зольность гумин. кислот	C	H	O (по раз- ности)	N
Черноземная . . . . .	0.70	52.29	3.23	33.76	3.72
Подзолистая . . . . .	3.40	52.39	4.82	39.05	3.74
Торфяно-болотная . . . . .	0.42	54.29	4.53	37.34	3.84

Результаты показывают, что по элементарному составу гуминовые кислоты торфяно-болотной и подзолистой почв заметно беднее углеродом и богаче кислородом, чем гуминовые кислоты чернозема, что уже прямо указывает на их более молодой химический возраст. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> См. Тищенко и Рыдалевская. Докл. Ак. Наук СССР, т. IV, № 3, 1936. И. В. Тюрин. Органическое вещество почв. Сельхозгиз. Л. 1937.

Такой вывод подтверждается также результатами обработки этих кислот ацетил-бромидом. Растворимость в ацетил-бромиде гуминовой кислоты из чернозема практически равна нулю, в то время как для гуминовой кислоты подзолистой почвы она достигает уже заметной величины (6.9%), гуминовая же кислота из торфяно-болотной почвы растворяется в ацетил-бромиде больше, чем наполовину (51.2%). Это лишний раз подтверждает ее большую оводненность, более молодой химический возраст и менее сложное строение молекулы по сравнению с гуминовыми кислотами черноземных почв.

Обменная емкость поглощения полученных препаратов изучалась при различных значениях рН с помощью буферных растворов.

Буферные растворы 0,1 N  $BaCl_2$  были приготовлены по рецептуре, предложенной Физико-химической лабораторией ЛОВИУА (4). Менялись: 1) ацетатный буфер с рН = 4.5; 2) малиновый буфер с рН = 6.4; 3) боратный буфер с рН = 8.1.

Методика определения обменной способности гуминовых кислот состояла в следующем: навески гуминовых кислот обрабатывались последовательно определенными объемами равновесных растворов до тех пор, пока рН раствора, применяемого для вытеснения Н-иона, не приобретал рН исходного раствора. Гуминовые кислоты отфильтровывались и промывались водой до отрицательной реакции на  $Cl$ , а поглощенный барий вытеснялся 0.05 HCl и определялся весовым методом в виде  $BaSO_4$ .

Количество поглощенного бария пересчитывалось на эквивалентное количество водородов, вступивших в реакцию обмена; по этим данным можно было вычислить число боковых групп молекулы гуминовой кислоты, принимавших участие в реакции.

Полученные данные сведены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Емкость поглощения гуминовых кислот при различных значениях рН в м-эquiv. на 100 г сухой орган. массы

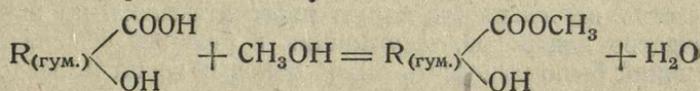
Почвы	При рН 4.5	Колич. кислых групп	При рН 6.4	Колич. кислых групп	При рН 8.1	Колич. кислых групп
Черноземная, Каменная степь . . . . .	292.2	4	432.9	6	590.5	8
Подзолистая . . . . .	243.0	3—4	410.0	5—6	548.7	7—8
Торфяно-болотная . . . . .	170.0	2—3	286.3	4	4000	5
Торф (Кочергин) . . . . .	182.8	2—3	305.6	4	—	—
Торф <sup>1</sup> сфагн. . . . .	—	—	285.7	4	—	—

Различное отношение гуминовых кислот к буферным растворам показывает, что замещение водорода в гуминовых кислотах является функцией рН, причем при одних и тех же значениях рН в реакциях обмена гуминовых кислот черноземной, подзолистой и торфяно-

<sup>1</sup> Данные емкости поглощения гуминовых кислот взяты из работ: Mattson „Почвенные коллоиды“ (1938); Кочергин „Роль органических веществ в обменной способности почв“. ВИУАА (1938).

болотной почв участвует различное количество кислых групп, что является результатом неодинаковой активности их водородов. Полученная для торфяно-болотной кислоты емкость поглощения, так же как и емкость поглощения гуминовых кислот торфа, изученных Mattson'ом и Кочергиным, при нейтральной реакции соответствуют замещенному водороду четырех карбоксильных групп. Что касается гуминовых кислот черноземной и подзолистой почв, то их емкость поглощения выше, чем у торфяных гуминовых кислот. Это повышение, по всей вероятности, следует приписать замещению водорода в фенолгидроксильных группах. Поэтому было интересно выяснить, какие периферические группы гуминовых кислот участвуют в реакциях обмена при различных значениях рН.

Относительно участия в реакциях обмена карбоксильных групп не могло быть никакого сомнения, потому что уже давно установлено, что почвенные гуминовые кислоты могут реагировать с различными основаниями, образуя соответствующие соли. Что же касается участия в реакциях обмена почвенных гуминовых кислот, водорода фенольных групп, то в литературе по этому вопросу точных указаний не имеется. Следовательно, чтобы изучить замещение водорода фенольной группы на катион, необходимо было изолировать водород карбоксильной группы, что очень легко может быть достигнуто метилированием гуминовой кислоты метанолом в присутствии сухого хлористого водорода по следующей схеме:



Полученные таким образом сложные эфиры были проанализированы на содержание метоксила по способу Viebock'a и Schwappach'a (12), причем оказалось, что сложные эфиры гуминовых кислот различных почв показывают лишь небольшое расхождение в содержании метоксилов, при расчете которых молекулярный вес гуминовых кислот принимается равным 1400. Очевидно, что емкость поглощения сложных эфиров, где водород карбоксильных групп замещен на метоксил, будет зависеть от реакционной способности оставшихся свободными фенольных групп, водород которых будет принимать участие в катионном обмене. Это предположение подтверждается результатами табл. 5, показывающими, что емкость поглощения метилированных гуминовых кислот почв резко понижается.

ТАБЛИЦА 5

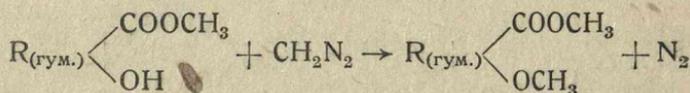
Емкость поглощения сложных эфиров в м-эquiv. на сухую орган. массу

Почвы	Колич. в %	рН 4.5	рН 6.4	Колич. групп	
				при рН 4.5	при рН 6.4
Черноземная . . . . .	8.44	180.11	246.5	2	3
Подзолистая . . . . .	8.29	148.2	234.2	2	3
Торфяно-болотная . . . . .	8.03	18.6	79.4	0	1

Особенно заметно падает емкость поглощения торфяно-болотной гуминовой кислоты. Можно считать, что водород фенольного гидроксила этой кислоты при катионном обмене в интервале кислой реакции является мало активным. Слабая активность фенольного гидроксила торфяно-болотной гуминовой кислоты, повидимому, является следствием молодого химического возраста, большей оводненности и менее сложного (конденсированного) строения ее молекулы. При таком состоянии вещества отсутствуют условия, повышающие кислотность фенольного гидроксила (наличие смежных электроотрицательных групп) и активизирующие подвижность водорода этой группы в процессе катионного обмена.<sup>1</sup>

Способность фенольных гидроксидов к реакциям катионного обмена была еще доказана следующим путем.

Сложные эфиры гуминовых кислот были обработаны эфирным раствором диазметана в условиях Meerwein'a и Hinze (13), при которых метилируются также и фенольные гидроксиды, спиртовые же гидроксиды, наличие которых в почвенных гуминовых кислотах вполне возможно, остаются незатронутыми. Реакция метилирования диазметаном протекает по следующей схеме:



Полученный продукт не должен уже иметь водородов, способных к катионному обмену, и, следовательно, его емкость поглощения практически должна быть равна нулю. На самом деле, как показывает табл. 6, сполна метилированные препараты, правда весьма слабо, но все же проявляют способность к катионному обмену.

ТАБЛИЦА 6

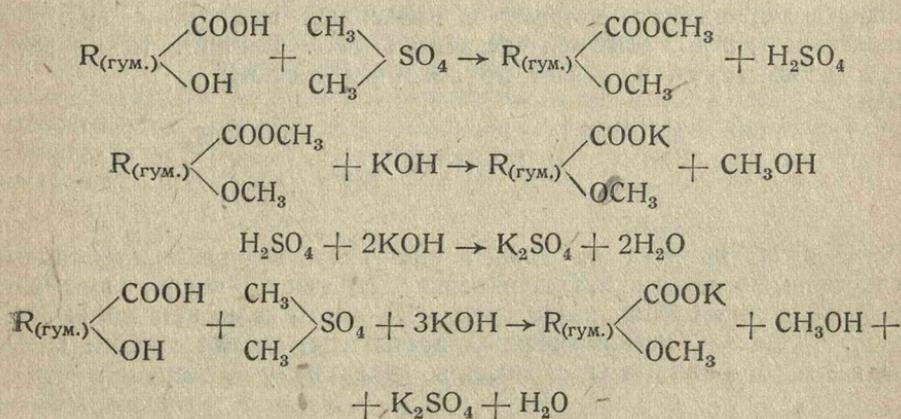
Емкость поглощения метилированных производных гуминовых кислот при pH 6.4 в м-экв. на 100 г сухой орган. массы

Почвы	После обработки $\text{CH}_2\text{N}_2$	Емкость поглощ. в % от емкости своб. гумин. кисл.	После обработки $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$	Колич. замещ. собой групп
Черноземная .....	41.9	9.0	288.5	4
Подзолистая .....	53.0	11.0	—	—
Торфяно-болотная .....	10.2	3.0	298.6	4

<sup>1</sup> Повышение емкости поглощения, отвечающее 3 фенольным гидроксидам в сравнении с исходной гуминовой кислотой, у которой при pH + 6.4 замещаются 6 групп (в данном случае замещено 7 групп), видимо связано с действием при метилировании  $\text{HCl}$ , освобождающего от золь одну лишнюю группу. Метилированные метанолом препараты почти лишены золь.

Здесь следует прежде всего обратить внимание на трудность метилирования фенольных групп диазометаном.

Реакция, протекающая вначале довольно бурно, к концу настолько замедляется, что требуется много времени, чтобы довести ее до конца. Весьма возможно, что в данном случае метилирование не было вполне закончено, и часть фенольных гидроксидов сохранила способность к обмену, чем собственно и можно объяснить наличие незначительной емкости поглощения «сполна» метилированных гуминовых кислот. Чтобы установить участие карбоксильных групп в катионном обмене, гуминовые кислоты из чернозема и торфяно-болотной почвы были обработаны щелочным раствором диметил-сульфата по методу Neuser'a и Gunkel'я. При этих условиях водороды фенольных гидроксидов замещаются метильными группами, а водороды карбоксильных групп сохраняют способность к обмену. Метилирование идет по следующей схеме:



При одинаковом содержании карбоксильных групп (табл. 5) емкость поглощения метилированных диметилсульфатом гуминовых кислот различных почвенных типов должна быть одна и та же, что на самом деле и подтверждается результатами табл. 6.

Определение емкости поглощения метилированных диметилсульфатом гуминовых кислот, произведенное в присутствии малеинового буфера (рН 6.4), дало хорошо совпадающие цифры поглощенного бария, в обоих случаях эквивалентные четырем карбоксилам. Сравнивая емкости поглощения свободных неметилированных гуминовых кислот с метилированным и диметил-сульфатом, можно заметить, что емкость поглощения метилированного продукта значительно ниже. Совершенно очевидно, что в этом случае понижение емкости поглощения произошло за счет фенольных гидроксидов, утративших способность к обмену.

Лишним подтверждением участия фенольного водорода в реакции обмена при рН 6.4 является концентрация водородных ионов водных суспензий сложных эфиров и слабо-кислая реакция водных суспензий сполна прометилированных препаратов (табл. 7).

ТАБЛИЦА 7

Данные рН водных суспензий (стеклянный электрод)

Почвы	Гуминовая кислота	Сложные эфиры	Исчерпыв. метилированные
Черноземная .....	3.07	3.70	6.55
Подзолистая .....	3.11	3.78	6.45
Торфяно-болотная .....	3.60	4.55	7.42

Определение рН подчеркивает те же закономерности, которые наблюдаются у гуминовых кислот и их сложных эфиров при определении обменной способности. Сложные эфиры гуминовых кислот обладают достаточно кислым характером, обусловленным в данном случае водородом фенольных гидроксидов. Продукты истощающего метилирования, как и нужно было ожидать, имели рН близкие к нейтральному. Торфяно-болотная гуминовая кислота, показывающая более низкую способность к обмену, и ее метилированные производные обладают более высоким рН по сравнению с черноземной и подзолистой гуминовыми кислотами.

Настоящая работа не является истощающей в отношении изученности процессов, связанных с проявлением химизма отдельных периферических группировок, поскольку возможны реакции, обусловленные коллоидной природой гуминовых кислот.

Но полученные результаты все же позволяют сделать следующие выводы.

1. Почвенные гуминовые кислоты имеют характер фенол-карбоновых кислот.

2. Кислотная природа почвенных гуминовых кислот обусловлена наличием в их молекуле фенольных гидроксидов и карбоксильных групп.

3. При всех значениях рН обменная способность гуминовых кислот чернозема и подзолистой почвы выше, чем гуминовой кислоты из торфяно-болотной почвы.

4. При нейтральной реакции обменная емкость поглощения торфяно-болотной гуминовой кислоты строго соответствует четырем карбоксилатам.

5. При нейтральной реакции в процессе катионного обмена у гуминовых кислот чернозема и подзолистой почвы участвуют не только водороды кислотных радикалов, но и водороды фенольных гидроксидов.

6. В щелочной среде (рН 8.1) в гуминовых кислотах из черноземной и подзолистой почв замещаются как карбоксильные, так и фенольные группы полностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Fuchs. W. Brenn.-Chem., 8, 337, 1927.
2. Тищенко и Рыдалевская. Докл. Акад. Наук СССР, т. IV, № 3, 1936.
3. Свен-Оден. Koll. Chem. Beihefte, B. II, N. 3—9, 75—260.

4. Кочергин. Физико-химические исследования почв и удобрений, ВИУАА, 1938.
  5. Хайнский. Коллоидн. журнал, т. II, I, 1936.
  6. Стадников, Сысков, Ушакова. Химия твердого топлива, V, 581, 1934.
  7. Кухаренко. Химия твердого топлива, IX, 803; XII, 1064, 1938.
  8. Fuchs W. Ibid.
  9. Mattson. Почвенные коллоиды, 1938.
  10. Кондратьев и Венер. Химия твердого топлива, V, 219, 1934.
  11. Тюрин. Органическое вещество почвы, 1937. Сельхозгиз.
  12. Viebock u. Schwarzsach. Ber., 63, 2918, 1930.
  13. Meerwein u. Hinze. Lieb. Ann., 484, 1—25, 1930.
  14. Heuser u. Gunkel. Cell., 2, 82, 1921.
-

## К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПОЧВЕННЫХ КОЛЛОИДОВ

Л. Н. Александрова

Вопрос о формах связи органического вещества почвы с ее минеральной частью является одним из наиболее существенных разделов химии почвенного гумуса; так как решение этого вопроса связано с такими основными разделами почвоведения, как закрепление гумуса в почвенном профиле, участие гумуса во всем процессе почвообразования и т. п.

Этот вопрос привлекал еще внимание основоположников гумуса — Шпренгеля и Берцелиуса; однако на этом первом этапе изучения органического вещества почвы исследователи ограничивались изучением солеобразования гуминовой кислоты с одно-, двух- и трехвалентными металлами. Была доказана возможность получения в лабораторных условиях различных гуматов, и были изучены некоторые их свойства (16).

Развитие коллоидной химии и применение ее достижений в области почвоведения содействовали коренному пересмотру прежних представлений о характере и формах связи гумуса с минеральной частью почвы.

Неправильно понятые взгляды Беммелена (3) о коллоидной природе гумуса послужили основанием для отрицания возможности химических реакций взаимодействия гумусовых веществ с теми или иными минеральными соединениями (2).

Однако дальнейшие исследования (6, 10) показали, что, несмотря на коллоидальный характер гумуса, здесь имеют место и чисто химические реакции взаимодействия гумуса с минеральной частью почвы.

Вопрос о формах связи гумуса с минеральной частью почвы включает, очевидно, в себя два раздела.

Во-первых, необходимо выяснить вопрос о наличии и характере органоминеральных соединений, т. е. таких соединений гумуса с элементами, составляющими минеральную часть почвы, в которых последние входят в самую молекулу различных органических веществ, составляющих гумус почвы. Эти элементы, составляющие минеральную часть почвы, могут, очевидно, входить как в периферические группировки тех или иных органических соединений, так и в их основное ядро. Сюда надо отнести как различные гуматы одно-, двух- и трехвалентных металлов, так и комплексные соединения гумуса с Al, Fe, Mn, Si, P, S и целым рядом других соединений. Если образова-

ние гуматов и их свойства изучены относительно полно (16), то вопрос о наличии химической конституционной связи в молекуле тех или иных органических веществ почвы с остальными элементами минеральной части почвы до сих пор не получил еще сколько-нибудь достаточного освещения. Шмук (24), как известно, отрицал возможность конституционной связи гуминовой кислоты с элементами минеральной части почвы, делая исключение только для P и S, входящих, по его мнению, в состав протеинового ядра гумуса.

В последнее время проф. Тюрин (25) считает установленным наличие комплексных соединений  $Al^{+++}$  и  $Fe^{+++}$  с фульвокислотами.

Основной трудностью при решении этого вопроса является отсутствие сколько-нибудь разработанной методики по выделению этих органо-минеральных соединений из почвы, с одной стороны, и отсутствие единого взгляда на качественный состав и природу гумуса — с другой.

Вторым вопросом при выяснении форм связи гумуса с минеральной частью почвы является изучение коллоидно-химических реакций взаимодействия гумуса с минеральной частью почвы, т. е. изучение возможности и характера процессов закрепления гумусовых веществ минеральными коллоидами почвы.

Работы в этом направлении сводились главным образом к изучению взаимодействия золь гумусовых веществ с золями различных минеральных коллоидов. Одной из значительных работ в этой области является работа Аарнио (1), который экспериментально изучал возможность взаимной коагуляции гумуса с золями  $Fe(OH)_3$  и  $Al(OH)_3$ . Аарнио пришел к выводу, что взаимная коагуляция гумуса и коллоидного раствора  $Fe(OH)_3$  имеет место при относительно узком соотношении между ними, колеблющемся от 0.2 до 3 частей гумуса на 1 часть  $Fe_2O_3$ . Взаимная коагуляция гумуса и коллоидального раствора  $Al(OH)_3$  возможна при более широком отношении, а именно от 1 до 30 частей гумуса на 1 часть  $Al_2O_3$ .

Значительный интерес представляют работы Маттсона (8), получившего ряд комплексов гумуса с  $Al(OH)_3$  и  $Fe(OH)_3$  при различных значениях pH. Изучение электрокинетических свойств полученных осадков показало различие соотношения гумуса и  $R_2O_3$  в осадках в зависимости от реакции среды.

Все эти работы, базирующиеся исключительно на данных лабораторного эксперимента с искусственно приготовленными коллоидальными веществами, не дают, конечно, полного представления о реакциях взаимодействия образующегося в почве гумуса с коллоидальной частью минеральных веществ почвы, представленных, очевидно, главным образом сложными коагелями, подвергнувшимися уже частичной кристаллизации. Эти работы не дают также полного представления о состоянии гумуса в почве.

Возможность взаимодействия гумуса с глинистой фракцией почв в целом изучалась рядом авторов.

По данным Демолона и Барбье (5), взаимодействие гумуса с глиной приводит к образованию прочных соединений, однако характер связи в этих соединениях авторами не вскрыт. Интересные данные были получены Мейером (9) по искусственному приготовлению устой-

чивого комплекса глины типа монтмориллонита с гуминовой кислотой. Автором установлено закрепление значительной части гумуса этой глиной. Процесс закрепления носит адсорбционный характер, но сам механизм этого процесса автором не изучен.

Наиболее обстоятельные исследования о фактическом состоянии органических коллоидов в почве в последнее время были проведены проф. Тюлиным, который применил дробное их разделение.

Как известно, Тюлин различает две группы коллоидов: электроотрицательные гели, выделяемые из почвы путем ионной пептизации, и изоэлектрические гели, для выделения которых необходима диссолюционная пептизация.

Сущность ионной пептизации коллоидов электролитами необходимо очевидно представлять, в согласии со взглядами Оствальда (11), как образование адсорбционного слоя электролита на поверхности коллоидальных частиц. При этом молекулы электролита ориентируют свои полярные группы к воде, сообщая этим стабильность всей системе. При диссолюционной пептизации, по воззрениям Буцаха (4), происходит химическое взаимодействие между пептизатором и электронейтральной коллоидальной системой путем образования солей или комплексных соединений, которые и являются пептизатором. Возникающие таким образом соли адсорбируются на поверхности коллоидальных частиц, сообщая им заряд и обуславливая возможность дальнейшей пептизации системы.

Дальнейшее подразделение коллоидов в пределах каждой группы проводится проф. Тюлиным путем высаливания части коллоидов,  $KCl$  при  $pH$  8. Этим приемом, известным еще со времен Шлезинга (15), проф. Тюлин отделяет тонкодисперсные лиофильные коллоиды гумуса от более грубодисперсных минеральных коллоидов.

Применение такого метода дробной пептизации коллоидов дало возможность проф. Тюлину сделать ряд выводов о качественном составе коллоидов и состоянии органических веществ в почве. Основные положения автора сводятся, как известно, к следующему:

1. Почвенные коллоиды — как минеральные, так и органические — неоднородны по своим электрокинетическим свойствам и подразделяются на электроотрицательные гели (I группа гелей) и изоэлектрические осадки (II группа гелей) (19, 20). Реакции катионного обмена происходят только на поверхности электроотрицательных гелей, тогда как изоэлектрические гели не обладают заметной емкостью обмена при обработке их нейтральными солями.

2. Количество этих двух групп гелей в различных почвах различно. В черноземах преобладает I группа гелей, в красноземах и подзолистых почвах — II группа (22).

3. Различен и качественный состав выделяемых гелей. I группа гелей содержит почти весь фосфор и до 80% азота, находящихся в почве, и характеризуется значительно большей емкостью поглощения по сравнению со II группой (20).

Различие в емкости обмена объясняется различным химическим составом указанных групп. II группа коллоидов характеризуется повышенным содержанием полуторных окислов и гуминовых веществ, связанных с полуторо-окисями. Правда, по валовому составу не всегда

I группа содержит меньшее количество полуторных оксидов, чем II группа, но во II группе обычно концентрируются свободные полуторные оксиды, связывающие в качестве ацидоидов гуминовые вещества.

В отношении качественного состава органической части коллоидов конкретных выводов нет. В одной из первых работ (19) автором высказано предположение о том, что органическая часть I группы коллоидов представлена лигнино-протеиновым комплексом (гуминовой кислотой), тогда как во II группе органическое вещество носит лигнинный характер. В одной из последних работ (23) автор высказывает предположение о наличии в I группе коллоидов подзолистых почв фульвокислот.

4. Формы связи органических веществ с минеральной частью коллоидов представляются следующим образом: как в I, так и во II группах коллоидов чернозема часть органического вещества связана с минеральными частицами крайне прочно, образуя первый мономицеллярный слой органических коллоидов; эта связь осуществляется при помощи полуторных оксидов. В I группе коллоидов, кроме того, имеется органическое вещество, сравнительно слабо связанное с минеральной частью почвы и находящееся на более значительном расстоянии от поверхности минеральной частицы. Во II группе коллоидов органическое вещество связано прочно с минеральной частью, благодаря большему количеству полуторных оксидов в этих гелях (21). Механизм связи, на основании работ Сидери (14), объясняется различной плотностью упаковки минеральных частиц с органическими за счет адгезионных сил. Для II группы коллоидов характерна плотная гомогенная упаковка, для I — более рыхлая, негомогенная.

5. Плодородие почвы зависит от количества I группы гелей и рыхло связанного органического вещества в ней (21).

Таковы основные взгляды о количестве и качественном составе коллоидов, полученные проф. Тюлиным.

Каковы же экспериментальные данные, которыми подтверждаются эти основные выводы автора?

Наличие в почвах гелей, различных по своим электро-кинетическим свойствам, и их количественные соотношения подтверждаются автором данными, полученными при дробной пептизации коллоидов черноземной, подзолистой и красноземной почв (22).

Различие в качественном составе I и II групп гелей иллюстрируется, к сожалению, очень немногими цифрами.

Так, различие в емкости обмена на протяжении ряда работ иллюстрируется лишь на одном образце воронежского чернозема и одном образце подзола «Очаково», причем к сожалению, не указан метод определения и pH солевого раствора (22).

Что же касается различия в количествах фосфора и азота в различных группах гелей, то данные, приводимые проф. Тюлиным (22), не являются достаточно убедительными. Так, например, в черноземе I группа коллоидов содержит  $0.4\%$   $P_2O_5$ , II группа «а»<sup>1</sup> —  $0.017\%$ , а II группа «б»<sup>2</sup> —  $0.27\%$ .

<sup>1</sup> Очевидно пептизируемая только щелочью.

<sup>2</sup> Очевидно пептизируемая соляной кислотой и щелочью.

Для подзола количество  $P_2O_5$  соответственно равно 0.59%, 0.025% и 1.22%. Таким образом некоторая часть II группы также характеризуется высоким содержанием фосфора. Так же разноречивы, а в некоторых случаях и невероятны, данные для азота (22). В I группе гелей чернозема количество азота равно 0.44%, во II группе «б» — 0.37%, для подзола соответственно 0.39% и 0.99%, т. е. количество азота во II группе не меньше, а для подзолистой почвы даже больше, чем в I группе. Большое сомнение вызывают данные для II группы «а» черноземной почвы и I группы подзолистой почвы (22). Количество С в них 8.64% и 0.37%, а количество N соответственно 0.01% и 0.39%, т. е. в первом случае отношение C/N равно 864, а во втором — 0.95.

Данных для характеристики валового состава выделенных коллоидов также очень немного. Для иллюстрации приводим количество  $SiO_2$ ,  $R_2O_3$  и гумуса в выделенных коллоидах (22) (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1

Исследуемый материал		$SiO_2$	$R_2O_3$	Гумус в %	Сумма	Молек. соотно- шения
Чернозем	I группа . . . . .	43.6	26.1	12.2	81.9	3.6
	II " "а" . . . . .	39.8	25.0	14.8	79.6	3.5
Подзол	I группа . . . . .	52.3	37.9	0.6	90.8	2.8
	II " "а" . . . . .	30.2	32.8	7.7	70.7	2.0

Как видно из этих данных, для черноземных почв никакой разницы в валовом количестве полуторных окислов нет. Эта разница имеет место в подзолистой почве, где соотношение  $SiO_2/R_2O_3$  во II группе равно 2, но здесь сумма  $SiO_2$ ,  $R_2O_3$  и гумуса составляет только 71%, и трудно представить, что же включают в себя остальные 29% этой фракции. Только в одной из последних работ (23) для характеристики коллоидов, выделенных из краснозема, приведены данные  $R_2O_3$ , действительно резко отличающиеся по своему количеству в I и II группах коллоидов. К сожалению, полных валовых анализов нет и в этом случае.

Наличие свободных полуторных окислов во II группе гелей проф. Тюлин экспериментально обосновывает в одной из своих работ (22) растворимостью последних в реактиве Тамма. Однако эти данные, полученные для одного образца чернозема и одного образца подзола, не подтверждают наличия свободных полуторных окислов, так как соотношение  $SiO_2/R_2O_3$  извлекаемых реактивом Тамма во II группе шире, чем в I.<sup>1</sup> В черноземе для I группы это соотношение 0.38, для II — 0.63; для подзолистой почвы соответственно 0.68 и 0.82.

Дальнейшие доказательства о наличии свободных полуторных окислов носят уже косвенный характер и основаны или на повышен-

<sup>1</sup> Нами вычислено процентное соотношение  $SiO_2/R_2O_3$ , так как данные для  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$  автором не приведены.

ном содержании органического вещества во II группе коллоидов (23), что является вполне закономерным, так как эта группа извлекается щелочью, или на уменьшении выхода II группы коллоидов за счет увеличения коллоидов I группы после обработки почвы реактивом Тамма. Наиболее убедительные данные получены для красноземов, где возможно наличие свободных полуторных окислов. Однако и этот пример свидетельствует скорее лишь о некоторой активизации части коллоидов реактивом Тамма, извлекаемых затем при ионной пептизации. Что же касается предположений о формах связи органической и минеральной частей коллоидов, то пока что все предположения носят в значительной мере только умозрительный характер и иллюстрируются главным образом схематическими условными рисунками вероятного, с точки зрения автора, распределения полуторных окислов и гумуса на поверхности коллоидальных частиц (23).

Таким образом в работах Тюлина мы не находим достаточно полного изучения химического состава выделенных им групп коллоидов, а потому значительная часть положений автора носит пока лишь предположительный характер и нуждается в экспериментальной проверке.

Предложенная проф. Тюлиным методика дробной пептизации коллоидов представляет безусловный интерес, как одна из попыток изучения форм связи гумуса с минеральной частью почвы. Ценность этого метода заключается главным образом в том, что, применяя относительно «мягкие» приемы воздействия на коллоидальную часть почвы, можно получить относительно правильное представление как о состоянии коллоидальной части почвы в целом, так и о ее органической фракции.

Поэтому, начиная работу по изучению форм связи гумуса с минеральной частью почвы, мы поставили своей задачей на первом этапе этой работы дать характеристику коллоидальной части почв, выделенных методом дробной пептизации.

#### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА РАБОТЫ

Работа проводилась с образцами почв трех основных типов почвообразования: степного, подзолистого и пустынно-степного. Объектами исследования являлись: 1) верхний горизонт (0—20) выщелоченного суглинистого чернозема Анучинской с.-х. опытной станции из-под разнотравнозлаковых ассоциаций; 2) легко суглинистая светлокаштановая почва из окрестностей Сталинграда, занятая польноптипчаковыми ассоциациями, и 3) средне-подзолистая суглинистая почва Московской области из-под елового леса. Все образцы были собраны с целинных участков.

Методика выделения коллоидальной части почвы в соответствии с методом, предложенным проф. Тюлиным, сводилась к исчерпывающему выделению коллоидов, пептизируемых нейтральным раствором NaCl, и последующей пептизации остатка вначале при помощи 0.004 н. NaOH, а затем — 0.05 н. HCl и 0.05 н. NaOH. Для отделения наиболее подвижной органической части применялось высаливание минеральных коллоидов KCl, причем для разделения I группы

мы применяли КСІ без дополнительного подщелачивания раствора, так как считали целесообразным проводить это разделение при нейтральной реакции. Лишь в дальнейшем из полученных осадков органическое вещество извлекалось раствором слабой щелочи (0.002 н.), причем рН раствора не превышал 8.5. Осаждение части коллоидов, не высаливающихся с КСІ, проводилось  $\text{CaCl}_2$ .

Таким образом были получены три группы коллоидов:

I группа — извлекаемая  $\text{NaCl}$ , причем рН суспензии колебался от рН 6.0 в первых порциях до рН 7.0—7.2 в последних.

II группа — извлекаемая 0.004 н.  $\text{NaOH}$  (рН суспензии в первых порциях 6.8—6.9 и в последних 7.5—8.5).

III группа — извлекаемая 0.05 н.  $\text{NaOH}$  после предварительной 8-кратной обработки 0.05 н.  $\text{HCl}$  до полного выделения  $\text{R}_2\text{O}_3$ , извлекаемых при этой обработке (рН суспензии около 8 в первых порциях и резко щелочной в последних).

Каждая из этих групп подразделялась на фракцию, осаждаемую  $\text{CaCl}_2$  и обозначенную в дальнейшем буквой о. (органическая), и фракцию, осаждаемую КСІ, обозначенную буквами о.м. (органоминеральная). При разделении III группы коллоидов вместо  $\text{CaCl}_2$  употреблялась  $\text{HCl}$ . Все полученные фракции были очищены электродиализом и высушены до постоянного веса в вакууме при  $70^\circ\text{C}$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Количество выделенных коллоидов представлено в табл. 2, где в числителе даны абсолютные количества коллоидов в процентах к абсолютно сухой почве, а в знаменателе — их относительное распределение по фракциям.

ТАБЛИЦА 2

Почва	I группа		II группа		III группа		Суммы выдел. коллоид.
	о.	о.м.	о.	о.м.	о.	о.м.	
Чернозем . . . . .	2.93	20.9	2.47	3.82	1.29	7.53	38.94
	7.5	53.7	6.4	9.8	3.3	19.3	100.0
	0.60	21.37	0.16	2.04	0.08	1.60	25.85
Каштановая . . . . .	2.3	82.8	0.6	7.8	0.3	6.2	100.0
	0.12	5.70	0.23	2.30	0.08	0.84	9.27
	1.3	61.2	2.5	25.1	0.9	9.0	100.0
Подзолистая . . . . .							

Как видно из приведенных данных, главная масса коллоидов во всех исследованных почвах представлена I группой, т. е. электроотрицательными коллоидами, пептизируемыми  $\text{NaCl}$ . Особенно ярко это выражено в каштановой почве, где электроотрицательные коллоиды составляют 85% всех выделенных коллоидов. Обращает на себя внимание неравномерное распределение коллоидов черноземной и подзолистой почв во II и III группах. Если в черноземе главная

часть изоэлектрических гелей выделяется после предварительной обработки почв HCl, то в подзолистой почве мы имеем обратную картину, и значительная часть изоэлектрических осадков выделяется без предварительной обработки. Причина этого явления для нас не вполне ясна и вероятно связана с характером взаимодействия гумуса с минеральной частью почвы, с одной стороны, и степенью кристаллизации изоэлектрических осадков и их возрастом, с другой стороны.

Переходя к рассмотрению данных, характеризующих разделение каждой группы на фракции высаливанием KCl, нужно отметить, что главная масса коллоидов относится к группе, осаждаемой KCl, и, таким образом, роль органических коллоидов как пептизаторов невелика. Особенно резко это выражено в каштановой и подзолистых почвах, содержащих небольшое количество гумуса, главная масса которого очевидно тесно связана с минеральными коллоидами почвы.

Дополнительная обработка I группы органо-минеральной фракции 0.002 н. NaOH повышает в каштановой и подзолистой почвах выход органической фракции только на 1—1.5%. Несколько иные данные получены для чернозема, где обработка 0.002 н. NaOH повышает количество органической фракции на 10.5%. Но все же и в этом случае 43% всех выделенных коллоидов осаждаются KCl.

Переходя к качественной характеристике выделенных коллоидов, остановимся на данных табл. 3, иллюстрирующей валовой состав коллоидальных фракций, осаждаемых KCl. Все фракции были подвергнуты предварительной обработке их 0.01 н. HCl и исчерпывающему электродиализу для удаления адсорбированного K.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что заметной разницы в химическом составе минеральной части выделенных коллоидов нет. Исключение представляет II группа коллоидов подзолистой почвы, где заметно относительное обогащение этой фракции  $Al_2O_3$ . Во всех остальных случаях молекулярное отношение  $SiO_2/R_2O_3$  колеблется от 2.3 до 2.9. III группа коллоидов в черноземе и каштановой почве является даже несколько обогащенной  $SiO_2$ , что обязано очевидно способу выделения этой группы. Предварительная обработка HCl выщелачивает, как показали наши исследования, относительно большее количество  $R_2O_3$ , чем  $SiO_2$ ; <sup>1</sup> последняя очевидно и извлекается при последующей пептизации щелочью. Во всяком случае приведенные данные свидетельствуют о том, что относительное распределение  $R_2O_3$  и  $SiO_2$  во всех группах не отличается в сколько-нибудь заметной степени. В соотношении между  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$  намечается относительное увеличение последнего в III группе коллоидов. Это повышенное содержание  $Fe_2O_3$  по сравнению с  $Al_2O_3$  нельзя отнести за счет большего вымывания  $Al_2O_3$  при предварительной обработке HCl, так как в солянокислом фильтрате отношение  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  еще меньше и колеблется в пределах 1.85—2.14. На основании данных химического анализа сказать что-либо определенное о минералогическом составе этих фракций нельзя, так как для этого необхо-

<sup>1</sup> Молекулярное отношение  $SiO_2/R_2O_3$  в солянокислом фильтрате колебалось от 1.2 до 1.5.

ТАБЛИЦА 3  
Валовой состав органо-минеральных фракций выделенных коллоидов

Наименование почвы и группы коллоидов	Гумус в %	Химич. связ. Н <sub>2</sub> O в %	На минеральную часть в %					Молекул. соотношение		
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Чернозем:</b>										
I группа, о.-м. . . . .	19.52	6.98	54.30	28.97	12.56	Нет	2.90	2.51	3.19	3.61
II " " . . . . .	28.10	4.60	52.66	27.67	14.41	"	2.52	2.44	3.24	2.99
III " " . . . . .	15.14	5.66	57.51	25.41	13.67	"	2.68	2.86	2.84	2.94
<b>Каштановая:</b>										
I группа, о.-м. . . . .	6.48	8.44	53.36	28.67	13.46	"	2.38	2.42	3.15	3.34
II " " . . . . .	12.07	5.73	51.97	31.36	12.20	"	2.26	2.26	2.82	4.00
III " " . . . . .	12.68	3.92	55.19	26.84	14.44	"	2.64	2.60	3.48	2.93
<b>Подзолистая:</b>										
I группа, о.-м. . . . .	6.68	8.32	52.65	29.84	11.64	"	1.86	2.40	3.00	4.00
II " " . . . . .	12.92	8.08	48.65	32.21	12.30	"	1.69	2.06	2.56	4.11
III " " . . . . .	13.22	6.58	52.14	26.67	15.67	"	2.96	2.42	3.32	2.67

дим рентгеноскопический анализ. Можно лишь отметить на основании молекулярных соотношений  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , что выделенные фракции относятся к группе глинных минералов и, в частности, очевидно представлены главным образом минералами типа каолинита, бейделлита и отчасти монтмориллонита. Вопрос о формах соединений  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в группе глинных минералов, как известно, до сих пор не представляется ясным (7).

Количество гумуса в отдельных группах выделенных коллоидов различно. Наибольшее количество его, в соответствии с данными проф. Тюлина, содержится во фракциях, пептизируемых щелочью (II и III группы). Исключение представляет I группа коллоидов чернозема, выделенная нами при нейтральной реакции. При дополнительном подщелачивании количество гумуса в I группе коллоидов чернозема падает до 4.18%, а в каштановой и подзолистой почвах соответственно до 4.05% и 4.70%. Подробнее на этих данных мы остановимся при характеристике органической части выделенных коллоидов.

Сделать какие-либо заключения о влиянии органического вещества на химический состав выделенных коллоидов не представляется возможным, так как для этого необходимо иметь химический состав этих же групп коллоидов в соответствующих почвообразующих породах. Эти данные еще не получены нами полностью и находятся в обработке. Можно указать только, что по данным Роде (12) химический состав коллоидов ленточных глин характеризуется отношением  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ , равным 2.47—2.69, и соотношением  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$  соответственно 3.29—3.44 и 2.66—3.78.

Заканчивая рассмотрение химического состава выделенных фракций, необходимо отметить различное количество химически связанной воды в полученных фракциях. II и III группы коллоидов характеризуются пониженным содержанием химически связанной воды. Это обстоятельство представляется с нашей точки зрения существенным и свидетельствует о меньшей обводненности коллоидов, непептизируемых нейтральными электролитами. В табл. 4 приведены данные, характеризующие емкость обмена выделенных коллоидов. Емкость обмена определялась буферными растворами при  $\text{pH} = 4.6$  и  $8.0$ .

Как видно из приведенных данных, величина емкости обмена в коллоидах исследованных почв различна, что обусловлено прежде всего различным содержанием органического вещества в выделенных фракциях. При  $\text{pH} = 4.6$  в пределах каждого типа почвообразования емкость в I группе является наибольшей, а емкость обмена в III группе наименьшей. Определение емкости обмена при  $\text{pH} = 8$  свидетельствует о значительном увеличении последней в коллоидах, пептизируемых щелочью после предварительной обработки  $\text{HCl}$ . Если вычислить величину емкости обмена при  $\text{pH} = 8$  органической части выделенных фракций<sup>1</sup>, получаем интересный ряд цифр, сви-

<sup>1</sup> Величину емкости обмена органической части в данных фракциях мы вычисляли, исходя из содержания С в них и величины емкости обмена гумусовых веществ III группы коллоидов, полученных нами без значительных примесей минеральной части (зольность около 5%). Данный расчет носит, конечно, очень условный характер но вероятно может только преувеличить роль гумусовых веществ

ТАБЛИЦА 4

Емкость обмена выделенных коллоидов в м-экв. на 100 г

Наименование почвы и фракции	Емкость обмена при		Емкость обмена при pH = 8	
	pH = 4.6	pH = 8	на гумус	на мине- ральную часть
Чернозем:				
I группа, о.-м. . . . .	63.4	164.5	117.0	47.5
II " " . . . . .	67.3	224.2	169.0	55.2
III " " . . . . .	59.6	234.2	91.3	132.9
Каштановая:				
I группа, о.-м. . . . .	56.1	92.3	38.4	53.9
II " " . . . . .	45.8	112.4	72.6	39.8
III " " . . . . .	50.0	223.0	72.6	150.4
Подзолистая:				
I группа, о.-м. . . . .	42.5	74.5	40.4	34.1
II " " . . . . .	40.2	120.7	77.8	42.9
III " " . . . . .	37.7	218.5	79.8	138.7

детельствующих о том, что предварительная обработка почвы 0.05 н. HCl при последующей пептизации ее щелочью ведет к резкой активизации минеральной части коллоидов в обменных реакциях.

Переходя к рассмотрению валового состава коллоидов, осаждаемых CaCl<sub>2</sub>, остановимся вначале на данных табл. 5, иллюстрирующей валовой состав I и II групп коллоидов.

Прежде всего необходимо отметить, что выделенные коллоиды характеризуются очень большим содержанием минеральных веществ, достигающим в I группе коллоидов черноземной и подзолистой почв 65% и 66.5%, в подзолистой почве 79%. Во II группе коллоидов количество минеральных веществ несколько меньше, но все же составляет 42.5% в черноземе, 52.5% в каштановой почве и 65.6% в подзолистой почве. Уже эти данные свидетельствуют о том, что отделение гумусовых веществ от минеральных при помощи KCl как при нейтральной реакции (I группа), так и при щелочной реакции (II группа) не достигает цели, так как значительная часть минеральных коллоидов, пептизируемая органическим веществом, не осаждается KCl.

Только предварительная обработка материала кислотой (HCl или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) дает возможность выделить органическую часть коллоидов в чистом виде. Необходимо отметить, что и по внешнему виду часть

данных фракций в емкости обмена, где быть может, благодаря взаимосвязи с минеральной частью коллоидов, гумусовые вещества не проявляют своей максимальной емкости обмена. В этом случае вычисленные нами данные для емкости обмена минеральной части будут еще выше.

ТАБЛИЦА 5  
Валовой состав органических фракций выделенных коллоидов

Наименование почвы и фракции	Гумус в %	Химич. связ. H <sub>2</sub> O в %	На минеральную часть в %					Молекул. соотношения		
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Чернозем:										
I группа, о. . . . .	29.19	5.65	52.51	25.71	15.89	Нет	1.16	3.47	2.54	
II " " . . . . .	51.84	5.62	50.91	27.24	16.59	"	1.06	3.17	2.56	
Каштановая:										
I группа, о. . . . .	30.93	2.57	47.70	22.28	23.29	"	1.26	3.17	1.49	
II " " . . . . .	41.57	5.91	46.59	23.80	25.59	"	1.54	3.33	1.45	
Подзолистая:										
I группа, о. . . . .	11.21	9.58	51.61	19.87	24.92	"	1.66	4.41	1.10	
II " " . . . . .	28.98	5.38	47.10	20.94	28.43	"	1.54	2.04	1.15	

коллоидов I группы, не осаждаемая KCl, представляла собою неоднородную суспензию с видимыми взвешенными темноокрашенными частичками. При фильтрации этой суспензии через свечу Шамберлана, в фильтрат переходила прозрачная жидкость желтого цвета, органическое вещество которой почти не осаждалось CaCl<sub>2</sub> или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. II группа коллоидов во фракции, осаждаемой CaCl<sub>2</sub>, также не представляла однородного раствора и только при фильтровании через пористый фильтр понижала зольность до 30%. В составе золы в этом случае относительно увеличивается количество R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> за счет уменьшения содержания SiO<sub>2</sub>. Возвращаясь к характеристике валового состава выделенных фракций, видим, что как I, так и II группы коллоидов чернозема, несмотря на большое содержание органического вещества в них, не отличаются по валовому составу минеральной части от аналогичных групп коллоидов, осаждаемых KCl. Можно отметить лишь относительное увеличение роли Fe в составе R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Коллоиды каштановой почвы характеризуются резко повышенным содержанием Fe и узким отношением SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В подзоли-

стой почве также повышено содержание Fe, причем во II группе заметно снижено содержание SiO<sub>2</sub> за счет Fe.

Делать какие-либо выводы о химическом составе выделенных коллоидов на основании этих данных не представляется с нашей точки зрения возможным, так как очевидно, что эти фракции представляют собою неоднородную смесь грубодисперсных минеральных коллоидов и высокопептизированных органических веществ.

Емкость обмена у этих фракций высока и обуславливается в основном количеством органического вещества.

ТАБЛИЦА 6

Емкость обмена выделенных коллоидов в м-экв. на 100 г

Наименование почвы и фракции	Емкость обмена при	
	pH = 4.6	pH = 8
Чернозем:		
I группа, о. ....	112.8	189.0
II " " .....	199.7	364.5
Каштановая:		
I группа, о. ....	111.4	225.3
II " " .....	162.0	297.2
Подзолистая:		
I группа, о. ....	47.4	83.1
II " " .....	71.2	123.1

Органическая фракция III группы коллоидов, выделенная после предварительной обработки почвы HCl, представляет собою почти чистую гуминовую кислоту с небольшой зольностью и резко отличается по химическому составу своей минеральной части от I и II групп. Об этих данных мы скажем несколько позднее. Переходя теперь к характеристике гумусовых веществ в выделенных фракциях, остановимся прежде всего на абсолютном и относительном распределении C и N в выделенных фракциях (табл. 7 и 8). В числителе дано абсолютное содержание C и N в выделенных фракциях, в знаменателе — относительное распределение их по фракциям.

Количество C в выделенных фракциях различно. Почти чистой гуминовой кислотой представлена III группа органической фракции, значительные количества C содержит II группа органической фракции. Азот распределен в общем параллельно количеству углерода по всем фракциям.

Главная масса органического вещества находится в тесной взаимосвязи с коллоидальной частью почвы, выделяясь вместе с последней. Интересно отметить, что количество C в остатке почвы после выделения из нее коллоидов, выраженное в процентах к его перво-

ТАБЛИЦА 7  
Количество С в проц. к выделенным фракциям

Наименование почвы	В исходн. почве		I группа		II группа		III группа		В остатке	Всего С (сумма)	Разность
	о.	о.-м.	о.	о.-м.	о.	о.-м.	о.	о.-м.			
Чернозем . . . . .	8.49	16.93	11.30	16.27	30.07	16.27	55.23	8.78	2.22	82.0	1.53
	100.0	5.9	27.8	7.3	8.8	7.3	8.4	7.8	16.0	18.0	18.0
	2.38	17.94	3.74	6.99	24.11	6.99	55.24	7.01	1.02	0.38	0.38
Каштановая . . . . .	100.0	4.5	33.6	6.0	1.7	6.0	1.8	4.7	31.9	84.2	15.8
	1.67	6.50	3.87	7.48	16.81	7.48	49.00	7.67	0.50	0.68	0.68
Подзолистая . . . . .	100.0	-0.5	13.0	10.2	2.3	10.2	2.3	3.8	27.1	59.2	40.8

ТАБЛИЦА 8  
Количество N в проц. к выделенным фракциям

Наименование почвы	В исходн. почве		I группа		II группа		III группа		В остатке	Всего N (сумма)	Разность
	о.	о.-м.	о.	о.-м.	о.	о.-м.	о.	о.-м.			
Чернозем . . . . .	0.68	0.96	0.86	1.17	1.62	1.17	4.73	0.67	0.14	69.5	0.21
	100.0	4.10	26.4	6.6	5.9	6.6	9.0	7.4	10.1	30.5	30.5
	0.19	0.94	0.29	0.65	1.54	0.65	4.89	0.48	0.07	0.05	0.05
Каштановая . . . . .	100.0	3.0	32.6	7.0	1.3	7.0	2.1	4.0	21.4	71.4	28.6
	0.10	0.55	0.40	0.77	1.37	0.77	4.64	0.60	0.92	0.04	0.04
Подзолистая . . . . .	100.0	0.70	22.8	17.7	3.1	17.7	3.7	5.0	17.1	60.1	39.9

начальному содержанию, в разных почвах различно. В черноземе оно составляет 16% от исходного количества углерода, а в каштановой и подзолистой почвах 31.9% и 27.1%.

Прямой зависимости между количеством С в остатке и количеством выделенных коллоидов нет, и поэтому вполне вероятным будет предположение о том, что в различных почвах характер взаимосвязи гумуса с минеральной частью почвы различен. Если в черноземе главная масса гумуса связана с коллоидальной частью почвы, то в каштановой и подзолистой почвах значительная часть его закреплена с более крупными фракциями. Аналогично и распределение N между коллоидальной и неколлоидальной частями почвы. Нужно отметить только, что относительный процент N в остатках почвы ниже, чем С, что свидетельствует о большем содержании N в органическом веществе коллоидальной части почвы. Особенно резкая разница в относительном содержании С и N заметна в остатке подзолистой почвы. Распределение органического вещества в различных фракциях выделенных коллоидов в общем аналогично общему распределению коллоидов в почвах. В черноземах около половины всего гумуса, ассоциированного с коллоидальной частью, сосредоточено в I группе коллоидов. В каштановой почве эта величина поднимается до 70%, а в подзолистой почве составляет 41%. Таким образом относительная подвижность органического вещества коллоидальной части подзолистой почвы является наименьшей, так как более половины его связано в группе изоэлектрических осадков. Переносить этот вывод на все органическое вещество подзолистой почвы нельзя. В последней графе таблиц нами приводятся данные о количествах С и N, не учитываемых в коллоидальных фракциях и остатках почв. Выделение коллоидов производилось нами количественно, причем сумма выделенных коллоидов и остатка почвы составляла в черноземе 97%, а в каштановой и подзолистой почвах около 99%.

Потери же С и N составляют, как видно из приведенных данных, значительную величину, причем в различных почвах она очень различна. В черноземе и каштановой почве количество не учитываемого С данным методом составляет 18% и 16%, а в подзолистой поднимается до 41%. Для N потери еще больше и составляют в среднем около 30%. Эти данные свидетельствуют таким образом о том, что часть органического вещества представлена очень подвижной фракцией, причем для подзолистой почвы эта часть составляет почти половину всех запасов гумуса. Эта часть органического вещества в соответствии с последними работами Тюрина (25) должна представлять собою фульвокислоты, которые безусловно после извлечения органического вещества щелочью в значительной части не будут осаждаться  $KCl$  и  $CaCl_2$ .

Соотношение между С коллоидальной фракции и С фульвокислот дано в табл. 9 (в % С на 100 г исходной почвы).

Количество фульвокислот, полученное нами по разности, является преуменьшенным, так как часть фульвокислот входит в состав I группы коллоидов и при пептизации коллоидов не переходит в раствор. Но уже и эти данные свидетельствуют о различном характере гумуса в различных почвах. Если в черноземе главная масса гумуса коллоид-

ТАБЛИЦА 9

Наименование почвы	I группа	II группа	III группа	Сумма всех коллоид.	Фульво- кисл.
Чернозем . . . . .	2.86	1.37	1.38	5.61	1.53
Каштановая . . . . .	0.90	0.18	1.23	1.23	0.37
Подзолистая . . . . .	0.22	0.20	0.52	0.52	0.68

дальней части почв представлена гуминовыми веществами, то в подзолистой почве большая половина всего органического вещества относится к группе фульвокислот.

В табл. 10 приведены данные, иллюстрирующие отношение С к N в выделенных фракциях, фульвокислотах<sup>1</sup> и остатке почвы.

ТАБЛИЦА 10

Наименование почвы	В исходн. почве	I группа		II группа		III группа		Остаток	Фульво- кислоты
		о.	о.-м.	о.	о.-м.	о.	о.-м.		
Чернозем . . . . .	12.5	17.6	13.1	18.5	13.8	14.7	17.1	15.8	7.3
Каштановая . . . . .	12.5	19.1	12.9	15.6	10.7	14.3	14.5	14.6	7.6
Подзолистая . . . . .	16.7	11.8	9.7	12.3	9.6	12.6	12.8	25.0	17.0

Прежде всего необходимо отметить более узкое отношение С к N для I и II групп коллоидов в фракциях, осаждаемых KCl, по сравнению с фракциями, осаждаемыми CaCl<sub>2</sub>, что обязано очевидно неполному отделению фульвокислот в этих условиях. В черноземе и каштановой почве отношение С к N в коллоидальных фракциях больше, чем в исходных почвах, что свидетельствует очевидно о том, что главная масса органического вещества коллоидов представлена гуминовыми веществами. В подзолистой почве мы видим обратную картину, благодаря большему количеству фульвокислот в составе гумуса коллоидальной части подзолистой почвы. Органическое вещество неколлоидальной части чернозема и каштановой почвы характеризуется отношением С к N, близким к таковому в гуминовых кислотах. В остатке подзолистой почвы отношение С к N очень широкое, что свидетельствует очевидно о наличии здесь не вполне гумифицированных остатков. В последней графе табл. 10 приведено отношение С к N в фульвокислотах. Для чернозема и каштановой почвы оно равно 7, что свидетельствует об относительном богатстве N этой фракции органического вещества. Более узкое, чем в гуминовых веще-

<sup>1</sup> Точнее, отношение С к N, неучтенных данным методом.

ствах, отношение С к N для фульвокислот было получено проф. Тюриным (25). В подзолистой почве отношение С к N в фракции фульвокислот равно 17. Вероятно в подзолистых почвах эта фракция содержит значительное количество безазотистых промежуточных продуктов гумификации.

В заключение приводим некоторые данные по характеристике органического вещества I и III групп выделенных коллоидов.

ТАБЛИЦА 11

Состав гумуса, извлекаемого 0.002 н. NaOH из первой группы коллоидов

Наименование почвы	Колич. гумуса в % к исходн.	В % к 1 г коллоид.		В гумин. кисл.			В фульвокисл.		
		Гумин. кисл.	Фульво-кисл.	С	N	С:N	С	N	С:N
Чернозем . . . . .	78.6	13.48	3.22 <sup>1</sup>	57.56	3.50	16.4	44.3 <sup>2</sup>	6.2	7.1
Каштановая . . . . .	37.5	2.04	1.00	56.34	3.41	16.5	44.9	6.1	7.3
Подзолистая . . . . .	29.7	0.70	1.77	52.09	3.80	13.7	45.9	4.1	11.1

В табл. 11 приведены некоторые данные о количестве и составе гумуса, выделенного при слабо щелочной обработке из I группы коллоидов, осажденных KCl. Полученный щелочной раствор профильтрован через свечу Шамберлана.

Прежде всего необходимо отметить, что прочность связи органического вещества в I группе коллоидов в различных почвах различна. Если в черноземе главная масса гумуса связана с минеральной частью коллоидов слабо и извлекается 0.002 н. NaOH, то в каштановой и в подзолистой почвах значительная часть органических веществ закреплена прочнее. Часть гумуса, выделенная 0.002 н. NaOH, по своему составу также различна в исследованных почвах. В черноземе главная масса извлекаемых гумусовых веществ представлена гуминовой кислотой, и лишь 20% представлены фракцией фульвокислот. В каштановой почве количество фульвокислот увеличивается до 33% от всех выделенных гумусовых веществ. В подзолистой почве фульвокислоты составляют главную массу гумуса I группы коллоидов.

По элементарному составу гуминовые кислоты чернозема и каштановой почвы очень близки между собою. Несколько пониженные данные для С связаны вероятно с большой зольностью выделенных фракций. В подзолистой почве количество С в гуминовой кислоте понижено и равно 52.1%. Аналогичные данные были получены Ти-

<sup>1</sup> Количество фульвокислот вычислено на основании определения С в этой фракции.

<sup>2</sup> Количество С определено по разности между количествами С в щелочном фильтрате и осадке гуминовой кислоты.

щенко и Рыдалевской (17), которые пониженное содержание С в гуминовой кислоте подзолистой почвы объясняли за счет их большей обводненности. Гуминовые кислоты подзолистых почв являются химически более молодыми. В фульвокислотах количество С составляет 44—46%, а количество N 4—6%. Эти данные подтверждают элементарный состав фульвокислот из чернозема и подзолистой почвы, полученный проф. И. В. Тюриным (25). Отношение С к N для чернозема и каштановой почвы равно 7 и резко отличается, таким образом, от соотношения С к N в гуминовой кислоте. В подзолистой почве отношение С к N в фульвокислотах и гуминовой кислоте сближается, составляя соответственно 11.1 и 13.7.

Характеризуясь средними для гуминовых кислот данными по количеству С и N, полученная нами фракция гуминовой кислоты имеет значительную зольность, несмотря на применение пористого глиняного фильтра для ее очистки (табл. 12).

ТАБЛИЦА 12  
Анализ золы

Наименование почвы	Зола в %	В % к золе			Молекул. соотношение		
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Чернозем . . . . .	30.75	41.4	38.30	16.3	1.47	1.87	3.7
Каштановая . . . . .	13.65	35.21	42.17	19.62	1.09	1.42	3.4
Подзолистая . . . . .	37.39	36.43	24.01	32.84	1.38	2.58	1.14

В соответствии с высоким содержанием золы, последняя содержит значительные количества SiO<sub>2</sub>. Молекулярное отношение SiO<sub>2</sub> к R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> везде больше 1 и приближается в черноземе и подзолистой почве к 1.5. Наблюдаемая нами неоднократно координация больших количеств SiO<sub>2</sub> в золе с высокой зольностью дает возможность сделать предположение о том, что гуминовая кислота связана химически главным образом с полуторными окислами, в то время как значительная часть SiO<sub>2</sub> в золе гуминовой кислоты является только пептизируемым большими количествами гумуса при щелочной реакции аморфным или тонкокристаллическим кремнеземом.

Действительно, состав золы III группы органических коллоидов, представленных гуминовой кислотой с небольшим содержанием золы, свидетельствует об узком молекулярном отношении SiO<sub>2</sub> к R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (табл. 13).

Как видно из приведенных данных, молекулярное отношение SiO<sub>2</sub> к R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в этом случае не превышает 0.5, а отношение SiO<sub>2</sub> к Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.7. Отношение Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> к Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не изменяется сколько-нибудь заметно по сравнению с данными для более зольных препаратов гуминовых кислот и валового состава минеральной части коллоидов (табл. 3). Аналогичные молекулярные отношения были получены проф. Тюри-

ТАБЛИЦА 13.

Анализ золы гуминовой кислоты (III группа, о.)

Наименование почвы	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Молекул. соотношения			100 г гумин. кисл. связывают в г		
				SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <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>
				R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
Чернозем . . . . .	19.05	48.97	28.70	0.48	0.66	2.66	1.1	2.9	1.7
Каштановая . . . . .	22.01	51.93	26.17	0.54	0.72	3.10	1.3	3.2	1.6
Подзолистая . . . . .	8.25	47.13	40.87	0.19	0.30	1.80	0.5	2.9	2.4

ным<sup>1</sup> при изучении состава золы гумуса. Для черноземной почвы, по его данным, в золе гумуса молекулярное отношение SiO<sub>2</sub> к R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляло 0.59; SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.72; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.2. Абсолютные количества SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, связанные с гуминовой кислотой, невелики и не превышают 1—0,5% для SiO<sub>2</sub>, 2.9—3.2% для Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 1.6—2.4% для Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. К сожалению, в литературе почти отсутствуют данные о количествах SiO<sub>2</sub> и R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые могут быть связаны химически с гуминовой кислотой. Можно указать лишь на работы Шпренгеля (16), который для нейтрального гумата железа давал величину, равную 13.4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а для гумата алюминия — 8.9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. По данным Оден-Свена (10), нейтральный гумат железа содержал 19,2% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Родзянко (13) получила алюминиевое производное гуминовой кислоты путем обработки гуминовой кислоты чернозема раствором AlCl<sub>3</sub>, в котором при максимальном насыщении гуминовая кислота поглощала 16.42% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Кремниевое производное содержало 18.01% SiO<sub>2</sub>. Характер связи гуминовой кислоты с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub> автором экспериментально не изучался. Кроме того, в работах Шпренгеля и Родзянко адсорбционные процессы очевидно не учитывались достаточно четко.

Можно отметить только, на основании этих данных, что полученные нами количества SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, связанные с гуминовой кислотой, значительно ниже полученных указанными выше исследователями.

Органическая часть III группы коллоидов, осаждаемых CaCl<sub>2</sub>, представляет собою, как отмечалось уже выше, довольно чистую гуминовую кислоту с типичными для нее показателями.

Емкость обмена при pH = 8 колебалась около 600 м-экв., и следовательно эквивалентный вес полученных гуминовых кислот равен 166—167, что при молекулярном весе, равным 1400, дает 8 периферических групп, участвующих в катионном обмене при данном pH. Аналогичные данные были получены в работе Рыдалевской и Тищенко (18), печатаемой в этом сборнике.

<sup>1</sup> Доклад проф. Т ю р и н а о зольном составе гумуса на заседании Почвенной комиссии Всесоюзного Географического общества.

ТАБЛИЦА 14

Таблица С, N и емкость поглощения гуминовой кислоты (III группа, о.)

Наименование почвы	Зола в %	В % к беззольной части гумин. кисл.			Части кисл.		Эквив. вес при рН = 8	Число групп
		С	N	С:N	Емкость обмена при			
					рН = 4.6	рН = 8		
Чернозем . . . . .	5.60	58.49	5.98	14.7	260.5	602.5	165.9	8
Каштановая . . . . .	5.86	58.66	4.19	14.3	247.2	563.9	177.3	8
Подзолистая . . . . .	5.86	52.04	4.12	12.6	251.4	574.5	174.1	8

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе изучался химический состав минеральной и органической частей коллоидов, выделенных методом дробной пептизации, предложенным проф. Тюлиным. Был изучен состав коллоидальной части чернозема, каштановой и подзолистой почв. Установлено, что во всех исследованных почвах главная масса коллоидов представлена электроотрицательными гелями. В черноземе 61.2%, в каштановой почве — 85.1%, в подзолистой почве 62.5% всех коллоидов относится к группе электроотрицательных осадков. Устойчивость изоэлектрических осадков в различных почвах различна. В подзолистой почве значительная часть изоэлектрических коллоидов пептизируется щелочью, в то время как в черноземе бóльшая часть их выделяется после предварительной обработки слабой кислотой. По химическому составу минеральной части как электроотрицательные, так и изоэлектрические коллоиды не отличаются сколь угодно заметно. Молекулярное отношение  $\text{SiO}_2$  к  $\text{R}_2\text{O}_3$  колеблется от 2.3 до 2.9, что дает возможность отнести эти коллоиды к группе глинистых минералов.

Изоэлектрические осадки характеризуются меньшим содержанием химически связанной воды и являются таким образом менее обводненными соединениями. Емкость обмена при  $\text{pH} = 4.6$  является наибольшей у электроотрицательных коллоидов и заметно снижается у изоэлектрических осадков. При определении емкости обмена при  $\text{pH} = 8$  емкость обмена резко возрастает у групп изоэлектрических осадков, что объясняется перезарядкой полуторных окислов в щелочной среде. Эти данные служат косвенным подтверждением различного характера полуторных окислов в электроотрицательных и изоэлектрических коллоидах. Однако этот вопрос не представляется еще достаточно ясным. Возможно, что предварительная обработка электроотрицательных коллоидов слабым раствором щелочи также приведет к значительному увеличению емкости обмена при  $\text{pH} = 8$ . Поэтому не исключена возможность того, что повышение емкости обмена

в изоэлектрических осадках обусловлено методом их выделения, при котором происходит частичное разрушение связи гумуса с полуторными окислами и освобождение последних.

Различную способность коллоидов к пептизации с нашей точки зрения целесообразнее объяснить не различием их в химическом составе, а различной степенью их гидратации и различной степенью их кристаллизации.

Разделение коллоидов путем высаливания грубодисперсных минеральных коллоидов КС1 в условиях нейтральной и слабо щелочной реакции не является полным, так как полученная таким образом органическая часть коллоидов загрязнена значительным количеством пептизированных минеральных частиц. Этот метод заслуживает внимания, как вспомогательный прием для удаления главной массы минеральных коллоидов, но вряд ли является достаточным для решения вопроса о формах связи органических и минеральных коллоидов. Во всяком случае необходимо применение дополнительной фильтрации через пористые фильтры.

Главная масса гумуса в исследованных почвах находится в тесной взаимосвязи с коллоидальной частью почвы и выделяется вместе с последней. В черноземе главная масса гумуса коллоидальной фракции представлена гуминовой кислотой, а в подзолистой почве более половины всех органических веществ относятся к группе фульвокислот. Изоэлектрические осадки характеризуются большим содержанием гумуса, чем электроотрицательные гели, что свидетельствует безусловно о наличии прочной связи части гумуса с минеральными коллоидами почвы.

Органическая часть электроотрицательных коллоидов, осаждаемых КС1, благодаря способу их выделения представлена как гуминовой кислотой, так и фульвокислотами, относительно содержание которых в электроотрицательных коллоидах различных почв различно. В соответствии с общим характером гумуса, в I группе коллоидов чернозема главная масса гумуса представлена гуминовой кислотой, и только 20% всего гумуса приходится на долю фульвокислот. В каштановой почве фульвокислоты составляют 33%, а в подзолистой почве фульвокислоты представляют главную массу гумуса электроотрицательных коллоидов. По элементарному составу гуминовые кислоты и фульвокислоты I группы коллоидов характеризуются типичным для этих групп содержанием С и N и подтверждают элементарный состав гуминовых кислот, полученный Рыдалевской и Тищенко, и элементарный состав фульвокислот, полученный проф. Тюриным.

Органическая часть III группы коллоидов представлена, в связи с методом их выделения, только фракцией гуминовых кислот и характеризуется типичным для этой группы соединений содержанием С и N. Определение емкости обмена при  $pH = 8$  показало наличие восьми периферических групп, участвующих в катионном обмене.

Вопрос о формах связи гумуса с минеральной частью почвы не представляется еще достаточно ясным. Возможность химических реакций при взаимодействии гуминовых кислот и фульвокислот с отдельными элементами минеральных частей почвы а priori весьма вероятно, благодаря наличию активных периферических групп в моле-

куле этих соединений. Карбоксильные группы участвуют, вероятно, в образовании солей щелочных и щелочно-земельных оснований, а также может быть и солей Al и Fe, а спиртовые остатки — в образовании комплексных солей с полуторными окислами. Возможность взаимодействия спиртовых остатков с гуминовой кислотой была отмечена еще Густавсоном. Косвенным доказательством возможности таких комплексных солей является увеличение относительного содержания полуторных окислов в золе гуминовой кислоты по мере уменьшения ее зольности. Вопрос об образовании комплексных соединений с  $\text{SiO}_2$  в настоящее время еще не представляется достаточно ясным. Свободные гуматы щелочных и щелочно-земельных оснований не присутствуют вероятно в изученных почвах в сколько-нибудь значительных количествах, так как при пептизации коллоидов NaCl и осаждении минеральной части KCl при нейтральной реакции не удается получить сколько-нибудь значительные количества беззольной гуминовой кислоты.

Широкое распространение в почвах очевидно получают комплексные золи коллоидальных растворов гуминовой кислоты с зольми полуторных окислов, закрепление которых происходит при коагуляции их электролитами.

Взаимодействие гумуса с минеральной частью почв в целом повидимому является главным образом адсорбционным процессом взаимодействия органических и особенно органоминеральных соединений, а также комплексных органоминеральных солей на поверхности минеральных коллоидов. Весьма вероятным является предположение проф. Тюлина о наличии оболочек органического и органоминерального характера на поверхности высокодисперсных минеральных частиц. Прочность связи таких оболочек с минеральными коллоидами будет, очевидно, в первую очередь обусловлена количеством органического вещества и предельной для данного типа коллоидов возможностью адсорбировать органические и органоминеральные золи. При большом количестве гумуса, что имеет место в черноземах, значительная часть гумуса будет рыхло связана с минеральной частью коллоидов и при слабом подщелачивании будет пептизироваться и переходить в коллоидальный раствор. Незначительное количество коллоидов в почве приводит к относительно большему закреплению гумуса с грубо-дисперсными фракциями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аарнио Б. Почвоведение, 3, 1915.
2. Baumann A. u. Gully E. Mittel. K. Bayr. Moorkult., 3, 1910.
3. Bemmelen I. Die Adsorption, Dresden, 1910.
4. Buzágh A. Kolloidik, Dresden u. Leipzig, 1936.
5. Demolon A. u. Barbier G. Annal. Sci. Agronom., 44, № 5, 1927.
6. Ehrenberg P. Die Bodenkolloide, 1924.
7. Marschall G. Tr. of the Cer. Soc., 30, 1931.
8. Mattson S. Soil Sci., 31, 1931.
9. Meyer L. Zeitsh. Pflanz. Düng. Boden., Bd. 39, H. 3/4, 1935.
10. Oden-Sven. Koll. Chem. Beihef., Bd. II, H. 3/9, 1919.
11. Ostwald W. Koll. Zeitschr., 43, 1927.
12. Роде А. Подзолообразовательный процесс, Москва, 1937.

13. Родзянко А. Труды VIII Съезда русских естествоиспытателей и врачей, 1890.
  14. Сидери Д. Химизация соц. земледел., 7—8, 1936.
  15. Schloesing. Th. Annal. Chimie et Physique, II, 1874.
  16. Sprengel C. Chemie f. Land. Forstm. u. Camer. I, Göttingen, 1831.
  17. Тищенко В. и Рыдалевская М. Доклады Ак. Наук СССР, IV, N. 3, 1936.
  18. Рыдалевская М. и Тищенко В. Сборник памяти проф. С. П. Кравкова.
  19. Тюлин А. Химиз. соц. земледел., 8, 1934.
  20. Тюлин А. и Маломахова Т. Химиз. соц. земледел., 12, 1934.
  21. Тюлин А. Химиз. соц. земледел., 7—8, 1936.
  22. Тюлин А. Труды конференции по почвоведению и физиологии культурных растений, I, 1937.
  23. Тюлин А. Почвоведение, 7, 1939.
  24. Шмук А. Бюллетень почвовед, № 5—7, 1930.
  25. Тюрин И. Труды Почв. института АН СССР, т. XXIII, 1940,
-

ПРОДУКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЛКОВ  
С МИНЕРАЛЬНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

## СООБЩЕНИЕ II

(Кафедра и лаборатория почвоведения ЛГУ им. проф. С. П. Кравкова)

*Е. И. Шилова*

В предыдущем сообщении (10)<sup>1</sup> нами были изложены результаты экспериментальных исследований по вопросу о возможности и продуктах взаимодействия растительных белков с некоторыми минеральными веществами. При этом было установлено, что значительная часть белковых веществ, извлекаемых из клейковины 70% спиртом и обладающих положительным знаком заряда, при  $pH = 5.39$  весьма энергично реагирует с золам  $SiO_2$ , образуя при этом объемистый белый осадок. Эта же группа белковых веществ совсем по-иному вела себя в отношении золой  $Al(OH)_3$  и  $Fe(OH)_3$ : при взаимодействии с этими последними, а также с солями  $CaSO_4$ ,  $Pb(CH_3COO)_2$ , образовывались незначительные и малоустойчивые осадки.

Следующая группа белковых веществ, выделяемая из клейковины 2%  $NaOH$  и обладающая отрицательным знаком заряда, наоборот, не реагировала с раствором  $SiO_2$ , но почти полностью выпадала в осадок при воздействии  $FeCl_3$ ,  $BaCl_2$  и  $HCl$ .

Получаемые таким образом коагелы обладали достаточно высокой устойчивостью против гидролитического действия 1.0 N  $HCl$ .

После 5-часового кипячения с последней и гидролизате геля белок +  $SiO_2$  азотистые соединения находились, главным образом, в виде оснований, осаждаемых фосфорновольфрамовой кислотой, а в гидролизате гелей белок +  $FeCl_3$ , белок +  $BaCl_2$  и белок +  $HCl$  мы имели главным образом азот аминокислот.

Эти данные позволяют предполагать о возможности такого типа реакций при накоплении азотистых соединений в почве, где упомянутые выше минеральные соединения ( $SiO_2$ ,  $Al(OH)_3$  и  $Fe(OH)_3$ ) почти всегда имеются в достаточном количестве.

Однако предположение это не является достаточно убедительным, хотя бы уже потому, что сомнительной является идентичность в поведении белков свежей клейковины, почвенных протеинов и продуктов распада последних.

Для того чтобы ближе подойти к этому вопросу, нами был поставлен второй эксперимент, имеющий своей задачей выяснить характер

<sup>1</sup> См. список литературы в конце статьи.

продуктов взаимодействия белковых веществ, подвергавшихся продолжительному разложению с минеральными коллоидами и некоторыми солями двух- и трехзначных катионов.

Интересным представлялось при этом и выяснение характера взаимодействия белков с минеральными веществами в самом процессе разложения белков, в особенности с солями Са и Fe, поскольку в литературе имеется целый ряд указаний, во-первых, на их стимулирующее действие в отношении жизнедеятельности целого ряда микроорганизмов (5, 6) и, во-вторых, на их коагулирующую способность по отношению к органическим коллоидально распыленным веществам (8, 17).

Сообразно с этим была принята следующая схема опыта: 300 г размолотой и пропущенной сквозь сито в 1 мм клейковины тщательно перемешивались с 600 г промытого HCl и прокаленного в муфельной печи мелкозернистого (около 0,5 мм диаметр) кварцевого песку. Из приготовленной таким образом смеси брались навески по 300 г каждая (на 100 г клейковины 200 г песку) и помещались в тарированные стеклянные банки; в одну из них вносился 1 г  $Fe_2(SO_4)_3$ , во вторую — эквивалентное количество (1,29 г)  $CaSO_4$ , и третья служила контролем. Затем содержимое банок увлажнялось (по весу) до оптимальной влажности, равной 60% от полной влагоемкости смеси, тщательно перемешивалось, и сосуды с их содержимым помещались в термостат, температура в котором за все время опыта поддерживалась около 27—30° С. Влажность в течение всего времени поддерживалась равной 60% от полной влагоемкости.

Разложение клейковины во всех трех вариантах опыта сопровождалось интенсивным запахом сероводорода, меркаптана и частично аммиака, а цвет разлагающейся массы из светложелтоватого становился коричневым (в контрольном и в образце с  $CaSO_4$ ) и интенсивно черным в образце с  $Fe_2(SO_4)_3$ .

### Методы работы

Разлагавшиеся при вышеупомянутых условиях образцы клейковины по истечении 14 месяцев были высушены и взвешены. По потере в весе устанавливались интенсивность разложения клейковины и влияние на этот процесс сернокислых солей Са и Fe. Из высушенных навесок брались пробы для определения общего азота по методу Кьелдаля (микрометод) и навески для экстрагирования путем настаивания с 70% этиловым спиртом до почти полного обесцвечивания отстоявшегося в течение суток экстракта. В полученных путем неоднократных сливаний экстрактах определялись величина рН, знак заряда взвешенных частиц, общий азот и сухой остаток. Кроме того, для более детальной характеристики этой фракции были получены коагелы с  $FeCl_3$  и  $Pb(CH_3COO)_2$ , которые в свою очередь подвергались гидролизу с 1,0 N HCl и исследовались на содержание азота, а в гидролизате помимо этого определялись: азот моноаминокислот (по van Slyke) и азот оснований путем осаждения последней фосфорномолибденовой кислотой.

В результате этих исследований нами получены следующие данные (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1

Интенсивность разложения белков клейковины в зависимости от вносимых солей Са и Fe

	Сухая масса клейковины в г		
	Исходн. матер.	После 15-мес. разлож.	После 25-мес. разлож.
Клейковина . . . . .	100	71	62
Клейковина + CaSO <sub>4</sub> . . . . .	100	53,7	45
Клейковина + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	100	53,0	51

Следовательно, как кальций, так и железо способствовали более интенсивному разложению белковых веществ.

Имеющиеся в литературе указания о действии кальция на процессы разложения растительных материалов основаны, главным образом, на изучении влияния углекислой или едкой извести (7). Усиление процессов минерализации, связанное с внесением этих соединений, рассматривалось исследователями как результат нейтрализующего их действия на образующиеся при разложении кислые продукты. Что же касается сернокислых солей кальция и тем более железа, применяемых в наших опытах, не обладающих, как известно, щелочными свойствами, то вряд ли возможно будет их благоприятное действие объяснить нейтрализацией кислых продуктов. Правда, реакция среды в образцах с CaSO<sub>4</sub> и Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> передвигается в щелочную сторону, что можно видеть из следующих данных (табл. 2):

ТАБЛИЦА 2

	Величина pH спиртовой фракции		
	Исходн. клейков.	После 15-мес. разлож.	После 25-мес. разлож.
Контроль . . . . .	5.27	5.70	6.20
Клейковина + CaSO <sub>4</sub> . . . . .	5.27	6.00	6.22
Клейковина + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	5.27	5.95	6.24

Однако имевшее место подщелачивание столь незначительно, что вряд ли могло быть существенной причиной более интенсивной минерализации упомянутых образцов клейковины. Причем фактором, обуславливающим передвижение величины pH в щелочную сторону, несомненно является аммиак, образующийся в образцах с сернокислыми солями кальция и железа вследствие более интенсивного разложения клейковины в больших количествах, чем в контроле.

Таким образом, благоприятное влияние сернокислых солей кальция и железа на процессы разложения белков клейковины представляется более сложным процессом.

С этой точки зрения заслуживают внимания указания Итона и целого ряда других исследователей (3) на то, что соли железа обладают хорошо выраженной способностью подавлять ядовитое действие токсинов, благодаря чему условия жизнедеятельности микроорганизмов в присутствии этих солей являлись значительно более благоприятными. Любопытно при этом отметить, что действие железа на интенсивность разложения белков проявляется главным образом в первый период опыта. По истечении двух лет темп распада органических соединений в присутствии солей железа значительно понижается. Аналогичное явление нами отмечалось уже в опытах с разложением клеверного сена (10), согласно которым сернокислый кальций и в еще большей степени сернокислое железо по истечении 6 месяцев разложения задерживали дальнейший распад растительных материалов. В опытах К. Н. Кинзерской (4) с разложением навоза в почве были получены подобные же результаты, с той лишь разницей, что тормозящее действие этих солей началось несколько раньше (после 60 дней для образцов с  $\text{CaSO}_4$  и после 30 дней для образцов с  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

Таким образом, в первый период распада растительных материалов, сернокислые соли кальция и железа способствуют их более интенсивной минерализации. По мере дальнейшего разложения, вступая во взаимодействие с органическими соединениями, образующимися при распаде растительных материалов, эти соли задерживают дальнейшую их минерализацию. При этом железо, повидимому благодаря более высокой коагулирующей способности, проявляет обычно несколько раньше свое тормозящее действие. В отношении белков клейковины период их стимулирующего влияния является повидимому более продолжительным. Лишь по истечении двух лет ослабевает темп распада клейковины в присутствии  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Период стимулирующего действия сернокислого кальция является повидимому еще более продолжительным.

#### Физико-химические свойства продуктов разложения клейковины

Согласно современным представлениям (7), клейковина, выделенная из пшеничной муки, представляет сильно гидратированный комплекс глиадина и глютеина. Процесс гидратации клейковины сопровождается сильным набуханием. Это последнее является одним из основных свойств клейковины. В процессе разложения, повидимому вследствие ее гидролитического расщепления на более простые компоненты, клейковина теряет эти свойства. Продукты ее годичного и двухгодичного разложения в наших опытах не обладали сколько-нибудь заметной способностью к набуханию.

Иные свойства в сравнении с исходной клейковиной обнаруживают продукты микробиологического распада и в отношении электрокинетической активности. Исходная клейковина, как нами уже отмечалось в предыдущей работе при  $\text{pH} = 5.39$  (в спиртовом растворе), обладала положительным знаком заряда. Спиртовые же растворы продуктов разложения клейковины (так же, как и водные их рас-

творы). при величине рН от 5.60 и до 6.29 в водном растворе и при рН от 6.29 до 6.73 в спиртовом растворе, во всех случаях оказывались отрицательно заряженными. Наблюдаемое нами явление перезарядки объясняется прежде всего перемещением величины рН в щелочную сторону, так как при подкислении спиртового раствора продуктов разложения клейковины до рН = 5.76 коллоидальные частицы теряли свою устойчивость, что выражалось в заметном помутнении раствора.

Однако перезарядка клейковины в процессе ее микробиологического разрушения была обусловлена повидимому не только изменением реакции среды, тем более, что изоэлектрическая точка глиаина и в особенности глютеина многими авторами (1) отмечается значительно выше тех значений рН, которые мы имели к концу опыта. Кроме того, продукты разложения клейковины обнаруживали несколько иное отношение к коагуляторам. Исходная клейковина в спиртовом растворе при рН = 5.5—5.8 почти нацело свертывалась золем  $\text{SiO}_2$ . Продукты же распада клейковины при тех же условиях реакции среды почти совсем не выпадали в осадок при взаимодействии с золем  $\text{SiO}_2$ .

При действии уксуснокислым свинцом из спиртового раствора клейковины удавалось выделить лишь незначительный белый осадок, тогда как из спиртового раствора продуктов разложения клейковины этим реактивом мы извлекали значительную долю азотосодержащих соединений.

На основании этих наблюдений можно сделать вывод о том, что физико-химические свойства клейковины существенно отличаются от физико-химических свойств продуктов ее превращения. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при выяснении процессов накопления и закрепления азотистых соединений в почве.

О химическом взаимодействии продуктов разложения клейковины с минеральными солями

Имея в виду то обстоятельство, что главной составной частью клейковины являются соединения, растворимые в разбавленном 70% спирте, все последующие химические исследования мы производили главным образом с этой фракцией. Следует при этом отметить, что относительное содержание последней, по мере разложения клейковины, не только не уменьшалось, но в первый период опыта даже увеличивалось, что можно видеть из следующих данных (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3

	Спирторастворимая фракция в %				
	В исходн. клейков.	После 15-мес. разлож.		После 25-мес. разлож.	
		к исходн. клейков.	к разлагавш. массе	к исходн. клейков.	к разлагавш. массе
Контроль . . . . .	44.5	39.4	55.5	30.5	49.2
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	44.5	28.0	52.2	21.4	47.6
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	44.5	28.2	53.2	25.9	50.8

Более высокое относительное содержание спирторастворимых соединений в разлагавшейся клейковине объясняется вероятно их более высокой устойчивостью против воздействия микроорганизмов, благодаря чему их распад происходил медленнее в сравнении с другими компонентами клейковины. По абсолютным же величинам эта фракция по мере разложения клейковины постепенно уменьшалась. Вносимые соли кальция и железа способствовали более интенсивному разложению спирторастворимых соединений. К концу опыта сернокислое железо, образуя более прочные соединения с промежуточными продуктами распада белков, уже замедляло темпы дальнейшего их распада. Вероятность этого предположения может быть подтверждена данными, характеризующими зольный остаток спиртовой фракции (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4

	Зольность спиртовой фракции в %	
	После 15-мес. разлож.	После 25-мес. разлож.
Контроль . . . . .	0.67	1.31
Клейковина + CaSO <sub>4</sub> . . . . .	0.68	1.23
Клейковина + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	1.28	1.69

Данные, приведенные в табл. 4, указывают на то, что кальций не оказывает почти никакого действия на зольность спирторастворимых продуктов разложения, т. е. кальций повидимому не вступает во взаимодействие со спирторастворимыми продуктами распада клейковины и не образует достаточно прочных органоминеральных соединений, тогда как сернокислое железо, вступая в тесную химическую связь с вышеупомянутыми продуктами, вместе с последними частично растворяется в спиртовом растворе. Эти же данные свидетельствуют между прочим о том, что по мере разложения клейковины минеральная часть спиртовой фракции заметно увеличивается, что в свою очередь подтверждает предположение о том, что качественный состав спирторастворимых продуктов разложения клейковины изменяется по мере микробиологического распада последней.

Об этом же свидетельствуют данные, характеризующие изменения в содержании общего азота разлагающейся массы и спирторастворимой ее фракции (табл. 5).

ТАБЛИЦА 5

	Содержание азота в %				
	В исходн. клейков.	После 15-мес. разлож.		После 25-мес. разлож.	
	к возд.-сух. массе	к возд.-сух. массе	к исходн. матер.	к возд.-сух. массе	к исходн. матер.
Контроль . . . . .	11.5	10.8	8.32	10.7	6.63
Клейковина + CaSO <sub>4</sub> . . . . .	11.5	10.1	5.43	10.0	4.50
Клейковина + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	11.5	10.7	5.67	10.7	5.46

Содержание общего азота в клейковине по мере ее разложения уменьшается как в абсолютных, так и в относительных величинах, причем наибольшие потери азота относятся к первому периоду опыта, что связано повидимому с отщеплением азота при распаде сложных белковых молекул.

В последующий период опыта, благодаря тому, что в разлагающейся массе преобладали наиболее устойчивые против воздействия микроорганизмов соединения, интенсивность их распада значительно уменьшается. Относительное содержание азота в разлагающейся массе остается почти постоянным.

Внесение солей кальция и железа, обуславливая более энергичный распад клейковины, приводит к особенно высоким потерям азота.

Что же касается азота спиртовой фракции, то его динамика имеет уже существенно иной характер, что можно видеть из следующих данных (табл. 6):

ТАБЛИЦА 6

	Азот спиртовой фракции в %					
	Исходн. клейков.		После 15-мес. разлож.		После 25-мес. разлож.	
	к фракции	к общему N	к фракции	к общему N разлагающ. массы	к фракции	к общему N разлагающ. массы
Контроль . . . . .	11.75	45.5	12.52	55.5	13.35	61.4
Клейковина + CaSO <sub>4</sub> . . . . .	11.75	45.5	12.66	65.5	13.90	66.2
Клейковина + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	11.75	45.5	12.60	62.5	13.59	64.0

Относительное увеличение азота в спиртовой фракции как по отношению к самой фракции, так и к общему азоту разлагающейся массы свидетельствует о том, что по мере разложения клейковины в спиртовой раствор переходят соединения с более высоким содержанием азота, причем этот азот к концу опыта составляет большую часть азота всей разлагающейся массы.

В присутствии солей кальция и железа, в условиях более энергичного распада клейковины и при наибольших потерях общего азота разлагающейся массы, количество спирторастворимого азота было более высоким, чем в контрольном образце.

На основании этих данных можно предполагать, что при разложении клейковины происходит накопление относительно устойчивых соединений с более высоким содержанием азота. Являются ли они более стойкими компонентами клейковины или специфическими продуктами конденсации соединений, образующихся при распаде последней, можно выяснить лишь специальными исследованиями.

Как уже отмечалось выше, спирторастворимые продукты распада клейковины выпадали в осадок при взаимодействии с солями тяжелых металлов. Этим свойством мы воспользовались для более

детальной характеристики спиртовой фракции. Кроме того, это обстоятельство представляло интерес с точки зрения выяснения отношения продуктов разложения к различным по своей химической природе солям тяжелых металлов, в частности  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  и  $\text{FeCl}_3$ , рекомендуемым иногда (2) в качестве коагуляторов для выделения белковых соединений.

Для получения осадков к спиртовым растворам продуктов разложения клейковины прибавлялись 10% раствор  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  и (к отдельным пробам) 0.5 N  $\text{FeCl}_3$ . При прибавлении уксуснокислого свинца величина pH растворов в момент выпадения осадков колебалась в пределах от 5.71 до 5.76, т. е. в пределах наименьшей устойчивости золя, так как при  $\text{pH} = 5.76$  коллоидальные частицы теряли свою устойчивость, и раствор становился мутным, хотя осадок выпал только в присутствии ацетата свинца. Выпадавшие при этих условиях осадки содержали следующие количества азота (табл. 7):

ТАБЛИЦА 7

	Азот осадка в % к органич. массе коагеля	
	После 15-мес. разлож.	После 25-мес. разлож.
Контроль . . . . .	11.42	15.27
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	8.90	15.60
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	10.05	15.70

При гидролизе высушенного осадка 1.0 N. HCl (5-часовое кипячение) азотистые соединения снова почти полностью переходили в раствор (табл. 8).

ТАБЛИЦА 8

	Азот гидролизата в %			
	После 15-мес. разлож.		После 25-мес. разлож.	
	к органической массе коагеля	к общему азоту коагеля	к органической массе коагеля	к общему азоту коагеля
Контроль . . . . .	11.40	99.8	14.22	93.0
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	8.7	98.0	15.18	97.4
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	10.9	98.6	13.43	88.5

Данные табл. 7 и 8 указывают на то, что при действии уксуснокислым свинцом на продукты разложения клейковины на различных этапах микробиологического распада последней осаждаются раз-

личные по своей природе соединения. При этом в первый период опыта в осадок переходили сравнительно бедные азотом, повидимому, промежуточные продукты распада клейковины. К концу же опыта осаждались соединения уже с более высоким содержанием азота, причем разница в содержании азота, в зависимости от условий разложения, почти совершенно сглаживается.

Продукты двухгодичного распада клейковины при взаимодействии с ацетатом свинца образуют соединения более устойчивые против кислотного гидролиза, в сравнении с продуктами после 15 месяцев разложения.

Исследование продуктов гидролиза коагеля показало, что азот гидролизата в значительной массе представлен соединениями, имеющими основной характер, причем количество азота в них резко увеличивается к концу опыта (табл. 9).

ТАБЛИЦА 9

	Азот оснований в %			
	15-мес. разлож.		25-мес. разлож.	
	к органической массе коагеля	к азоту коагеля	к органической массе коагеля	к азоту коагеля
Контроль . . . . .	2.21	19.4	7.77	50.6
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	3.70	41.6	8.72	55.8
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	3.40	31.2	7.86	51.8

Вносимые соли кальция и железа обуславливали более высокое содержание азота в соединениях, осаждаемых фосфорномолибденовой кислотой.

Однако надо заметить, что большая часть азотистых соединений спиртовой фракции не выпадала в осадок при действии ацетата свинца. В жидкости после выпадения осадка были найдены следующие количества азота (табл. 10).

ТАБЛИЦА 10

	Неосаждаемый азот в %			
	15-мес. разлож.		25-мес. разлож.	
	к фракции	к азоту спирт. фракции	к фракции	к азоту спирт. фракции
Контроль . . . . .	9.84	78.6	9.81	73.5
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	10.00	79.0	10.98	79.0
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	10.54	83.7	10.74	79.3

По мере разложения клейковины, количество азота неосаждаемых уксусноукислым свинцом соединений заметно уменьшается (соответственно увеличивается азот осаждаемых соединений), что указывает на то, что продукты более глубокого распада клейковины обладают большей способностью к взаимодействию с ацетатом свинца, чем невидоизмененные или менее разрушенные микробислогическими процессами спирторастворимые белки клейковины. Кроме того, это уменьшение может быть связано с более высоким содержанием азота в осаждаемых соединениях из образцов двухгодичного разложения.

С этой точки зрения в образцах с солями кальция и железа неосаждаемого азота должно бы быть меньше, так как интенсивность распада клейковины в них была более высокой; но, как показывают данные табл. 10, эта зависимость в данном случае отсутствует.

В несколько ином направлении протекает взаимодействие спирторастворимых продуктов разложения с 0.5 N раствором  $FeCl_3$  (табл. 11).

ТАБЛИЦА 11

	Азот в % к органич. массе коагеля	
	После 15-мес. разлож.	После 25-мес. разлож.
Контроль . . . . .	9.72	9.12
Клейковина + $CaSO_4$ . . . . .	12.10	10.10
Клейковина + $Fe_2(SO_4)_3$ . . . . .	11.55	9.04

Хлорное железо осаждало соединения, значительно более бедные азотом (в сравнении с теми, которые осаждались уксусноукислым свинцом). Эта особенность в поведении  $FeCl_3$  в значительной степени объясняется, повидимому, иными условиями реакции среды в момент коагуляции. Величина рН колебалась в данном случае в пределах от 4.45 до 4.57.

При этих значениях рН несомненно увеличивалась величина положительного заряда коллоидальных частиц. Последние находились в настолько устойчивом состоянии, что не подвергались коагулирующему действию  $FeCl_3$ . В осадок переходили, повидимому, наиболее кислые продукты распада клейковины, изоэлектрическая точка которых была ниже тех значений рН, которые мы имели в момент осаждения.

Внешне это выражалось в том, что при прибавлении раствора  $FeCl_3$  к спиртовому раствору продуктов разложения клейковины, последний принимал еще более темную окраску, а выпадавший осадок отличался более светлой окраской.

Изменения в содержании азота, в зависимости от продолжительности и условий разложения, происходят в данном случае как раз в обратных направлениях тем изменениям, которые мы отмечаем для осадков от  $(CH_3COO)_2Pb$ .

Содержание общего азота в осадке из образцов более продолжительного разложения не увеличивается, а уменьшается. Внесение солей кальция и железа обуславливает более высокое содержание азота в осаждаемой части спиртовой фракции из этих образцов.

При гидролизе 1,0 N HCl большая часть осадка переходила в растворимое состояние, причем и в этом отношении полученные с  $\text{FeCl}_3$  коагели обнаруживали противоположные свойства коагелям  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ . Если последние являлись более устойчивыми против кислотного гидролиза из образцов двухгодичного разложения, то коагели  $\text{FeCl}_3$  труднее поддавались гидролизу, наоборот, из образцов одногодичного разложения (табл. 12).

ТАБЛИЦА 12

	Гидролизуемый азот в %			
	15-мес. разлож.		25-мес. разлож.	
	к органическому веществу коагеля	к азоту коагеля	к органическому веществу коагеля	к азоту коагеля
Контроль . . . . .	7.10	73.0	9.09	99.5
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	5.33	44.0	8.88	80.5
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	6.08	52.6	9.01	99.6

Анализ гидролизата на содержание  $\alpha$ -аминокислот и оснований показал, что большая часть азота гидролизата принадлежит соединениям, определяемым методом v. Slyke.

Соединения же, осаждаемые фосфорномолибденовой кислотой, присутствовали в несравненно меньших количествах (табл. 13).

ТАБЛИЦА 13

	Азот $\alpha$ -аминокислот в %				Азот оснований в %			
	15-мес. разлож.		25-мес. разлож.		15-мес. разлож.		25-мес. разлож.	
	к органич. веществу коагеля	к азоту коагеля	к органич. веществу коагеля	к азоту коагеля	к органич. веществу коагеля	к азоту коагеля	к органич. веществу коагеля	к азоту коагеля
Контроль . . . . .	2.93	30.2	3.27	35.9	1.73	17.8	2.54	27.8
Клейковина + $\text{CaSO}_4$ . . . . .	3.73	30.9	5.85	58.0	1.12	9.25	2.79	27.6
Клейковина + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	3.76	32.5	4.11	45.5	1.05	9.10	2.59	28.7

Эти данные подтверждают то положение, что раствор  $\text{FeCl}_3$  при более низких значениях pH осаждает соединения более кислого характера.

Количество азота оснований в гидролизате было значительно меньше, чем в гидролизате коагеля  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ , хотя при дальнейшем распаде клейковины относительное содержание соединений основ-

ного характера и в этом случае заметно возрастает. Это обстоятельство и является, возможно, причиной того, что по мере разложения количество азота соединений, осаждаемых раствором  $FeCl_3$ , заметно возрастает. При анализе раствора после выпадения осадка были найдены следующие количества азота (табл. 14).

ТАБЛИЦА 14

	Неосаждаемый $FeCl_3$ азот в %			
	15-мес. разлож.		25-мес. разлож.	
	к фракции	к азоту фракции	к фракции	к азоту фракции
Контроль . . . . .	7.12	56.8	8.65	64.8
Клейковина + $CaSO_4$ . . . . .	4.20	33.1	7.71	55.4
Клейковина + $Fe_2(SO_4)_3$ . . . . .	5.78	45.7	9.62	70.6

Влияние солей кальция и железа на эту группу соединений оказывается различным. Кальций на протяжении всего опыта в большей степени способствовал накоплению соединений, осаждаемых  $FeCl_3$ , соответственно понижая содержание неосаждаемых соединений. Внесение сернокислого железа уменьшало содержание неосаждаемого азота лишь после 15-месячного разложения; в конце опыта количество неосаждаемого азота здесь было больше, чем в контроле. Выше нами уже отмечалось, что спиртовые растворы из образцов с сернокислым железом имели большую зольность, чем все остальные, следовательно железом уже было связано с коллоидально распыленными продуктами распада клейковины и, переходя вместе с последними в разбавленный спиртовый раствор, оказывало на них защитное действие.

ВЫВОДЫ

1. Интенсивность микробиологического распада белков находится в зависимости от присутствия в разлагающейся массе минеральных солей, в частности, солей кальция и железа.

Наиболее энергично процессы микробиологического распада клейковины протекают в присутствии сернокислого кальция. Действие сернокислого железа благодаря более высокой коагулирующей способности последнего в отношении продуктов разложения клейковины является в этом отношении менее эффективным.

2. Процессы микробиологического распада белков клейковины сопровождаются изменением ее физических и физико-химических свойств. Клейковина теряет способность к набуханию и при повышении величины рН от 5.4 в исходном материале до 6.5 в разлагающейся массе меняет положительный знак заряда на отрицательный.

3. Изменение знака заряда обусловлено не только изменениями реакции среды, но и химическими изменениями белков, происходящими при микробиологическом распаде последних.

4. По мере разложения клейковины содержание общего азота в ней уменьшается как по абсолютным, так и по относительным ве-

личинам, причем наибольшие потери азота наблюдались в образцах с кальцием и железом. Наряду с этим, содержание азота в спиртовой фракции не только не уменьшается, но даже увеличивается, что свидетельствует об изменении природы спирторастворимых соединений в процессе разложения клейковины.

5. Спирторастворимые продукты разложения клейковины в отличие от спирторастворимых соединений неразлагавшейся клейковины в значительной части выпадали в осадок при взаимодействии с раствором  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  и не коагулировались коллоидальным раствором  $\text{SiO}_2$ .

6. При взаимодействии спирторастворимых продуктов разложения клейковины с растворами  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  и  $\text{FeCl}_3$  выпадают в осадок соединения с различным содержанием азота, причем эта разница обусловлена не только характером коагулятора, но и продолжительностью микробиологического распада клейковины.

7. Содержание азота в органической части осадков от  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  по мере разложения клейковины значительно увеличивается. В соответствии с этим увеличивается количество азота соединений, осаждаемых из гидролизата фосфорномолибденовой кислотой.

8. Содержание азота в органической части осадков  $\text{FeCl}_3$ , по мере разложения клейковины, не только не увеличивается, но даже уменьшается, что повидимому находится в связи с тем, что осаждаемые  $\text{FeCl}_3$  продукты разложения в большей части состояли из  $\alpha$ -аминокислот.

Азот соединений, осаждаемых из гидролизата фосфорномолибденовой кислотой, составлял здесь несравненно меньшую часть.

9. Неоднородность осаждаемых  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  и  $\text{FeCl}_3$  осадков объясняется повидимому различными условиями реакции среды в момент выпадения осадков. При более кислой реакции (с  $\text{FeCl}_3$ ) выпадали соединения с меньшим содержанием азота, распадающиеся при гидролизе с образованием главным образом  $\alpha$ -аминокислот. При слабокислой реакции (с  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ ) в осадок выпадают соединения с более высоким содержанием азота. При гидролизе 1.0 N HCl эти соединения распадаются с образованием преимущественно продуктов, осаждаемых фосфорномолибденовой кислотой.

Однако не исключена возможность того, что неоднородность в химическом составе осаждаемых растворами  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  и  $\text{FeCl}_3$  продуктов распада белковых соединений связана с химическими особенностями этих солей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гершзон А. И. Коллоидный журнал, III, 10, 1937.
2. Иванов Н. Н. Методы физиологии и биохимии растений, 1937.
3. Итон М. Д. Успехи химии, VIII, 11, 1939.
4. Кинзерская К. Н. Труды ЛОБИУА, 37, 1, 1935.
5. Норкина С. П. Труды ЛОБИУА, 37, 1, 1935.
6. Симакова Т. Л. Микробиология, VI, 1, 1937.
7. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы, 1937.
8. Фишер М. Г. Мыла и белки, 1932.
9. Шилова Е. И. Ученые записки ЛГУ, 34, 1939.
10. Шилова Е. И. Продукты разложения растительных остатков, 1938.
11. Яичников И. С. Успехи химии, VIII, 9, 1939.

СЕРИЯ ГЕОЛОГО-ПОЧВЕННЫХ НАУК, ВЫП. 12

ДОСТУПНОСТЬ БАКТЕРИЯМ АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ,  
ПОГЛОЩЕННЫХ КЛЕТЧАТКОЙ И ЛИГНИНОМ

## СООБЩЕНИЕ I

(Кафедра экспериментального почвоведения ЛГУ)

Т. Л. Симакова

Вопрос о разложении микроорганизмами органических веществ, попадающих с растительными и животными остатками в почву, не привлекал к себе внимание исследователей и имеет достаточно большую литературу. Как известно, большинство исследователей отмечает постепенное замедление процессов разложения, что объясняется образованием стойких органических комплексов гумусовых веществ.

Но вопрос о причинах устойчивости против разложения микроорганизмами вновь образующихся в почве в процессе разложения растительных остатков органических и органо-минеральных комплексов, можно сказать, не подвергался систематическому изучению. В литературе, насколько нам известно, имеются только указания в отношении разложения лишь лигнинно-протеинового комплекса (1, 2), другие же комплексы, получающиеся между органическими соединениями, не изучены, и мы до сих пор не знаем, являются ли доступными бактериям те или другие компоненты, после того как образовался комплекс, и если они доступны, то в какой мере доступность каждого из них изменилась в результате их взаимодействия. В данном сообщении я коснусь результатов, полученных при изучении вопроса о доступности бактериям азота белков и некоторых аминокислот, поглощенных клетчаткой и лигнином.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

## Методика

Навески в 1 г размельченной клетчатки помещались в эрленмейеровскую колбочку и заливались 20 см<sup>3</sup> 1%, 5% раствора казеина, альбумина, желатины, пептона, аспарагина и гликоколя.

В течение 20 минут содержимое колбочки хорошо встряхивалось несколько раз, а затем раствор отфильтровывался, клетчатка промывалась 5 раз 25 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, подсушивалась и стерилизовалась в автоклаве при 115° 20 минут. После стерилизации в первой порции клетчатки определялся азот по Кьельдалю, а вторая порция

вносилась в стерильный песок, пропитанный необходимой питательной средой для развития бактерий. Контролем служил стерильный песок (без клетчатки) с питательной средой, в которую дополнительно вносился раствор исследуемого азотистого вещества, причем это вещество вносилось в количестве равном количеству его, поглощенному клетчаткой. Расчет производился по азоту. В дальнейшем опыт и контроль заражались одинаковым количеством чистой культуры определенного вида бактерий (*Bac. mycoides*, *Bac. mesentericus*) и штаммами а, б, с, выделенными из почвы и разлагающими аспарагин и гликоколь или 1 см<sup>3</sup> почвенной суспензии, содержащей различные группы микроорганизмов.

Опытные сосуды соединялись каучуковыми трубками со склянками, содержащими 0,01 н. раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В течение всего опыта (10 дней) каждый день через сосуды пропускался воздух, и свободный NH<sub>3</sub>, получающийся при расщеплении азотистых веществ, улавливался 0,01 н. раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Полученные данные показали, что доступность азота вышеуказанных азотистых соединений, т. е. казеина, альбумина, желатины, пептона и аминокислот (аспарагина и гликоколя), при поглощении их клетчаткой, не изменяется. Таким образом мы видим, что клетчатка не влияет на интенсивность расщеплений микроорганизмами азотистых органических веществ, поглощенных ею.

Иное мы наблюдаем при изучении доступности азота азотистых веществ, поглощенных лигнином.

I серия опытов касается вопроса о доступности азота так называемого лигнино-протеинового комплекса, II серия — о доступности азота аминокислот, адсорбированных лигнином.

### I серия опытов

Методика исследования была аналогична методике, которой мы пользовались при вышеуказанных опытах с клетчаткой. Навески лигнина насыщались различными азотистыми соединениями и засеивались 1) чистыми культурами *Bac. mycoides* и *Bac. mesentericus* и 2) 1 см<sup>3</sup> почвенной суспензии. Полученные данные приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Количество N, освобожденное в форме NH<sub>3</sub> (выраж. в мг N)

	Казеин	Казеин+ лигнин	Альбу- мин	Альбу- мин + лигнин	Жела- тина	Жела- тина + лигнин
<i>Bac. mycoides</i>	10.7 <sup>1</sup>	2.8	9.4 <sup>2</sup>	3.6	14.9 <sup>3</sup>	1.8
Почвенная суспензия	13.4	1.9	11.5	2.0	15.2	4.4

<sup>1</sup> Внесено казеина 13.8 мг N.

<sup>2</sup> Внесено альбумина 11.5 мг N.

<sup>3</sup> Внесено желатины 15.4 мг N.

Из полученных данных (табл. 1) мы видим, что азот протеина, адсорбированного лигнином, является малодоступным для бактерий, так как наблюдается резкая депрессия в образовании  $\text{NH}_3$ .

Интересно отметить, что если одно и то же количество белка адсорбируется увеличивающимся количеством лигнина, то доступность азота этого комплекса понижается с увеличением лигнина, входящего в него (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2

Влияние количества лигнина на доступность бактериям N протеина, адсорбированного лигнином

Лигнин в г	Казеин в мг	Колич. образов. $\text{NH}_3$ в мг	Альбумин в мг	Колич. образов. $\text{NH}_3$ в мг
0.1	10	3.0	10	2.5
0.2	10	2.4	10	2.1
0.5	10	1.0	10	1.4
1.0	10	0.2	10	0.1
2.0	10	0.05	10	0.1
4.0	10	0.0	10	0.0

Таким образом мы должны отметить, что азот белков, адсорбированных лигнином, является малодоступным бактериям, и по мере образования таких адсорбционных белково-лигниновых комплексов в почве азот будет сохраняться и консервироваться.

Вышеуказанные данные подтверждаются работой Ваксмана (2), который наблюдал резкую депрессию в образовании  $\text{NH}_3$  в опытах со смесью лигнина с протеином. Устойчивость против расщепляющего действия бактерий смеси лигнина с протеином Ваксман объясняет возникновением между ними определенной химической связи.

## II серия опытов

### Поглощение лигнином аминокислот

Для исследования я брала лигнины, насыщенные различными катионами: Mg-лигнин, Ca-лигнин, Na-лигнин,  $\text{NH}_4$ -лигнин,  $\text{NaNH}$ -лигнин и H-лигнин.

Определенная навеска соответствующих лигнинов насыщалась 0,05 мол. раствором аспарагина и гликоколя, а затем промывалась 5 раз 25 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. За исключением Ca-лигнина, гликоколь всеми вышеуказанными лигнинами адсорбировался отрицательно.

Аспарагин всеми лигнинами адсорбировался положительно. Для опыта брались определенные навески лигнина, содержащие одинаковое количество азота. Навески вносились в стерильный песок, пропитанный необходимыми питательными веществами; среда при этом имела величину  $\text{pH} = 7.2$ . Контролем служил стерильный песок, пропитанный питательной средой и раствором аминокислот,

содержащим количество азота, равное количеству азота, адсорбированного лигнином. Опыт заражался 1 см<sup>3</sup> почвенной суспензии или чистой культуры выделенных бактерий, штаммами а, б, с. Через U-трубку, в которой проводился опыт, ежедневно продувался воздух, проходивший из нее в сосуд с 0.01н. раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Через 10 дней по количеству связанной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> судили о количестве свободного NH<sub>3</sub>, выделившегося за этот период при разложении аминокислот, поглощенных лигнином.

ТАБЛИЦА 3

Количество N, освобожденное в форме NH<sub>3</sub> из аминокислот, адсорбированных лигнином (выраж. в мг N)

Название лигнина	Внесено N с аспарагином в мг	Доступность бактериям		Осталось N недоступным для бактерий	
		чистой культуры в мг	почвенной суспензии в мг	чистой культуры в мг	почвенной суспензии в мг
H-лигнин . . .	2.5	0.4	0.6	2.1	1.9
NaH-лигнин . . .	2.5	0.8	0.9	1.7	1.6
NaOH-лигнин . . .	2.5	1.2	1.4	1.3	1.1
Mg-лигнин . . .	2.5	1.4	1.6	0.9	0.9
NH <sub>4</sub> -лигнин . . .	2.5	2.8	3.2		
Ca-лигнин . . .	2.5	1.8	1.8	0.7	0.7
Контроль . . . . .	2.5	2.4	2.4	0.1	0.1
Ca-лигнин . . . . .	2.0	Внесено N с гликоколем 1.4	1.2	0.6	0.8

Из полученных данных табл. 3 мы должны отметить, что количество NH<sub>3</sub> в опыте с NH<sub>4</sub>-лигнином превышает количество азота, внесенного с аспарагином. Для объяснения этого явления мною был проведен опыт с одним NH<sub>4</sub>-лигнином, без аспарагина; при этом выяснилось, что в процессе опыта NH<sub>3</sub> выделялся из лигнина, насыщенного NH<sub>4</sub> уже при продувании, через навеску его воздухом.

Просматривая остальные данные, можно отметить, что азот наиболее доступен для бактерий из Ca- и Mg-лигнинов и наименее доступен из H- и NaH-лигнинов.

По всей вероятности это объясняется благоприятным действием катионов Ca и Mg на жизнедеятельность бактерий.

Что же касается вопроса о влиянии лигнина на скорость расщепления микроорганизмами аминокислот, то на основании данных, полученных мною в вышеуказанных опытах, мы должны будем отметить, что аминокислоты, находящиеся в поглощенном состоянии разлагаются менее энергично, чем аминокислоты свободные, не поглощенные лигнином, о чем мы судим по меньшему количеству образо-

вавшегося аммиака. Надо отметить, что в опытах с аминокислотами лигнин действует угнетающе на процессы разложения значительно меньше, чем в опытах с протеином, поглощенным лигнином.

Полученные результаты как будто противоречат данным, которые приведены Ваксманом (2) в его работах.

В своих опытах при смешивании аминокислот с лигнином Ваксман не наблюдал депрессии в образовании аммиака при расщеплении аминокислот бактериями. Это разногласие, очевидно, объясняется неодинаковыми условиями опыта. Мы проводили опыты с аминокислотами, адсорбированными лигнином. При адсорбции происходит изменение физико-химических свойств этих адсорбируемых веществ, а Ваксман в своих опытах просто смешивал эти соединения, следовательно главная масса аминокислот в его опытах находилась в свободном, не поглощенном состоянии.

На основании вышеизложенного мы можем отметить следующее:

1. Азотистые вещества — белки и аминокислоты, адсорбированные клетчаткой, являются вполне доступными для бактерий.

2. Азотистые вещества, адсорбированные лигнином, становятся менее доступными для микроорганизмов, причем при адсорбции лигнином белков азот их делается малодоступным.

3. При адсорбции лигнином аминокислот азот последних является более доступным, чем азот белков, но все же и в этом случае наблюдается депрессия в образовании  $\text{NH}_3$ .

Таким образом, среди азотсодержащих органических веществ, получающихся в результате разложения растительных и животных остатков, являются трудно поддающимися разложению микроорганизмов не только лигнино-протеиновый комплекс, но также и такие соединения, как аминокислоты, поглощенные лигнином.

Принимая во внимание, что сам лигнин малодоступен микроорганизмам и что в процессе разложения растительных остатков получающиеся продукты будут относительно более богаты им, чем исходный материал, надо ожидать, что аминокислоты, которые получаются в процессе разложения белковых веществ, к концу разложения будут в большом количестве связываться остающимся лигнином и таким образом будут малодоступны для микроорганизмов, т. е. будут мало разлагаться и будут накапливаться.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Jensen. On the influence of the carbon nitrogen ratios of organic materia on the mineralization of nitrogen. Journ. Agr. Sci., 19, 1929.
2. Selman Waksman and Jyer. Contribution to our knowledge of the chemical nature and origin of Humus. I. On the synthesis of the «humus nucleus». Soil sci., v. XXXIV, № 1, pp. 43—69. 1932.

АНАЛОГИ И ГОМОЛОГИ В СИСТЕМЕ ПОЧВ<sup>1</sup>*М. И. Розсанец*

§ 1. Период строительства социализма в нашей стране является в то же время периодом бурного развития и роста почвоведения. Удельный вес сельского хозяйства в СССР велик, и поэтому почве, как производительной силе, уделяется большое внимание. За последние 15 лет накоплены огромные фактические материалы о почвах значительной территории. Почвенные исследования приобретают еще больший размах в настоящее время в связи со сплошной инвентаризацией земельного фонда колхозов и совхозов при введении новых севооборотов. Однако, как правило, большинство исследований не доводится до стадии опубликования и поэтому не подвергается широкой критической оценке. А между тем почвоведение находится еще на такой ступени развития, которая требует накопления массовых фактических данных для обобщения их и разработки систематики почв. Этот раздел развит далеко недостаточно. Понятия о таксономических единицах в почвоведении еще не установились окончательно. В номенклатуре почв нет должной выдержанности.

Для правильного подхода к вопросам классификации почв необходимо прежде всего установить существенные, специфически почвенные признаки и выявить причины их изменения. Разделяя взгляд В. Р. Вильямса, мы должны признать, что сущность почвообразования заключается в активном воздействии растения на минеральную часть и во взаимодействии с нею продуктов распада органических остатков, протекающем при деятельнейшем участии микроорганизмов.

Поскольку и органическая и минеральная части почвы взаимодействуют лишь в условиях молекулярного или коллоидального раздробления, и при этом на поведении почвенных коллоидов оказывают решающее влияние реакция среды и наличие электролитов в почвенном растворе, часто определяемые типом растительности, постольку прежде всего необходимо различать развитие почв под древесной, травянистой и моховой растительностью.

Так, в условиях одного и того же климатического режима лесной зоны под травянистой растительностью, обеспечивающей ежегодный круговорот значительной части элементов зольного питания и ежегодно дающей большую надземную и корневую массу отмирающих растительных остатков, развивается дерновый процесс. Для этого

<sup>1</sup> Должено на научной конференции Геолого-почвенного факультета ЛГУ 5 мая 1940 г.

процесса характерно интенсивное проявление гумификации при относительной насыщенности почвенного поглощающего комплекса и близкой к нейтральной реакции среды.

Под древесными породами в условиях бореального климата формируются почвы подзолистого профиля, из которых на длительный период извлекаются задерживаемые стволами и корнями зольные элементы. Самый тип растительности приводит к созданию иного режима увлажнения, чем под травянистой растительностью. Создаются предпосылки для обеднения почв катионами и установления кислой реакции почвенного раствора, что усугубляется, а возможно, в значительной мере стимулируется, сменой бактериального населения почвы грибным или, во всяком случае, появлением в лесах преобладания последних. Все это приводит к перегруппировке компонентов коллоидальной части почвы и к частичному, а порой и полному, перераспределению их в пределах почвенного профиля и к вымыванию их в почвенно-грунтовые воды.

Следует здесь же оговорить, что не все леса способны оказывать подобное разрушающее воздействие на почвенный поглощающий комплекс. Леса умеренно-теплого климата вообще и особенно сухие леса типа шибляка Крымско-Кавказского побережья или ореховые леса горных районов Средней Азии не вызывают резкого нарушения равновесия ацидоидной и базоидной групп коллоидов в отдельных горизонтах почв. Это последнее обстоятельство заставляет особенно внимательно отнестись к идеям В. Р. Вильямса о роли мира микроорганизмов в почвообразовании и обязывает учитывать при почвообразовании биоценоз в целом, как единую систему воздействия и взаимодействия с почвообразующей породой, приводящую к формированию тех или иных почв. В сухих лесах умеренно-теплого (средиземноморского) климата так же, как повидимому и в буковых лесах Средней Европы, роль грибов в разложении растительных остатков заметно ограничена. В почвах господствует реакция, близкая к нейтральной, что содействует развитию бактерий в большей степени, чем грибов.

Третьей экологически своеобразной растительной группировкой являются ценозы мохового и лишайникового характера. Отсутствие корневых систем и способность мхов удерживать большие количества выпадающих атмосферных осадков приводят к резкой дифференцировке органических и минеральных горизонтов в почве, к ослаблению процессов распада органических остатков, к появлению раскислительных процессов в минеральных горизонтах и к установлению кислой реакции почвенного раствора. Возникают различные торфяно-глеевые почвы.

На основании сказанного, теоретически является допустимым, что в условиях любого климатического режима также встречаются почвы неодинакового характера под различными типами растительности. Встречающиеся в области бореального (умеренно-холодного) лесного климата подзолистые почвы под лесами, дерновые — под луговыми ассоциациями и торфяно-глеевые (болотные) под моховым покровом — все являются зональными образованиями, все должны рассматриваться как равноправные сочлены данной почвенной зоны, которую поэтому следует называть не просто подзолистой, а дерново-

глево-подзолистой. В отдельных областях и районах данной зоны тот или иной тип почв является преобладающим.

По мере изменения климатического режима самый характер древесных группировок сменяется. Хвойные леса к югу сменяются широколиственными с глубокой корневой системой, с заметно изменяющимся характером биоценоза в целом. С другой стороны, травянистая растительность постепенно обогащается ксерофитными формами. Соответственно изменяется и почвенный покров, представляемый сочетанием в основном северных вариантов чернозема и серых лесных почв. Зону эту следует называть черноземно-подзолистой. В условиях сухого (аридного) климата на направление почвообразования и последовательные сдвиги в нем оказывает влияние дифференцирующаяся травянистая растительность. Мезофиты, ксерофиты и галофиты каждый по своему воздействуют на почву. Соотношение и характер их, определяемые макро- и микроклиматическими условиями, приводят в конце концов, благодаря зональной смене климатов, к зональной смене почв в пределах развития травянистых ценозов. Зона черноземная сменяется к югу солонцово-каштановой, а та в свою очередь уступает место солончаково-сероземной.

§ 2. Условия наибольшего благоприятствования для развития того или иного типа растительности в пределах отдельных климатических зон создаются рельефом местности и характером почвообразующих пород. По-разному воспринимаются выпадающие осадки почвами различного механического состава и находящимися в различных условиях экспозиции. Сток выпадающих атмосферных осадков по поверхности, просачивание их через почву и поглощение почвой будут неодинаковы на почвах песчаных и глинистых на равнинах и в расчлененной местности. Все это приводит к чрезвычайной пестроте, напряженности процесса почвообразования и позволяет наблюдать под одним и тем же типом растительности различную степень развития одного и того же процесса. Так, в таежной области выделяются слабо-, средне- и сильно-подзолистые почвы; в лесостепи под широколиственными лесами слабо-, средне- и сильно-оподзоленные темные и светлые лесные почвы; в степной зоне — карбонатные, типичные и выщелоченные черноземы. Наличие различных степеней выраженности того или иного типа почвы в пространстве свидетельствует о существовании последовательных фаз развития почвы во времени.

Смена климатических режимов в зональном аспекте, вызывая соответствующие изменения в смене почвообразовательных процессов, позволяет, кроме того, единый почвообразовательный процесс расчленить на две стадии развития во времени. Первая стадия определяется выщелачиванием из почвы простых солей — хлоридов, сульфатов, карбонатов и т. п. Она протекает в условиях насыщенности почвенного поглощающего комплекса катионами. Она расчленяется на три фазы: остаточно-карбонатную, полувыщелоченную и выщелоченную. Для остаточно-карбонатной фазы характерно наличие недифференцированного гумусово-карбонатного горизонта и присутствие хлоридно-сульфатного горизонта на глубине до двух метров. Полувыщелоченная фаза отличается разведением гумусового и карбонатного горизонтов и исчезновением хлоридно-сульфатного гори-

зонта, и, наконец, в третьей фазе констатируется появление более или менее ясно выраженного декарбонизированного и лишенного гумуса горизонта.

Вторая стадия связана с разрушением коллоидальной части почвы, что обуславливается выщелачиванием электролитов и дифференцировкой реакции почвенного раствора по профилю почвы. Процесс разрушения коллоидной части почвы в климатогенном ряде почв происходит под воздействием кислой реакции среды и позволяет наметить три фазы развития: слабой ненасыщенности с зачаточным образованием элювиального горизонта, средней ненасыщенности с развитым элювиальным горизонтом и сильной ненасыщенности с резко выраженным элювиальным горизонтом. Для галогенного ряда почв имеет место, кроме того, стадия концентрации солей с фазами поверхностного и перемежающего засоления. Затем для последующей стадии рассоления или осолодчения галогенных почв мы имеем фазы солонца-солончака и типичного солонца, а для последней стадии рассолодчения или осолодчения выделяются фазы осолоделого солонца и подзоловидной солоды.

В прежних моих работах, посвященных вопросам генезиса и классификации почв, расчленение почвообразовательного процесса на стадии и фазы проводилось нечетко, без достаточной принципиальности, или совсем не имело места. Поэтому могли создаваться упрощенные, чисто механические сопоставления стадий (фаз) почвообразования с почвенно-климатическими типами. Между типами почв, их подтипами и разностями, с одной стороны, и стадиями и фазами почвообразовательного процесса, с другой — существуют более сложные взаимоотношения. Одной какой-либо стадии развития почвы во времени могут соответствовать несколько почвенных типов. Точно так же одну и ту же фазу развития почв мы находим как у почв одного типа, так и у почв разных типов. Типы и подтипы почв в пространстве и стадии и фазы почв во времени не являются всегда понятиями тождественными. На развитии этого положения мы и остановимся ниже.

§ 3. Отдельные фазы почвообразования имеют неодинаковое выражение в пространстве. Постараемся развить это положение путем рассмотрения схемы (стр. 122) зональных группировок почвообразовательных процессов. На данной схеме прямоугольниками изображено пространство в последовательной смене зон: глеевой (тундровой), дерново-глеево-подзолистой (таежной), черноземно-подзолистой (лесостепьем), черноземной (степной), солонцово-каштановой (пустынно-степной) и солончаково-сероземной (пустынной).

Большими кругами выделены сочетания почвообразовательных процессов гумидного (влажного) и аридного (сухого) типов. Каждый из них охватывает по несколько зон, и в области лесостепья они налегают друг на друга. Для процессов гумидного типа характерен климатический режим с преобладанием количества выпадающих осадков над испарением влаги с открытой водной поверхности, а для аридного типа — свойственным влажное явление, что отмечено на схеме противоположно направленными стрелками различных размеров. Кроме того, в пределах каждой зоны указаны величины гидротермического коэффициента (Regenfactor), высчитанного по Р. Лангу.

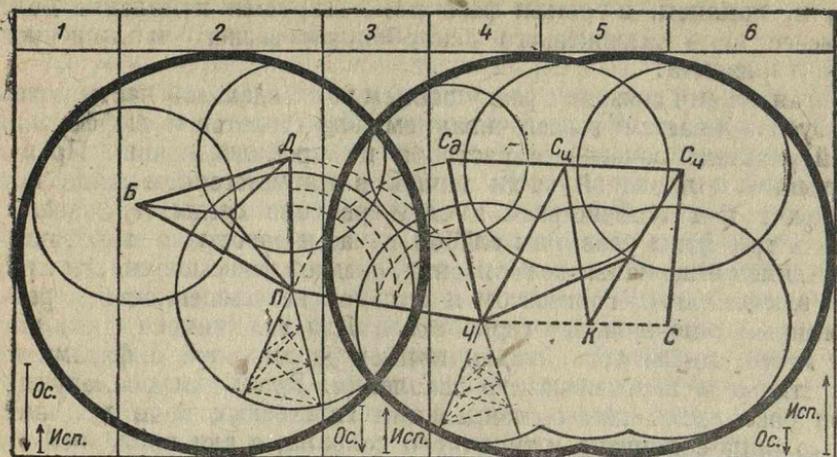


Схема группировок почвообразовательных процессов гумидного и аридного типов в пределах СССР. Составил М. И. Рожанец.

1 — глеевая, экстрагумидная зона; 2 — дерново-глеево-подзолистая гумидная зона  $R > 70$ ; 3 — черноземно-подзолистая, семигумидная зона  $R = 55-70$ ; 4 — черноземная, семиаридная зона  $R = 40-55$ ; 5 — слонцово-каштановая, аридная зона  $R = 25-40$ ; 6 — солончаково-сероземная, экстрааридная зона  $R < 25$ .

В пределах окружности, объединяющей почвообразование гумидного типа, выделяются сектора экстрагумидных, гумидных и семигумидных условий почвообразования, свойственные глеевой, дерново-глеево-подзолистой и черноземно-подзолистой зонам.

Своеобразие почв каштановой и сероземной зон, развивающихся в условиях очень сухого климатического режима, отображено путем сдвига правого большого круга, объединяющего аридные процессы. Таким образом круг приобрел эллипсоидные очертания, и внутри его возникли три смещенных друг по отношению к другу центра развития характерных почвообразовательных процессов. Эта идея отражена только в отношении климатогенного (незасоленного) ряда почв, но она несомненно имеет место и для засоленных почв.

Каждый почвообразовательный процесс в пределах гумидного и аридного климатических режимов проявляет себя как самостоятельно, так и путем сочетания с другими процессами, что в природной обстановке широко распространено благодаря сложной группировке почвообразователей и пространственной изменчивости их. Таким образом возникают генетические ряды почв, к рассмотрению которых и перейдем.

Среди процессов гумидного типа в условиях умеренно-холодного климата различаются подзолистый (П), дерновый (Д) и глеевый (Г). Степень выраженности подзолистого процесса учитывается мощностью элювиальных горизонтов и интенсивностью развития их. Эти два признака следует рассматривать как неподчиненные, независимые друг от друга, поскольку они определяются не только гидротермическим режимом, но и механическим составом и химизмом почвообразующих пород.

Это независимое двоякое расчленение подзолистых почв выражено на схеме двумя самостоятельными линиями, исходящими из

центра подзолистого диска (П). Нанесенные на одной из линий точки соответствуют различной интенсивности подзолистости, а на другой — различной мощности элювиального горизонта. Независимость степени развития признаков друг от друга указана пунктирными линиями, допускающими, например, существование, наряду с мощными, также средне- и маломощными, сильно подзолистых почв и т. п.

Использование мощности элювиальных горизонтов параллельно с интенсивностью подзолообразования в качестве классификационных, диагностических признаков обычно не имело место, несмотря на очевидную целесообразность и практическую важность.

Подобного же рода рассуждения о принципах классификации почв в пределах отдельных типов по руководящим и практически важным признакам, вызванным ведущими процессами, следует применить также к дерновому и болотному процессам.

Между подзолистым и дерновым, подзолистым и болотным, дерновым и болотным типами почв возможно существование промежуточных групп, что выявляется на схеме надвиганием соответствующих дисков друг на друга. В местах надвигов имеют место комплексные процессы, причем в последовательном ряде точек наблюдается постепенно усиление признаков одного процесса при неизменном ослаблении признаков другого процесса почвообразования.

Возможно также сочетание всех трех процессов: подзолистого, дернового и болотного. Примером подобных почв являются оподзоленные влажно-луговые почвы, между прочим широко распространенные в бассейне Зеи и Буреи.

В области семиаридного климатического режима также наблюдается ряд переходных ступеней от подзолистых почв к черноземам, так разнообразно представленным в природе группой серых лесных почв, оподзоленных (деградированных) и выщелоченных черноземов. И там мы наблюдаем различную выраженность процесса подзолообразования, ослабевающего по мере нарастания гумификации.

Комбинированное почвообразование может мыслиться, как одновременно сочетающиеся процессы и как последовательно друг друга сменяющие процессы. Отсюда возникает положение о первичности серых лесных и дерново-подзолистых почв и параллельно с этим о возможном происхождении их путем деградации черноземов или дерновых почв под действием леса и о допустимой реградации (проградации) их главным образом при окультуривании с потерей в конечном итоге признаков оподзоленности.

Если мы будем сравнивать между собою намеченные ряды почв, то можем прийти к выводу о существовании почв в этих рядах, характеризующихся одинаковой степенью напряженности подзолистого процесса. Такие морфологически несходные, но принадлежащие к одной и той же фазе развития почвы предлагается мною называть а н а л о г а м и. Эти аналоги выявлены на схеме пунктирными линиями. Необходимо при этом различать аналоги почв разных порядков. Существуют аналоги, порожденные несходством климатических условий. Так, например, дерново-подзолистые почвы и серые лесные почвы — это климатические аналоги. В первых — дерновый (луговой) процесс, сочетаясь с подзолистым, дает гамму различно

оподзоленных почв, тогда как во втором случае подобное же явление получается в результате одновременного или последовательного сочетания подзолистого и черноземного (степного) процессов. И в том и в другом случае получают подзолистые почвы, но морфологически друг от друга обособленные.

Кроме климатических аналогов, следует различать аналоги почв, развившихся под различными растительными ассоциациями или на различных породах. В пределах дерново-глебово-подзолистой зоны к категории подобного рода аналогов следует относить подзолисто-глебовые, дерново-подзолистые и типично-подзолистые почвы одинаковой степени оподзоленности.

Переходя далее к рассмотрению рядов почв, относящихся к аридной группе почвообразовательных процессов, отметим, прежде всего, что там развитие почв протекает в условиях не кислой, а слабо-щелочной или нейтральной среды. Мы различаем черноземно-(каштаново-сероземно)-солончаковый, черноземно-(каштаново-)солонцовый, черноземно-осолоделый, солончаково-солонцовый и солонцово-осолоделый, а также промежуточные ряды почв. В пределах каждого из четырех типов классификация почв строится на основе учета ведущих признаков, подобно рассмотренному примеру для гумидной группы почв. Так у черноземов, как это явствует из схемы, возможно двоякое деление: по степени гумусности пахотного горизонта, по его тучности и по мощности гумусового горизонта.

Мощность и тучность черноземов — признаки не соподчиненные. Возможно существование мощных средне-гумусных черноземов, как на Украине или даже мало-гумусных, как в Приазовье, и мощных тучных черноземов, как в Тамбовской обл. Среди намеченных рядов почв мы имеем возможность установить аналоги такого, например, типа: осолоделые каштановые солонцы и осолоделые черноземные солонцы, или каштановые солонцы и черноземные солонцы. И в тех и в других почвах может быть констатирована одинаковая напряженность щелочности при различном внешнем морфологическом облике почв.

Черноземный процесс мы рассматриваем как климатическую разновидность степного процесса. Благодаря этому, каштановые почвы, приобретающие свои специфические особенности под воздействием свойственной этим почвам растительности, в условиях очень сухого и континентального климатического режима, следует рассматривать как климатические аналоги чернозема. В такой же мере эти рассуждения относятся и к сероземам, аналогами которых являются карбонатные черноземы.

Идея о климатических аналогах почв обязывает нас еще раз пересмотреть основной таксономический ряд черноземов. Дело в том, что на почвенных картах, помещенных в Атласе мира и изданных под редакцией Л. И. Прасолова, нашла отражение прогрессивная идея о стадийном развитии почв. На этих картах черноземы расчленены на карбонатные, типичные и выщелоченные, соответственно последовательным стадиям выщелачивания простых солей. Прежняя терминология, представляющая отражение географических принципов в классификации, обозначена на этих новых картах в скобках,

преследуя, повидимому, цели преемственности в терминологии, устанавливая таким образом синонимику.

Однако, в настоящее время, исходя из идеи существования климатических аналогов почв, мы должны реставрировать прежнюю терминологию, но не в целях отхода от генетических позиций, а для дальнейшего наступления на них и углубления наших представлений о генетической системе почв.

Выщелоченные и тучные (мощные) черноземы следует рассматривать как почвы семигумидной зоны, уже с поверхности приобретающие слабо-кислую реакцию, характеризующиеся заметно выраженной гидролитической кислотностью. Обыкновенные черноземы — это почвы семиаридной зоны с наиболее инертным почвообразовательным процессом, а южные черноземы, объединяющиеся общностью процесса с темнокаштановыми почвами и уже несущие слабые признаки солонцеватости, являются представителями аридной зоны.

И только после установления климатических вариантов или аналогов черноземов в пределах каждого варианта следует производить дальнейшее расчленение почв по фазам развития. В каждом варианте черноземов могут иметь место представители нескольких фаз, что определяется сложным сочетанием почвообразователей, а среди них литологический момент играет весьма существенную роль.

В свете высказанных положений не является бессмыслицей термин — карбонатный тучный чернозем или выщелоченный южный чернозем. Первая почва имеет широкое распространение в Башкирском Приуралье, в области выходов пестрых мергелей, тогда как вторые часто описываются как темноцветные (черноземовидные) почвы западин. Как правило, однако, южные черноземы являются остаточнокарбонатными и имеют гипсовый горизонт на глубине до 2 м, обыкновенные черноземы являются полувыщелоченными (типичными — по ранее мною предлагавшейся терминологии) и тучные (мощные) черноземы представляют собою первые звенья выщелоченной фазы.

Климатические аналоги имеют место и в условиях вертикальной зональности. Впервые этим термином воспользовался С. С. Неуструев при изучении почв горных областей Туркестана, где им выделялись аналоги каштановых почв и черноземов, которые в настоящее время обычно классифицируются как горные темные сероземы.

§ 4. В условиях аридного режима почвообразования могут встречаться почвы морфологически сходные с типичными представителями гумидных почв. Так, уже давно известно существование в степных областях подзоловидных солодей, которые настолько сходны с типичными подзолами, что их раньше, до изучения сущности осолодения, описывали как подзолы степных западин. В такой же мере это положение относится и к группе почв, развивающейся под травянистым покровом, как в условиях аридного, так и гумидного климатов. Очень часто наблюдается морфологическое сходство дерновых (луговых) почв и черноземов, что порождает появление таких неопределенных терминов, как черноземовидная почва и т. п.

Это обстоятельство обязывает нас для почв, близких по своей морфологии, но различных по генезису, установить особое понятие

КЛАССИФИКАЦИОННАЯ СХЕМА ПОЧВ  
(без ряда заболоченных почв)

Стадии	Выщелачивание простых солей и насыщенность основаниями		Распад коллоидного комплекса и насыщенность основаниями	
Зоны	Карбонатная без дифференц. гор. Н и С	Подувыщелоченн. с дифференц. гор. Н и С	Выщелоченн. с образцов. гор. D	Слабо-ненасыщ. с зачаточн. гор. E
Глеевая — экстрагумидная				Сильно-ненасыщ. с резко развит: гор. E
Дерново-глебово-подзолистая — гумидная		Дерновые почвы (2)		Типичные подзолистые почвы Дерново-подзолистые почвы
Черноземно-подзолистая — семигумидная	Тучные черноземы	Выщелоченн. черноземы (2)		Оподзоленные черноземы (1)
	Луговые солончаки	Буроземы		Серые лесные почвы
Черноземная — семиаридная	Обыкновенные черноземы	Выщелоченн. черноземы понижеший		Осолоделые черноземы (1)
	Солончак, и солонцеватые черноземы	Солонца		Осолоделые солонцы
Солонцово-каштановая — аридная	Южные черноземы и темнокаштановые почвы	Темноцв. почвы западин		Осолоделые почвы западин
	Светлокаштановые почвы			
	Солончак, и солонцово-каштановые почвы			
	Солончаки			
Солончаково-сероземная — экстрааридная	Сероземы	Серобурые почвы		
	Солончаки			

гомологов. В рассматриваемой схеме гомологами будут дерновые почвы и черноземы, подзолистые почвы и солоды, оподзоленные (деградированные) черноземы и осолоделые черноземы и т. п.

Из всего сказанного отчетливо выступает различие между аналогами и гомологами. Аналоги почв встречаются в условиях более или менее сходных климатических режимов, приводящих к одинаковой направленности почвообразования. Аналоги охватывают почвы одних и тех же фаз развития, но морфологически часто несходны. В нашей схеме аналоги ограничены только одним каким-либо кругом процессов — аридных или гумидных, тогда как гомологи, наоборот, объединяют почвы генетически неоднородные, но морфологически близкие.

Введение понятий аналогов и гомологов почв должно содействовать разработке вопросов систематики почв, установлению параллельных рядов почв и уяснению тех форм почвообразования, которые возникают при дифференцировке процесса в пространстве и во времени.

Попытаемся в заключение дать общую классификационную схему почв СССР на основе одновременного учета пространственного их размещения и фаз развития. Эта схема ни в какой мере не претендует на исчерпывающую полноту. В ней не учтены совершенно почвы болотного ряда и почвы влажных Советских субтропиков. Кроме того, умышленно не отражена в целях сохранения стройности схемы роль литологического фактора, сильно раздвигающего границы распространения отдельных типов почв. Таковыми являются песчаные породы, продвигающие подзолистый процесс и к северу в тундру и к югу в степные и пустынно-степные области, а также известковые породы, расширяющие пределы развития перегнойно-карбонатных почв, близких по своей природе к почвам степной зоны.

Основное назначение предлагаемой классификационной схемы заключается в том, чтобы прежде всего подчеркнуть идею единства почвообразовательного процесса, всегда и везде порождаемого сочетанием одних и тех же почвообразователей, но в различном их качественном проявлении. Эта идея приводит нас к представлениям о существовании стадий и фаз развития почвы.

Почва, как продукт взаимодействия живых и отмирающих растительных и животных организмов с почвообразующими породами, может развиваться в различных гидротермических условиях среды, которые могут отличаться относительной константностью в отдельных точках при значительном пространственном разнообразии. Поэтому выделенные по характеру гидротермического режима надземных слоев атмосферы климатические области позволяют нам признать существование в пространстве самостоятельных вариантов развития единого почвообразовательного процесса в каждой такой климатической области для каждого из трех рядов почв: климатогенного, галогенного и гидрсгенного. Каждый из этих вариантов развития имеет своеобразные морфологические и химические особенности для отдельных стадий и фаз, что и приводит нас к идее о существовании аналогов и гомологов в системе почв. В схеме почвенные аналоги и гомологи размещены в одних и тех же вертикальных рядах, причем гомологами являются почвы, выделенные цифрами в скобках.

СЕРИЯ ГЕОЛОГО-ПОЧВЕННЫХ НАУК, ВЫП. 12

## ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ХИМИЗМЕ ЧЕРНОЗЕМА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОСАДОК И ЗАВИСИМОСТИ ЭТИХ ИЗМЕНЕНИЙ ОТ СОСТАВА НАСАЖДЕНИЙ

А. Ф. Цыганенко

Как в теоретическом, так и в практическом почвоведении учение о метаморфозе почв в результате смены растительного покрова лежит в основе представлений об эволюции почвенных образований и изменении их производственных качеств. Особо важное значение имеет изучение указанного метаморфоза почв в связи с выяснением генезиса и освоением почв такой переходной ландшафтной зоны, как лесостепь, где почвенный покров формировался под переменным влиянием лесной и степной растительности.

Наши исследования касаются только явления метаморфоза степных черноземных почв под влиянием искусственного облесения. Как известно, по данному вопросу имеется уже целый ряд работ (1, 2, 3, 4, 5, 6), но ввиду того, что в проведенных исследованиях не изучались изменения в качественном составе органической части почвы и мало освещалась роль состава насаждений, нами и было, по совету покойного проф. С. П. Кравкова, предпринято настоящее исследование.

Материал был собран на территории Велико-Анадольского лесничества и Мариупольской лесомелиоративной станции (Украина) в июле—августе 1935 г. Аналитическая обработка материала проведена автором в 1936 г. в лаборатории экспериментального почвоведения ЛГУ.

Свой скромный труд автор посвящает светлой памяти дорогого учителя — Сергея Павловича Кравкова.

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Велико-Анадольский лес представляет собой искусственно созданный лесной массив площадью около 2000 га и состоит в основном из сплошных насаждений и только отчасти из лесозащитных полос различной ширины (территория Мариупольской лесомелиоративной станции<sup>1</sup>). Посадки здесь начаты в 1843 г. и продолжают по настоящее время.

<sup>1</sup> Бывшее Мариупольское опытное лесничество.

Описываемая территория расположена на Приазовском отроге Донецкой возвышенности (Азовский горст),<sup>1</sup> являющемся водоразделом между бассейнами Днепра (его притока — р. Самары) и р. Кальмиус, впадающей в Азовское море. Водораздельная линия этих бассейнов проходит по территории описываемых лесничеств. Рельеф поверхности участка широковолнистый и слабо расчленен относительно густой сетью балок и их отвершков — плоских лощин. Колесания абсолютных высот в пределах описываемой территории от 200 до 280 м. Склоны в общем пологие, но в нижних своих частях имеют резкие перегибы и часто круто спускаются к нешироким днищам балок.

Почвообразующей породой здесь везде является глинистый лёсс, покрывающий сплошным плащом, мощностью до 15 м, песчано-каолиновую древнюю кору выветривания (мощностью в несколько метров) гранито-гнейсового массива.

Лёссовая толща очень однородна по механическому составу и кажется слоистой только от неравномерного распределения обильных количеств карбонатов и гипса, а также наличия нескольких (2—3) погребенных гумусовых горизонтов.

Климатический режим района определяется такими данными (с 1893 по 1926 г.): среднегодовая температура воздуха 8°.2 (колебания 12°.5—6°.0). Осадки дают колебание от 680 до 224 мм.

Как по климатическим показателям, так и по естественной растительности этот район следует характеризовать как ковыльно-разнотравную степь. Наличие здесь более северной степи, по сравнению хотя бы с прилегающей территорией с запада, объясняется явлением вертикальной зональности.

Гидрологические условия участка характеризуются хорошим поверхностным стоком и дренажем, хотя последний местами заметно изменен большим количеством искусственно созданных по балкам прудов. Грунтовые воды довольно жестки и на водоразделе находятся на небольшой глубине.

Почвенный покров района относительно однообразен и представлен преимущественно типичным (обыкновенным) мощным черноземом. Согласно исследованиям Высоцкого (7), Махова (6) и Кавалеридзе (8), а также нашей рекогносцировке, в топографии почвенного покрова данного района наблюдаются следующие закономерности.

На плоских водоразделах — черноземы типичные с мощностью гумусовых горизонтов около 80 см; вскипание с 40—50 см, горизонт белоглазки от 105 до 150 см.

На пологих северных и северо-западных склонах к балкам и в понижениях — черноземы типичные с мощностью гумусовых горизонтов до 90 см; вскипание около 80 см, горизонт редкой белоглазки от 120 до 160 см.

Южные пологие склоны к балкам покрыты типичными черноземами с мощностью гумусовых горизонтов около 75 см, вскипающими около 40 см; горизонт белоглазки от 90 до 130 см.

<sup>1</sup> Между станциями Велико-Анадоль и Волноваха Южно-Донецкой ж. д., пересекающей территорию лесничества.

На перегибах от плато к склонам мощность гумусовых горизонтов не превышает 60 см, вскипание до 40 см, горизонт белоглазки от 80 до 130 см.

По понижениям в верховьях балок и их отвершков-лощин черноземы выщелоченные мощные, с развитым бурым иллювиальным горизонтом и вскипающие глубже 100 см.

Характерной особенностью почвенного покрова данного района является почти повсеместная перерытость землероями. Местами почвы настолько перерыты, что вскипают от НС1 с самой поверхности.

#### МЕТОДИКА СБОРА МАТЕРИАЛА И ПОЛЕВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Имея целью выяснить разницу влияния на степную почву лесных посадок, отличающихся составом насаждений, нам нужно было найти такие участки, где бы на максимально близком расстоянии в идентичных условиях рельефа была целинная степь и минимум две различных породы деревьев были бы представлены в пашне чистом с насаждений. Как и следовало ожидать, такие места найти оказалось почти невозможно. После довольно долгих поисков сочетаний необходимых условий пришлось остановиться на следующем. На территории Мариупольского опытного лесничества полоса № 57 состоит из двух полос (шириной по 20 м): одна засажена крымской сосной, а вторая — дубом. Возраст этих насаждений около 20 лет. Рядом (в 50 м) с полосой № 57 был обнаружен небольшой участок очень старой залежи (продолжение полосы № 7). Здесь и были заложены три основных разреза: на залежи (р. № 14), под крымской сосной (р. № 15) и под дубом (р. № 16). Для контроля были дополнительно заложены разрезы под дубом (р. № 17) рядом с разрезом № 16, разрез № 18 на пашне рядом с полосой № 57 и разрез № 19 в полосе № 4 (дуб, берест, ясень) в 50 м от разреза № 14. Разрезы №№ 14, 15, 16, 17 и 18 были заложены в идентичных (насколько можно было определить это на-глаз) условиях рельефа; разрез № 19 (контрольный) заложен несколько выше по едва заметному склону. Весь же этот участок имеет незначительный уклон на юго-восток к слабо выраженной лощинке.

К этой группе разрезов можно присоединить и разрез № 11, который был заложен в совершенно аналогичных условиях рельефа, но на расстоянии 2—2,5 км на юг уже вне лесных полос на пашне.

Следующие основные разрезы были заложены на территории Велико-Анадольского лесничества в цирковом квартале (27/13).<sup>1</sup> Здесь на близком расстоянии в идентичных условиях рельефа были сделаны разрезы №№ 2 и 3 под 23-летним сосновым насаждением (уч. 14), разрезы №№ 4 и 5 под ясеневым насаждением (уч. 6) возрастом около 40 лет. В этом же квартале были заложены два разреза под самыми старыми насаждениями в лесничестве (уч. 24 и 3); разрезы №№ 7 и 33 под группой дубов возрастом около 85 лет и разрез № 34 под смешанным насаждением из ясеня, вяза и клена; возраст 45 лет. Последние три разреза (№№ 7, 33 и 34) заложены на расстоянии около 200 м

<sup>1</sup> Нумерация кварталов Велико-Анадольского лесничества дается дробью: числитель — № старой, а знаменатель — № существующей теперь нумерации.

от разрезов №№ 2, 3, 4 и 5, дальше от балки, и здесь условия для стока поверхностных вод менее благоприятны, чем на участке разрезов №№ 2, 3, 4 и 5.

Следующая группа разрезов была сделана в кварталах 20/17 и 31/24. Здесь на участке целины, на поляне около главной усадьбы Мариупольского опытного лесничества, был заложен разрез № 22. Рядом в этом же квартале были заложены разрезы под дубовым (р. № 23) и под ясеневым (р. № 24) насаждениями.

Несколько в других условиях рельефа были заложены разрезы в соседнем квартале (20/17), где неширокими полосами чередуются насаждения сосново-дубовое (рр. №№ 27, 28 и 29), ясеневое (р. № 26) и дубовое (р. № 25). Здесь начинается малозаметная ложинка, идущая к балке Кашлагачке. На небольшом сравнительно расстоянии, в пределах которого расположены упомянутые пять разрезов, чувствуются неровности микрорельефного порядка, и разрезы №№ 25 и 27 сделаны в таких микропонижениях.

Для большей уверенности в выявленных закономерностях и для выяснения некоторых деталей были заложены в различных кварталах лесничества еще 13 разрезов.

Из всех разрезов, до некоторой степени отвечающими требованиям нашего исследования, является только группа разрезов №№ 14, 15 и 16, где есть разрезы на залежи, под сосной и дубом. Во всех остальных группах разрезов мы имеем только по два сравнимых разреза под насаждениями из различных пород. Разрезы № 22 (целина) и № 11 (пашня) только примерно можно сравнивать с разрезами, заложёнными в аналогичных условиях под лесом.

Морфологические особенности почв, обнаженных в перечисленных разрезах, рассмотрим по группам разрезов в одинаковых условиях рельефа.

В группе разрезов №№ 11, 14—18 разрезы №№ 16 и 17 (заложённые под дубовым насаждением) выделяются среди однотипных остальных разрезов (№№ 14, 15 и 18) повышенным уровнем вскипания и выделениями карбонатов. Детальный морфологический анализ этих профилей показал явные признаки перерытости землероями профиля № 17 по всей глубине, а профиля № 16 ниже 40 см. Это сказалось и на глубине залегания горизонта белоглазки, который в разрезах №№ 16 и 17 начинается еще в пределах переходного горизонта (с 90 см).

Сравнивая морфологические особенности этой группы профилей, мы нашли прежде всего большое сходство разрезов № 14 (залежь) и № 18 (пашня). К этим разрезам близок разрез № 11 (пашня), он отличался только относительно влажной почвой (участок в это время был под черным паром) и потому копался сравнительно легко. Разрезы №№ 16 и 17 (под дубом) отличались сильной иссушенностью и большой плотностью почвы. Разрез № 15 (под сосной крымской) по сухости и плотности почвы занимал среднее положение между разрезами под дубом и под залежью.

В структуре почв этих разрезов заметно, как зернисто-комковатая структура почвы необлесенных участков под лесом переходит в слитозернистую и ореховато-комковатую. В разрезе № 15 (сосна) бросается

в глаза относительно резкая линия вскипания и около нее слабое побурение. Возможно, что несколько пониженный уровень вскипания (около 5 см) под посадкой из сосны, по сравнению с залежью и пашней, является результатом влияния посадки.

Среди разрезов, заложенных в парковом квартале Велико-Анадольского лесничества, сравниваемы могут быть две группы разрезов: 1) №№ 5, 4, 2, 3 и 2) №№ 7, 33, 34.

В первой группе разрезов наглядно видна разница в воздействиях на почву крайне различных пород: ясеня и сосны (с примесью ели и лиственницы). Прежде всего заметно большее иссушение почвы под ясенем (копать разрезы №№ 4 и 5 было трудно). Структура в верхней части гумусового горизонта в почве под ясенем мелкозернистая и порошистая, а под сосной — комковатая.

Почва во всех этих разрезах заметно перерыта, но больше всего это выражено в разрезе № 4, чем, вероятно, и следует объяснять в нем резко повышенный уровень вскипания. Повышенное на 20 см вскипание в разрезе № 5 (ясень) по сравнению с разрезами №№ 2 и 3 (сосна), вероятно, является результатом неодинакового влияния на почву различных пород деревьев.

Вторая группа разрезов была заложена под самыми старыми (85-летними) посадками в лесничестве: разрезы №№ 7 и 33 под группой дубов и разрез № 34 под насаждениями из ильма и ясеня. Большая мощность гумусовых горизонтов и пониженный уровень вскипания в этих трех разрезах, по сравнению с первой группой разрезов, вероятно, являются результатом, во-первых, того, что здесь наблюдается незначительное понижение (микрорельефного порядка), а во-вторых — более продолжительного воздействия леса. Почва в разрезах №№ 7 и 33 (дуб) заметно влажнее, чем в разрезе № 34 (ильм + ясень). В разрезах №№ 7 и 33 хорошо заметно посерение (при подсыхании) поверхности крупнозернистых отдельностей из нижней части гумусового горизонта. Выше линии вскипания хорошо выражен горизонт вымывания полуторных окислов: ниже линии вскипания (105 см) заметна белесоватость от жилок карбонатов. Белоглазка редкая, но крупная с 140 см; до 140 см встречаются пятна — остатки от растворенной белоглазки. Все эти признаки выщелоченного чернозема в разрезе № 34 (под ильмово-ясеневым насаждением) выражены заметно слабее.

Все разрезы, заложенные в кварталах 17/20 и 24/31 Велико-Анадольского лесничества (№№ 27, 25, 28, 26, 22, 23, 24), могут быть сравниваемы друг с другом только условно, так как они находятся на относительно большом расстоянии друг от друга и на различных элементах микрорельефа. Такое условное сравнение можно сделать между разрезами № 27 (сосна + дуб) и № 25 (дуб), которые оба заложены в аналогичных условиях рельефа — в микропонижениях. Оба профиля представлены выщелоченными черноземами с хорошо выраженными иллювиальными горизонтами. Так же можно сравнивать и разрезы №№ 28 и 26, которые заложены на малозаметных микроповышениях. Здесь хорошо видна разница во влияниях, с одной стороны, смешанного насаждения сосны и дуба (р. № 28), а с другой — ясеня (р. № 26): под ясенем почва значительно суше,

вскипание выше, и сильнее развит горизонт белоглазки, чем под сосной и дубом. Но, повторяем, здесь нельзя быть уверенным, что указанная разница в почве — результат различия в составе насаждений, ибо почвы здесь могли быть различными и до облесения.

Более уверенно можно говорить о некоторой идентичности условий рельефа там, где заложены разрезы № 22 (целина) и № 23 (дуб + ильм + ясень). Почва в разрезе под лесом значительно суше и копается жестче. Структура в пределах гумусового горизонта в почве под лесом слитозернистая, тогда как в почве под целиной — зернисто-рыхло-комковатая. Почва в разрезе № 24 (ясень) более выщелочена, чем в разрезе № 23 (дуб + ильм + ясень), вероятно в результате того, что этот разрез заложен дальше от малозаметного перегиба в рельефе к ложине и здесь менее выражен поверхностный сток.

Остальные разрезы были заложены в других кварталах лесничества для выяснения различных вопросов. Так, например, в квартале 6/5 были заложены разрезы № 8 (кустарники из клена татарского), № 9-а (дуб + клен), № 9-б (дуб + клен) и № 10 (пашня). Эта группа разрезов составила профиль от поляны в лесу (р. № 8) через опушку леса (р. №№ 9-а и 9-б) в поле (р. № 10). Интересно, что наиболее выщелоченной оказалась почва в разрезе № 10 (поле), а наименее — под кустарниками на поляне. Последующее изучение рельефа показало, что разрез № 10 заложен на более пониженном месте, чем разрезы №№ 9-а и 9-б. Заслуживает внимания и тот факт, что разрез № 9-б заложен на расстоянии 15 м от опушки леса, где по указаниям местных жителей больше всего накапливается снега. Но несмотря на это, выщелачивание почвы здесь не достигло той степени, какую имеет почва в малозаметном понижении на пашне (на расстоянии 170 м от леса). Кроме того, глубже в лесу (в 50 м от опушки) был сделан разрез № 9-а, который обнаружил профиль, аналогичный профилю разреза № 9-б. Следует отметить, что данный квартал (6/5) является одним из самых старых в лесничестве, т. е. лес здесь уже около 80 лет.

В квартале 10/9 под ясеневым насаждением (посадка 1874 г.) теперь уже второе, порослевое поколение, которое имеет довольно угнетенный вид<sup>1</sup> и где сильно развит травяной покров, был сделан разрез № 31. А в 75 м в квартале 11/10 в идентичных условиях рельефа под смешанным насаждением (дуб, ясень, клен и ильм) был сделан разрез № 32. Ясень и ильм здесь посадки 1880 г., а дуб (в порядке исправления насаждения) посажен 27 лет назад. Примерно в аналогичных условиях рельефа вне леса был заложен разрез № 30. Почва под ясеневым насаждением заметно суше, вскипание выше только на 2—3 см, горизонт белоглазки выражен заметно резче, чем под смешанным насаждением. Почва в разрезе № 30 (на пашне) сильно перерыта и вскипает в проходном горизонте, но горизонт белоглазки здесь заметно понижен по сравнению с разрезами в лесу.

В квартале 47/60 под смешанным насаждением из клена и ильма (посадка 1885 г.) был заложен разрез № 10, и рядом в квартале 35/59 под

<sup>1</sup> Значительная часть этого квартала когда-то погибла и теперь на таких участках пашня.

насаждением из ясеня (насаждение тоже 1885 г.) был сделан разрез № 21. Почва в разрезе под насаждением из клена и ильма менее суха, и разрез копался значительно легче, чем под ясенем. По степени выщелоченности оба разреза почти одинаковы.

И, наконец, еще два разреза были заложены на территории Мариупольского опытного лесничества в массивчике № 32. Здесь под дубовым насаждением 35-летнего возраста был заложен разрез № 12, и рядом под насаждением из ясеня того же возраста был заложен разрез № 13. Место, где заложены разрез № 13, представляет заметное понижение к очень плоской ложинке. Разрезы обнаружили: под ясеневым насаждением почву более выщелоченную, судя по уровню вскипания и мощности гумусовых горизонтов, но более высушенную, чем под дубовым насаждением.

Таковы наши наблюдения в поле. Для лабораторной обработки из 18 разрезов были взяты послойные образцы как почв, так и подстилок. Подстилки брались с площадок в 1 кв. м на участках, где они имели среднюю мощность для данного насаждения. Взвешенные при одинаковой степени сухости (в условиях лаборатории), образцы подстилок дают некоторое представление о количестве подстилки под различными насаждениями (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1

Насаждения	Вес воздушно-сухой подстилки	
	На 1 кв. м в кг	На 1 га в т
Ясень. Возраст около 50 л. (у р. № 5) . . . . .	1.35	13.5
Ясень. Возраст поросли около 15 л. (у р. № 26) . . .	0.90	9.0
Ясень. Возраст около 35 л. (у р. № 13) . . . . .	1.75	17.5
Ясень, ильм и клен. Возраст около 45 л. (у р. № 34) .	0.95	9.5
Дуб. Возраст около 35 л. (у р. № 12) . . . . .	1.80	18.0
Дуб. Возраст около 85 л. (у р. № 7) . . . . .	2.2	22.0
Сосна (с примесью ели). Возраст около 25 л. (у р. № 2)	2.65	26.5

Интересно то, что под ясеневыми насаждениями максимальное накопление подстилки наблюдается не в самых старых насаждениях (как это видим под дубом), а в средневозрастных.

Понятно, что такая методика учета подстилки является весьма грубой, и приведенные данные могут свидетельствовать только о порядке этих величин.

#### АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛА

Образцы почв и подстилок анализировались по следующей программе и методике. Общий углерод определялся по Кюпу, общий азот по Кьельдалю, рН водной суспензии при отношении почва: вода = 1:2.5 и подстилка : вода = 1:30 электрометрическим способом с хингидронным электродом, обменные кальций и магний по Гедройцу (вытеснением 1.0 н. раствором хлористого аммония).

ТАБЛИЦА 2

Валовое содержание гумуса и азота в почвах Велико-Анадоля

(в % от абс.-сухой почвы)

Горизонты	Р. № 2, насаждение из сосны	Р. № 5, насаждение из ясеня	Р. № 7, насаждение из дуба	Р. № 34, насаждение из ильма и ясеня	Р. № 22, целин. степь на поляне	Р. № 26, насаждение из ясеня	Р. № 28, насаждение из сосны с прим. дуба	Р. № 14, старая залежь	Р. № 15, полоса из сосны крымской	Р. № 16, полоса из дуба	Р. № 11, пашня.
	Г у м у с										
0-10	6.48	9.13	8.44	8.42	8.98	7.97	7.89	8.10	6.80	6.63	7.45
10-20	5.47	6.28						6.93	6.74	6.65	
20-30	4.61	5.90	6.36	6.92	7.43	6.22	5.81	6.39	6.19	5.94	
30-40	4.19	4.87						4.90	5.23	5.05	
40-50	3.94	4.54						4.42	4.91	4.24	
50-60	3.47	3.64			4.30			4.30	4.37	3.43	
60-70	1.80	2.94						3.10	2.30	2.20	
А з о т											
0-10	0.289	0.477	0.386		0.428			0.357	0.324	0.345	0.315
20-30	0.220	0.269						0.286	0.294	0.264	
50-60	0.169	0.207						0.190	0.179	0.180	
О т н о ш е н и е у г л е р о д а к а з о т у											
0-10	13.0	11.1	12.5		12.1			11.5	12.3	11.2	13.6
20-30	12.2	12.5						12.0	12.4	13.0	
50-60	11.2	9.9						13.1	13.8	11.1	

13 образцов (из 8 разрезов) были проанализированы по методу Ваксмана (9). Последний метод был применен в наиболее распространенной модификации, а именно, были сделаны следующие определения: а) сумма веществ, растворимых в спиртобензольной смеси, б) углерод и азот веществ, растворимых в горячей воде (при кипячении в течение 5 часов), и количество сухого и прокаленного остатка в этой вытяжке, в) углерод и азот веществ, гидролизуемых при кипячении в течение 5 часов с 1.0 н.  $H_2SO_4$  (группы гемицеллюлоз), г) углерод и азот веществ, гидролизуемых при действии в течение 2 часов 80%  $H_2SO_4$  на холоду и последующим кипячением с 5%  $H_2SO_4$  (группы целлюлозы) и д) углерод и азот негидролизованного остатка.

Кроме того, доцентом кафедры экспериментального почвоведения ЛГУ Т. Л. Симаковой<sup>1</sup> было проведено изучение части образцов этих почв в микробиологическом отношении.

### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрение результатов анализов начнем с данных об общем углероде. Эти данные, перечисленные на гумус, приведены в табл. 2.

Попытаемся проследить влияние леса на общее содержание гумуса. В группе разрезов: № 14 (залежь), № 15 (сосна) и № 16 (дуб) хорошо выражено обеднение гумусом верхних и, наоборот, обогащение нижних частей гумусовых горизонтов почв под лесными полосами. В разрезе № 16 (под дубом) передвижение гумуса не выражено, вероятно потому, что здесь почва значительно перерыта и вскипает около 40 см. Учитывая состав насаждений, видим, что как под сосной, так и под дубом убыль гумуса в самом верхнем горизонте выражена примерно одинаковыми величинами.

Данные других разрезов дают основания судить только о разнице в количествах гумуса, обусловленной различием состава насаждений, но не могут свидетельствовать об изменениях в содержании гумуса, происшедших после посадки леса, потому что нет разрезов в идентичных условиях рельефа на целине.

Различное влияние на гумусонакопление в почве таких крайне различных пород, как сосна и ясень, хорошо видно при сравнении «пары» разрезов: № 2 (сосна) и № 5 (ясень). Большое количество гумуса под ясенем выдерживается по всему профилю, и максимальная разница (в 2,6%) наблюдается в самых верхних горизонтах. Здесь, кроме того что под ясеневым насаждением гумус лучше сохраняется (почва всегда суше, рН — выше), вероятно решающим являются характер и количество исходного материала для гумусообразования: во-первых — подстилка, во-вторых, в результате ажурности крон светолюбивого ясеня, под его пологом почти всегда есть травянистая растительность и, в-третьих, под ясенем всегда верхние горизонты почвы настолько густо переплетены мельчайшими корешками деревьев, что образуют своеобразную дернину с мелкозернистой и порошистой структурой почвы; остатки этих корешков, повидимому, тоже являются

<sup>1</sup> Пользуюсь случаем выразить признательность Т. Л. Симаковой за представленные мне данные о микрофлоре этих почв.

значительным источником гумусонакопления, или компенсации разрушения гумуса под насаждениями из ясеня.

Под насаждениями, с одной стороны — ясеневым (р. № 26) и с другой — смешанным (р. № 28) из дуба и сосны разницы в содержании гумуса нет. Правда, эти насаждения сравнительно молодые (около 20 лет), но аналогичная картина наблюдается и под самыми старыми (80-летними) насаждениями, но с одной стороны смешанными (ясень,

ТАБЛИЦА 3

Обменные основания почв Велико-Анадоля  
(в м-экв. на 100 г абс.-сухой почвы)

Горизонты	Р. № 2, насаждение из сосны		Р. № 5, насаждение из ясеня		Р. № 22, целинная степь (по поляне)	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
0—10	56.0	6.6	64.3	8.8	70.0	8.1
20—30	49.15	5.8	57.8	5.3	68.0	6.6
50—60	42.7	6.4			58.8	5.2

Гори зонты	Р. № 14, старая залежь		Р. № 15, полоса из крымской сосны		Р. № 16, полоса из дуба	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
0—10	70.8	6.9	66.7	7.7	61.9	6.1
20—30	66.7	6.2	63.8	6.1	63.6	5.8
50—60	—	—	56.8	5.7	—	—

ТАБЛИЦА 4

pH почв Велико-Анадоля

Горизонты	Р. № 2, насажде- ние из сосны	Р. № 5, насажде- ние из ясеня	Р. № 7, насажде- ние из дуба	Р. № 34, насажде- ние из ясеня и ильма	Р. № 1, насажде- ние из ильма и ясеня	Р. № 31, насажде- ние из ясеня	Р. № 32 насажде- ние из ясеня и дуба
Подстилка	{6.24 5.86	7.05 7.42	6.80 6.43	7.46	—	—	—
1—0	6.33	6.90	6.24	7.0	7.52	6.9	6.67
10—20	7.04	6.98	—	—	—	—	—
20—30	6.96	7.00	6.19	6.7	7.6	7.0	6.92
30—40	7.18	7.05	—	—	—	—	—
40—50	7.23	7.68	—	—	—	—	—
50—60	7.21	7.72	—	—	—	—	—
60—70	7.39	7.72	—	—	7.7	—	—
80—90	—	—	6.43	7.04	—	—	—

Горизонты	Р. № 22, целинная степь (поляна)	Р. № 28, насажде- ние из сосны и дуба	Р. № 26, насажде- ние из ясеня	Р. № 27, насажде- ние из сосны и дуба	Р. № 25, насажде- ние из дуба		
Подстилка	—	—	7.55	—	—		
1—10	7.45	6.90	7.16	6.77	6.34		
10—20	—	—	—	—	—		
20—30	7.40	6.58	6.82	6.69	6.26		
30—40	—	—	—	—	—		
40—50	—	—	—	—	—		
50—60	7.25	—	—	—	—		
60—70	—	7.01	7.5	—	—		
100—110	—	—	—	6.87	7.40		

Горизонты	Р. № 14, старая залежь	Р. № 15, полоса из крым- ской сос- ны	Р. № 16, полоса из дуба	Р. № 12, насажде- ние из дуба	Р. № 13, насажде- ние из ясеня	Р. № 11, пашня
1—10	7.45	6.67	6.48	6.22	7.07	7.0
10—20	7.17	6.83	6.72	—	—	—
20—30	7.37	7.21	6.81	6.67	6.62	7.16
30—40	7.23	7.35	7.46	—	—	—
40—50	7.29	7.03	7.7	7.0	—	—
50—60	7.44	7.28	7.8	—	—	—
60—70	7.67	7.46	8.0	7.5	—	—
80—90	—	—	—	—	6.82	—
100—110	—	—	—	—	7.5	—

ильм и клен, р. № 34) и чистым дубовым (р. № 7). Это, как будто бы, свидетельствует только об ощутимой разнице в роли пород хвойных и лиственных в гумусообразовании. Данные о содержании гумуса под сосной крымской (р. № 15) и дубом (р. № 16) говорят об обратном, а именно: здесь под дубом гумуса немного меньше, чем под сосной. Но данные разрезы (№№ 15 и 16) трудно сравнивать, так как они не в одинаковой степени перерыты землероями.

Аналогичны и изменения в количествах валового азота. В отношениях углерода к азоту никаких закономерностей уловить не удастся.

Количества обменных оснований (табл. 3) почти везде повторяют изменения в количестве гумуса. Некоторое увеличение (хотя в пределах точности метода) суммы обменных оснований на глубине 20—30 см по сравнению с верхним горизонтом в разрезе № 16, вероятно, следует объяснять тем, что этот профиль заметно перерыт землероями.

Данные о рН водной суспензии почв (табл. 4) свидетельствуют как о разнице в реакции почв облесенных и необлесенных (под лесом везде рН заметно ниже), так и об особенностях отдельных пород деревьев, обуславливающих разницу в величинах рН почвы под насаждениями различного состава. Так, например, везде выдерживается закономерность: наименьшие величины рН мы наблюдаем под дубовыми насаждениями, наибольшие под ясеневыми, а сосновые наса-

ТАБЛИЦА 5

Количество веществ, растворимых в спиртобензольной смеси в почвах Велико-Анадоля (в % от абс.-сухой почвы)

№№ разрезов и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясени		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, целин. степь (поляна)		Р. № 14, старая залежь		Р. № 15, полоса из сосны		Р. № 16, полоса из дуба		Р. № 11, пашня	
	Подст.	2-10 20-30	Подст.	1-10 20-30	Подст.	2-10	Подст.	0-10	1-10	1-10	2-10	1-10	1-10	0-15		
Горизонты	1.4.48	0.25	0.20	4.61	0.27	0.22	3.70	0.31	0.23	0.22	0.19	0.23	0.23	9.19		

ТАБЛИЦА 6

Количество веществ, растворимых в воде (при пятичасовом кипячении) в почвах Велико-Анадоля

№№ разрезов и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясени		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, целина степь (поляна)		Р. № 14, старая залежь		Р. № 15, полоса из сосны крымск.		Р. № 16, полоса из дуба		Р. № 11, пашня	
	Подст.	2-10 20-30	Подст.	1-10 20-30	Подст.	2-10	Подст.	0-10	1-10	0-10	0-10	0-10	1-10	0-15		
Горизонты	6.70	1-18	1-22	8-90	1.72	9-60	1.00	1.84	0.85	0.70	0.70	1.05	0.70			
Общ. колич. веществ (сухой остаток)	0.75	0.72	0.77	1.60	0.82	1.50	0.32	0.83	0.30	0.33	0.49	0.32	0.32			
Минеральн. часть	5.95	0.46	0.45	7.30	0.90	8.10	0.68	1.01	0.55	0.37	0.56	0.38	0.38			
Потеря от прокаливания	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
Общ. колич. веществ (сухой остаток)	11.2	60.0	64.2	18.0	48.2	60.8	15.6	46.1	35.3	47.1	48.0	45.7	45.7			
Минеральн. часть	88.8	40.0	35.8	82.0	51.8	39.2	84.4	53.9	64.7	52.9	52.0	54.3	54.3			
Орган. вещества (потеря от прокаливания)																

В % от абсолютно-сухой почвы

В % от сухого остатка

ТАБЛИЦА 7

Распределение углерода по отдельным фракциям органического вещества почв Велико-Анадоля (в % от абс.-сухой почвы)

№№ разрезов и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясени		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, целин. степь (поляна)		Р. № 14, старая залежь		Р. № 15, полоса из сосны крымск.		Р. № 16, полоса из дуба		Р. № 11, пашня	
	Подст.	2—10	1—10	20—30	Подст.	2—10	Подст.	2—10	0—10	0—10	2—10	1—10	0—15			
Горизонты	Подст.	2—10	20—30	Подст.	1—10	20—30	Подст.	2—10	0—10	0—10	2—10	1—10	0—15			
Фракции орган. вещ.:																
Общий углерод . . . . .	45.20	3.77	2.68	39.04	5.30	3.43	39.93	4.88	5.22	4.68	3.94	3.86	4.30			
Углерод водо-раств. фракции . . . . .	2.81	0.296	0.285	3.34	0.446	0.255	3.86	0.635	0.266	0.390	0.160	0.115	0.643			
Углерод, гидролизуемый 1.0 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	7.62	0.865	0.740	10.56	1.296	0.829	7.71	0.986	1.409	1.418	1.124	0.715	0.942			
Углерод, гидролизуемый 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	8.89	0.527	0.372	6.70	0.770	0.541	6.40	0.783	0.788	0.573	0.274	0.694	0.617			
Углерод остатка после гидролиза 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	21.73	2.083	1.389	19.67	2.694	1.849	23.09	2.561	2.828	2.312	2.421	2.212	2.143			
Сумма углерода отдельн. фракций	41.05	3.838	2.786	40.27	5.206	3.474	41.01	4.965	4.693		3.979	3.740	4.345			

ждения занимают среднее положение. Подстилки ясени и дуба имеют рН выше, чем верхние горизонты почвы, тогда как под сосной — напротив, подстилка кислее почвы. В подстилке сосны и дуба верхний, менее разложившийся, слой имеет большие величины рН, чем нижний, более разложившийся; в подстилке ясени — наоборот, более щелочным является нижний слой. Но нужно иметь в виду то, что эти выводы сделаны на основании исследования только 8 образцов подстилок, и, кроме того, приведенные величины рН могут характеризовать реакцию подстилок только во вторую (и сухую) половину лета. В другие сезоны мы, вероятно, получим иную картину распределения величины рН в верхней части профиля лесной почвы; об этом свидетельствуют работы Немес и Kvaril (10).

Исследованиями морфологии, физических свойств и химизма лесных подстилок занимались многие исследователи, начиная с первой работы о формах «гумусового покрова» датского лесовода Muller'a (11). По затронутому нами вопросу — о реакции лесных подстилок — мы находим сведения у нескольких авторов. Hesselman (12) указывает на то, что подстилка имеет наиболее кислую реакцию из всех горизонтов профиля лесной почвы, причем верхний слой подстилки, или «слой разло-

жения» (Fermoderungschicht), менее кислый, чем нижний, или «слой гумусовых веществ».

Гулисашвили (13), исследуя подстилки в лесах Ленинградской области, находит и обратное соотношение кислотностей в верхнем и нижних слоях подстилки (в торфянистых и заболоченных почвах). Пеструю картину изменения кислотности по слоям подстилки под различными насаждениями отмечают и другие авторы (14, 15, 16).

Имея целью изучить как изменения в качественном составе органического вещества степных почв под влиянием лесных посадок, так и разницу в этих изменениях, обусловленную составом насаждений, для анализов по методу Ваксмана были взяты образцы из следующих разрезов: № 2 (сосна), № 5 (ясень), № 7 (дуб), № 22 (целинная степь), № 14 (залежь), № 15 (сосна), № 16 (дуб), и № 11 (пашня). Из разрезов №№ 2 и 5 анализировались по два образца: 1) от 2 до 10 см и 2) от 20 до 30 см, из остальных разрезов — только по одному образцу с верхних

ТАБЛИЦА 8  
Распределение азота по отдельным фракциям органического вещества почв Велико-Анадолья (в % от абс.-сухой почвы)

№№ разрезов и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясеня		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, целинная степь (поляны)		Р. № 14, старая залежь		Р. № 15, подсосный край		Р. № 16, подсосный край		Р. № 11, пашня	
	Подст.	2—10	20—30	Подст.	1—10	20—30	Подст.	2—10	0—10	0—10	0—10	2—10	1—10	0—10	0—15	
Фракции орган. вещ.:																
Общий азот.....	1.138	0.289	0.220	1.989	0.477	0.269	1.652	0.386	0.428	0.357	0.324	0.345	0.315			
Азот воднорастворимой фракции.....	0.108	0.018	0.007	0.261	0.026	0.018	0.222	0.019	0.023	0.019	0.019	0.015	0.015			
Азот, гидролизуемый 1.0н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 80%.....	0.477	0.092	0.090	0.788	0.155	0.083	0.607	0.120	0.178	0.122	0.097	0.100	0.102			
Азот, гидролизуемый H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0.224	0.078	0.023	0.361	0.101	0.023	0.344	0.025	0.092	0.096	0.096	0.104	0.089			
Азот остатка после гидролиза 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0.336	0.090	0.093	0.537	0.187	0.131	0.580	0.110	0.136	0.120	0.081	0.093	0.096			
Сумма азота отдельных фракций.....	1.145	0.279	0.213	1.947	0.468	0.255	1.753	0.273	0.429	0.357	0.296	0.312	0.301			

ТАБЛИЦА 9

Распределение углерода по отдельным фракциям органического вещества почв Велико-Анадоля

(в % от общего содержания углерода)

№№ разрез и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясеня		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, не- лина, степь (полевая)		Р. № 14, старая за- лесья		Р. № 15, по- лоса из сос- ны, крым- ской		Р. № 16, полоса из дуба		Р. № 11, пашня		
	Подст.	2—10	20—30	Подст.	1—10	20—30	Подст.	2—10	0—10	0—10	0—10	2—10	1—10	1—10	0—15		
Горизонты																	
Фракции орган. вещ.:																	
Общий углерод.....		100		100		100		100		100		100		100		100	
Углерод воднорастворимой фракции.....	6.9	7.9	10.6	8.4	7.43	9.4	13.0	5.1	8.30	4.1	2.9	15.0					
Углерод, гидролизуемый 1.0 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	18.6	22.9	27.7	26.4	24.2	19.0	20.1	27.1	30.9	29.0	18.3	21.9					
Углерод, гидролизуемый 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	21.7	15.9	13.9	16.5	15.8	15.6	16.0	15.1	12.2	7.0	17.8	14.3					
Углерод остатка после гидро- лиза 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	53.0	55.3	51.8	49.2	53.9	56.3	52.3	54.4	49.2	62.1	56.7	49.8					
Сумма углерода отдельных фракций.....	100.0 <sup>1</sup>	102.0	104.0	100.0 <sup>1</sup>	101.3	100.0 <sup>1</sup>	101.4	101.7	100.6	102.2	95.7	101.0					

<sup>1</sup> Для подстилок за 100% взята сумма углерода всех фракций.

горизонтов. Кроме образцов из минеральных горизонтов этих почв, по методу Ваксмана, были проанализированы и образцы из верхнего, менее разложившегося слоя подстилок из-под сосны, ясеня и дуба, собранные у разрезов №№ 2, 5 и 7.

Результаты анализов по методу Ваксмана приведены в табл. 5—11.

Данные о количестве веществ, извлеченных спиртобензольной смесью из образцов минеральных горизонтов исследованных почв, представляют собой величины одного порядка (от 0.2 до 0.3% от веса абс.-сух. почвы), и ни о каких закономерностях говорить не приходится. Количества тех же веществ для подстилок, как и следовало ожидать, весьма различны: в подстилке сосны их в 4 раза больше, чем в подстилке дуба и ясеня. Понятно, что эта разница обусловлена богатством соснового опада смолистыми веществами.

Большой интерес представляют для нас вещества воднорастворимые, по количеству и составу которых можно судить о характере почвооб-

ТАБЛИЦА 10  
Распределение азота по отдельным фракциям органического вещества почв Велико-Анадоля (в % от общего содержания азота)

№№ разрезов и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясеня		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, пеллина, степь		Р. № 14, старая за-лесья		Р. № 15, по-сосны из сос-ной кр.-ской		Р. № 16, по-сосны из дуба		Р. № 11, внешняя	
	Подст.	2—10	20—30	Подст.	1—10	20—30	Подст.	2—10	0—10	2—10	2—10	2—10	1—10	0—10	0—15	
Фракции орган. вещ.:																
Общий азот . . . . .	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Азот воднорастворимой фракции . . . . .	9.5	6.3	3.3	13.1	5.6	6.7	13.5	4.8	5.3	5.1	6.6	4.8	4.8	4.6	4.8	4.6
Азот, гидролизуемый 1.0 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	41.8	31.7	40.9	39.6	33.0	30.8	36.9	30.8	41.4	34.0	30.4	31.2	31.2	32.8	31.2	32.8
Азот, гидролизуемый 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	19.6	27.0	10.5	18.1	21.3	8.6	20.9	31.8	21.5	26.8	31.0	25.2	29.2	28.6	25.2	28.6
Азот остатка после гидролиза 80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	29.5	31.0	42.9	27.0	38.9	48.5	35.1	28.1	31.7	33.3	25.2	29.2	29.2	31.0	29.2	31.0
Сумма азота отдельных фракций . . . . .	100.4	96.0	97.6	97.8	98.8	94.6	106.4	95.5	99.9	99.2	93.2	97.5	97.5	97.0	97.5	97.0

ТАБЛИЦА 11  
 Отношение углерода к азоту в отдельных фракциях органического вещества  
 почв Велико-Анадоля

№№ разрезов и растительность	Р. № 2, насаждение из сосны обыкновенной		Р. № 5, насаждение из ясеня		Р. № 7, насаждение из дуба		Р. № 22, пе- лния, степь (поляна)		Р. № 14, старая за- лесья		Р. № 15, по- доса из сос- ной крым- ской		Р. № 16, подполоса дуба		Р. № 11, пашня	
	Подст.	2—10	20—30	1—10	20—30	Подст.	2—10	0—10	0—10	0—10	2—10	1—10	0—15	1—10	0—15	
Горизонты																
Фракции орган. вещ.:																
Отношение общих количеств.	39.0	13.0	12.2	20.1	11.1	12.5	23.6	12.1	11.5	12.3	11.2	13.6	11.2	13.6	11.2	13.6
В воднорастворимой фракции . .	26.0	16.4	40.7?	12.9	17.2	14.2	17.4	11.6	20.5	8.4	7.7	46.0	7.7	46.0	7.7	46.0
В слабо-кислотной фракции . . .	16.0	9.4	8.2	13.4	8.4	10.0	12.7	8.0	11.6	11.6	7.2	9.2	7.2	9.2	7.2	9.2
В крепко-кислотной фракции . .	40.4	6.5	16.2	18.6	7.6	23.5	19.0	8.6	6.0	2.7?	6.7	7.0	6.7	7.0	6.7	7.0
В остатке после гидролиза крепкой кислотой . . . . .	64.0	23.1	15.4	36.4	14.2	14.2	40.0	20.2	17.6	30.2	24.5	21.4	24.5	21.4	24.5	21.4

разования. В табл. 38 приведены данные об общем количестве этих веществ (сухой остаток) и раздельно: о количестве минеральной и органической частей. Наибольшее количество веществ, извлеченных водой (при пятичасовом кипячении) из образцов минеральных горизонтов почв наблюдается в почве целинной степи и в почве из-под ясеня (1.8% от веса почвы); наименьшее — в почве пашни и в почве из-под насаждения крымской сосны (0.7% от веса почвы). Подстилки по количеству воднорастворимых веществ располагаются в следующий ряд пород: дуб (9.6%), ясень (8.9%) и сосна (6.7%).

Данные о соотношениях минеральной и органической частей воднорастворимых веществ показывают, что для минеральных горизонтов максимальный процент органических веществ дает почва из-под 80-летнего насаждения дуба (68%), а наименьший — сосна обыкновенная (40%). Подстилки в этом отношении располагаются в следующий ряд пород: сосна (88.8%), дуб (84.4%) и ясень (82.0%).

Данные о количестве воднорастворимых веществ подстилок и соотношение минеральной и органической частей этих веществ свидетельствуют о небольшой разнице в этом отношении подстилок таких резко отличных пород, как сосна, дуб и ясень. Это не согласуется с исследованиями С. П. Кравкова (17, 18) и Н. Степанова (19) над скоростью разложения различных подстилок, и нами

пока не может быть объяснено. Так же трудно уловить закономерности в количествах воднорастворимых веществ и в минеральных горизонтах этих почв. А между тем эти вещества (в частности, органическая часть их) представляют большой интерес как наиболее подвижная часть почвы.

В табл. 7—10 приведены данные о распределении углерода и азота по отдельным фракциям (кроме растворимой в спиртобензоле) органического вещества, выделенным из образцов исследованных нами почв по методу Ваксмана. При вычислениях распределения углерода и азота по отдельным фракциям органического вещества минеральных горизонтов почв органическое вещество фракции, растворимой в спиртобензоле, не принималось во внимание, и за 100% было принято валовое содержание углерода и азота в почве. При аналогичных расчетах данных для подстилок за 100% было принято не валовое содержание углерода и азота в подстилках, а суммы этих веществ во всех фракциях (кроме растворимой в спиртобензоле), так как в подстилках фракция веществ, растворимых в спиртобензоле, достигает значительной величины.

В табл. 11 приведены отношения между количеством углерода и азота в отдельных фракциях органического вещества исследованных почв.

Анализируя приведенные данные и делая из них выводы, нужно иметь в виду то, что погрешность наших определений, если судить об этом на основании нескольких повторных анализов, в среднем около 10%, но по отдельным фракциям при повторных определениях углерода и азота были обнаружены расхождения и до 20%. Наилучшие схождения (не превышающие 10%) наблюдались в негидролизуемом остатке, но суммы количеств углерода всех фракций (кроме спиртобензольной) расходились с количеством валового углерода не больше, как на 7%.

Рассмотрим, какие различия наблюдаются в качественном составе гумуса исследованных почв, если об этом можно судить по данным о количестве углерода и азота в отдельных фракциях гумуса этих почв.

А priori можно утверждать, что гумус почв, находящихся под лесом, и почв, пребывающих под степью или под пашней, будет различным. Так же неодинаковым должен быть гумус почв и в пределах леса, но под различными насаждениями как по составу, так и по возрасту. Этого следует ожидать и исходя из экспериментальных исследований Ваксмана, который пришел к выводу (20), что различия в химическом составе гумуса обусловлены: 1) особенностями в химизме растительных остатков, 2) разницей в химических и физических свойствах почв и 3) специфичностью микробиологического населения почвы. Но согласно исследованиям того же Ваксмана (21) на Джерсейской опытной станции, гумус почвы, в результате 25-летнего воздействия агрикультуры (в том числе и внесения навозного удобрения), изменился только количественно, а в его химизме существенных изменений не произошло.

Объектом нашего исследования явились почвы, которые когда-то были степными, а потом некоторые из них находились различное время (до 85 лет) под различным лесом, а некоторые различное время

распахивались, и, наконец, один разрез был заложен на участке так наз. «целины», т. е. там, где лес не был, и возможно, что этот участок никогда не распахивался, но, естественно, что косвенное воздействие леса и выпасы скота сильно изменили состав и характер растительного покрова этого участка степи, и считать его «эталоном» степного ландшафта, понятно, можно только условно.

Рассуждая теоретически, надо полагать, что изменения в качественном составе гумуса степной почвы после поселения или искусственного разведения на ней леса должны происходить в результате как изменения характера исходного материала для гумусообразования и условий его поступления, так и в результате изменения условий разложения имевшегося гумуса.

Рассмотрим эти причины каждую в отдельности.

Как исходные материалы гумусообразования нами анализировались только лесные подстилки из-под различных насаждений (сосны, дуба и ясеня); наземных остатков степной растительности, так же как и корней степной и лесной растительности, нам собрать не удалось.

Данные, приведенные в табл. 5—11, указывают на значительное различие подстилок по содержанию в них веществ, растворимых в спиртобензоле, меньшую разницу по содержанию веществ, растворимых в воде, выдерживающееся более широкое отношение углерода к азоту во всех фракциях органических веществ подстилки сосны, чем дуба и ясеня. В подстилке сосны выделяется содержание углерода в фракции, гидролизуемой 80%  $H_2SO_4$  (смолы сохраняют клетчатку от разложения), а в подстилке дуба больше всех содержание углерода в негидролизуемом остатке (дубильные вещества).

Если в степной почве источником гумусообразования являются наземные растительные остатки и подземные — корневые, то в почве

ТАБЛИ  
Количество легкоусвояемой  $P_2O_5$  в почвах  
(вес мицелия, выросшего на 3 г почвы, и соответ

№№ разрезов; растительность и рельеф	Р. № 1, ясень, ильм и кустарники; пе- региб склона к балке		Р. № 12, дуб; ровный участок		Р. № 13, ясень; лощина	
	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$
0—10	0,0959	>3<4	0,0898	>3	0,2959	>5
20—30	0,1470	>5	0,1265	>4<5	0,0577	2
60—70	Не опред.		Не опред.		Не опред.	
70—80	Нет		Нет		Нет	
80—90	Не опред.		Нет		0,0205	1
90—100	" "		Не опред.		Не опред.	
100—110	" "		" "		" "	
190—200	" "		" "		Нет	

лесной основным поставщиком органического вещества почвы является отпад. А в результате этого должна быть заметная разница как в качественном составе гумуса этих почв вообще, так и в характере изменения состава гумуса по профилю почвы.

Среди наших данных отсутствуют анализы образцов нелесных почв глубже 10 см, а имеющиеся данные для почв под сосной (р. № 2) и ясенем (р. № 5) указывают на некоторую разницу в распределении углерода негидролизуемой фракции; а именно, если под сосной абсолютное и относительное количество углерода негидролизуемой фракции с глубиной падает, то под ясенем, при неизменном абсолютном количестве, углерод той же фракции относительно возрастает. Имея в виду аналогичные результаты исследования луговой и лесной почвы Тюриним (22), мы склонны отметить выше разницу в распределении углерода негидролизуемой фракции в почве под сосной и ясенем приписать развитию травянистой растительности под пологом ясеня и отсутствию последней под сосной. За счет разложения ежегодно отмирающих корней однолетников в почве под ясенем должны больше накапливаться вещества негидролизуемой фракции.

Данные об углероде той же фракции гумуса почв целинной степной (р. № 22), залежи (р. № 14), пашни (р. № 11) и почв из-под сосны (р. № 15) и дуба (р. № 16) на первый взгляд как бы противоречат только что сделанному выводу, но если учесть то, что для этих почв мы аналогичные данные имеем только для верхних горизонтов (0—10 см), то можно предположить, что верхние горизонты почвы под относительно молодыми насаждениями (рр. №№ 15 и 16) еще не успели обеднеть лигнином, но успели потерять значительное количество углерода других фракций гумуса. Это видно из данных не об относительных количествах углерода и азота по отдельным фракциям, а из данных в процентах от всей массы почвы (табл. 7).

ТАБЛ 12

Велико-Анадоля, определенной по методу *Aspergillus niger*  
существующее количество  $P_2O_5$  в ряду „чистых“ солей в мг на 100 г почвы)

Р. № 25, дуб; лощина		Р. № 26, ясень; микро- повышение		Р. № 31, ясень; ровный участок		Р. № 22, целинная степь; ровный участок		Р. № 11, пашня (чер- ный пар) ровный уча- сток	
Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$	Вес мице- лия в мг	$P_2O_5$
0,0890	>3<4	0,0497	<2	0,1886	>5	0,2607	>5	0,0853	>3<4
Не опред.		0,0293	1	0,0543	2	0,0573	2	0,0483	<2
" "		Нет		Не опред.		Не опред.		Нет	
" "		Не опред.		" "		" Нет		Не опред.	
" "		" "		" Нет		Не опред.		" "	
0,588	2	" "		Не опред.		" "		" "	
нет		" "		" "		" "		" "	

Таковы предварительные толкования этих рекогносцировочных исследований качественного состава органического вещества степных почв, переживающих метаморфоз под пологом леса.

Все данные об органическом веществе (как о его количестве, так и качественном составе) исследованных почв не дают оснований говорить о значительной разнице между почвами облесенных и необлесенных участков.

Это отчасти подтверждается и данными микробиологических исследований образцов данных почв. Исследование микрофлоры, проведенное Т. Л. Симаковой, дало следующие результаты. Во всех образцах почв, за исключением почв целины и пашни, — очень большое количество грибной микрофлоры. Гниlostные бактерии, расщепляющие белок до аммиака, отмечены в большом количестве в образцах всех почв, кроме верхнего горизонта (0—10 см) почвы из-под 85-летней посадки дуба (р. № 7). Процесс аммонификации наиболее энергично протекает под насаждениями из дуба и ясеня, слабее под сосной и еще менее выражен в почве целины и пашни. Нитрифицирующая способность, наоборот, слабо выражена под лесом и сильнее в почве пашни и целины. Бактерии, фиксирующие атмосферный азот, представлены очень слабо: *Azotobacter* обнаружен только в образце почвы пашни (черный пар); *Clostridium Pasteurianum* был отмечен во всех образцах почв, кроме верхнего (0—10) горизонта почвы из-под 85-летнего насаждения дуба (р. № 7). Маслянокислые бактерии, разлагающие безазотистое органическое вещество в анаэробных условиях, найдены в большом количестве во всех исследуемых образцах почв. Бактерии, сбраживающие клетчатку в аэробных условиях, в заметном количестве отмечены только в образцах почвы из-под насаждений ясеня.

Итак, из приведенных данных видно, во-первых, то, что все эти почвы бедны бактериальной флорой и биохимическая способность слабо выражена. Возможно, что это является результатом бедности этих почв доступными фосфорнокислыми соединениями, что было установлено опытами.

Во-вторых, групповой состав микрофлоры под различными насаждениями весьма однообразен: нет большой разницы в этом отношении и между почвами из-под леса (кроме обильного развития здесь грибной микрофлоры) и почв необлесенных пространств.

Но нужно иметь в виду то, что все микробиологические исследования этих почв были проведены на образцах, которые были взяты для целей химического анализа, т. е. без соблюдения правил взятия образцов для микробиологических исследований, а потому и эти данные следует рассматривать только как предварительные.

Наконец, попутно с вышеизложенными исследованиями нами частично был затронут вопрос о причинах различного роста насаждений, связанного прежде всего с условиями рельефа.

Мы не намерены здесь касаться истории степного лесоразведения, его успехов и неудач, напомним лишь только о тех почвенных исследованиях, которые проводились с целью выяснения причин массовой гибели лесных посадок в степях после 2—3 десятков лет их удовлетворительного состояния. Как известно, по этому поводу были высказаны самые различные соображения (1, 23, 24, 25).

Так как основным объектом (для большинства исследователей) на котором изучался вопрос о причинах гибели искусственных лесных посадок в степи, являлся Велико-Анадольский лес, то, пребывая в последнем, нельзя было не заинтересоваться этим столь важным теоретически и актуальным для практики степного лесоразведения вопросом.

В настоящее время в Велико-Анадольском лесу не наблюдается массовой гибели посадок,<sup>1</sup> но пестрота в росте и состоянии насаждений бросается в глаза на каждом шагу. Не имея возможности заняться этим вопросом в должной мере, нам все же удалось произвести некоторые наблюдения, которые нас убедили в том, что рост и состояние насаждений зависят почти исключительно от условий рельефа (мезо- и микро-), которым обусловлена степень выщелоченности почвы.

Считая, что правильное объяснение причин неблагоприятных лесорастительных условий в южных степях дает только та теория, которая является основной и общей причиной, определяющей эти условия, считает климат (гидротермический режим), преломляющийся в своем влиянии на растительность через многие другие «факторы», среди которых наиболее важным является рельеф, мы попытались подкрепить это убеждение хотя бы некоторыми аналитическими данными.

Среди работ, посвященных выяснению причин гибели велико-анадольских посадок, особенно интересным является исследование С. П. Кравкова, которым было установлено недостаточное количество в нижних горизонтах корнеобитаемого слоя почвогрунтов Велико-Анадоля удобоусвояемых (вернее, переходящих в водную и слабокислотные вытяжки) форм азота, фосфора и отчасти калия. По мнению автора, установленная им особенность почвогрунтов Велико-Анадоля представляет собой явление вторичное, обязанное своим происхождением лесу и вызванное своеобразными условиями (определяемыми, в конечном счете, сухим климатом) поступления в почву растворимых продуктов разложения отпада, в результате чего нижние горизонты почво-грунта обедняются указанными соединениями, так как последние постепенно «перекачиваются» в верхние горизонты почвы. И автор в этом явлении видит «одну из возможных причин гибели искусственных лесных насаждений в степи» (7).

Эта теория своеобразного круговорота и распределения азота, фосфора и калия (как, надо полагать, и некоторых других элементов в почво-грунтах под степными лесами) вызвала полемику в литературе, но и по настоящее время еще не проведены дальнейшие, более детальные исследования,<sup>2</sup> которые опровергли бы или подтвердили бы эту идею, столь важную для понимания жизни древесной и вообще длиннокорной растительности в степной зоне.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Согласно господствующему теперь взгляду, массовая гибель искусственных лесных посадок в отдельные периоды является результатом совпадения нескольких неблагоприятных в отношении погоды (сухих) годов и появления в больших количествах вредителей леса.

<sup>2</sup> Проверка выводов С. П. Кравкова путем вегетационных опытов, произведенных в Велико-Анадоле Любименко и Танатара (25), не решила этого вопроса.

<sup>3</sup> В последнее время этот вопрос становится снова актуальным в связи с применением удобрений в фруктовых садах в условиях южных степей.

С целью некоторой, хотя бы ориентировочной, проверки выводов С. П. Кравкова другим (микробиологическим) методом, нами были сделаны определения в почвах Велико-Анадоля количеств легкоусвояемых форм фосфора методом *Aspergillus niger*.<sup>1</sup> Образцы для этих определений были взяты из разрезов, которые заложены в самых различных условиях произрастания (перегиб склона к балке, ровные участки, лощины) и различного состояния леса, а также и вне леса: на целине и на пашне. Максимальная глубина разрезов — 2 м. Понятно, что исследование почвогрунта в этом отношении только до 2 м может быть только рекогносцировочным,<sup>2</sup> но полученные результаты (табл. 12) свидетельствуют о том, что при условии равнинности рельефа или микроповышений везде, как под лесом, так и под степью и пашней, уже на глубине 60—80 см нет таких количеств легкоусвояемых  $P_2O_5$ , которые нужны для развития *Aspergillus niger*. В лощинах, где деревья достигают наивысшего бонитета (р. № 25) и почвы сильно выщелочены, на глубине 2 м также нет необходимых количеств  $P_2O_5$  для развития *Aspergillus niger*.

Следует отметить, что полученные результаты свидетельствуют о том, что и в верхних горизонтах почв Велико-Анадоля вообще относительно очень мало удобоусвояемой  $P_2O_5$  и *Aspergillus niger* развивается слабо.

Таким образом, на основании произведенных определений, можно сказать только то, что в данных почвах легкоусвояемой  $P_2O_5$  вообще очень мало и что распределение ее по профилю почвы обусловлено рельефом, т. е. определяется степенью промываемости почвы. Зависимости распределения  $P_2O_5$  по профилю почвы от характера растительности (лес, степь, пашня) установить не удалось.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полевых наблюдений и результатов химических анализов исследованных почв можно сделать следующие выводы.

1. Изменения степных черноземных почв под искусственными лесными посадками (от 25 до 80 лет) в условиях климатического режима Донецкой возвышенности почти не выходят за пределы отклонений, вызываемых условиями микрорельефа (благоприятными для выщелачивания) и без лесной растительности. Если крайними членами в ряду компонентов почвенного покрова степи являются, с одной стороны, высококовскипающие «кротовинные» (карбонатные) черноземы и слабо выщелоченные черноземы — с другой, то под лесом соответственно имеем также высококовскипающие черноземы и черноземы сильно выщелоченные. Последнее обстоятельство чрезвычайно затрудняет исследование затронутого в настоящей работе вопроса, так как требует точного учета условий микрорельефа. Еще более усложняются эти исследования сильно выраженной здесь деятельностью землероев.

2. В морфологии почвы заметнее всего влияние леса сказалось

<sup>1</sup> Работа производилась под руководством и при непосредственной помощи Т. Л. Симаковой, за что ей приношу искреннюю признательность.

<sup>2</sup> Кроме того, нужно иметь в виду то, что полученные данные характеризуют только период максимального иссушения грунта путем десукции (конец вегетации); возможно, что в другие сезоны получились бы и иные данные.

на структуре. Комковатозернистая структура степных почв под влиянием леса сделалась слитокомковатой и слитозернистой. Везде под лесом в нижних частях профиля почва значительно суше и плотнее, чем вне леса. Мощность гумусового горизонта почвы под лесом увеличилась на незначительную величину (не больше 5 см). Также незначительно снизился и уровень вскипания от НС1. Более заметны изменения в горизонте белоглазки — под лесом он ниже, часто на «глазках» (конкрециях) видны следы их разрушения, пятна белоглазки реже. Перерытость почв под лесом заметно меньше за счет уменьшения количества свежих ходов землероев.

3. Валовое содержание углерода (гумуса) и азота в почве вне леса и под лесом — в идентичных условиях рельефа — колеблется в узких пределах, и делать на основании их определенные выводы нет оснований. Также отсутствует закономерность и в отношении валового содержания углерода к валовому азоту, которые колеблются в пределах от 10 до 13. Более определенным (хотя выведенным на основании меньшего числа определений) является уменьшение обменных оснований (за счет кальция) в почве под лесом. Вполне выдержанная закономерность наблюдается в актуальной реакции почв: под лесом везде рН заметно ниже, чем под степью или пашней.

4. Данные фракционного анализа (по Ваксману) гумуса почв под лесом и под степью и пашней или колеблется в пределах точности метода, или весьма разноречивы и не дают оснований делать какие-либо определенные выводы.

5. Различие в изменяющем влиянии на степные почвы отдельных пород деревьев отчетливо сказалось в следующем: резко отличной, мелкозернистой и пороховидной структурой верхних горизонтов выделяются почвы из-под насаждений ясеня. Крайне иссушенными и наиболее плотными (в период исследования) были почвы под ясеневыми и меньше всего под сосновыми насаждениями. Вскипание от НС1 под ясеневыми насаждениями несколько выше, чем под насаждениями из других пород. Белоглазка сохранилась лучше всего под ясенем. Переход от гумусового горизонта к безгумусовому в профилях почв под ясеневыми насаждениями более постепенный, чем под дубом и сосной.

Есть некоторые основания утверждать, что почвы под ясеневыми насаждениями содержат несколько большее количество гумуса и соответственно обладают большей обменной способностью, чем почвы под насаждениями дуба и сосны.

Наибольшие величины рН почв наблюдаются под ясеневыми насаждениями, наименьшие под дубовыми, а почвы сосновых насаждений занимают среднее положение. Подстилки ясеня и дуба имеют рН несколько выше, чем верхние минеральные горизонты почвы, тогда как под сосной подстилка кислее почвы. В подстилках сосны и дуба верхний, менее разложившийся слой имеет большие величины рН, чем нижний, более минерализованный; в подстилке ясеня, наоборот, более щелочным является нижний слой.

6. Определения легкоусвояемой  $P_2O_5$  методом *Aspergillus niger* свидетельствуют о весьма незначительных количествах этих соединений в верхних горизонтах и о почти полном отсутствии их на глубине

100—200 см во всех почвах Велико-Анадолы. Распределение легкоусвояемой  $P_2O_5$  по профилю почвы обусловлено рельефом, т. е. степенью промывания почвы. Зависимость этого распределения от характера растительности (лес, степь, пашня) не установлена.

7. Исходя из того, что изменения степных почв в сторону большей выщелоченности относительно резче выражены под дубовыми и сосновыми насаждениями, чем под насаждениями из ясеня и ильма, следует считать более пригодными в этом отношении (заметно улучшающими лесорастительные условия в педосфере) породами для степного лесоразведения — дуб и сосну.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кравков С. П. Химические свойства почв и грунтов Велико-Анадольского лесничества в связи с гибелью лесных посадок. 1906.
2. Каченко М. Е. О роли леса в почвообразовании. Изв. Лесн. инст., вып. XVIII, 1908.
3. Горшенин К. П. Влияние лесных посадок на химико-морфологическое строение черноземов. Почвоведение, № 3—4, 1924.
4. Тумин Г. М. Влияние лесных полос на почвы Каменной степи. 1930.
5. Запольский В. К. К вопросу о влиянии насаждений на поглощенные основания почв. Тр. ЦИОТ, вып. 37, 1927.
6. Махов Г. Г. Почвенные исследования Мариупольской и Владимировской опытных лесных дач и т. д. Тр. з лісової досвідної справи на Україні, вип. XIV, 1930.
7. Высоккий Г. Н. Биологические, почвенные и фенологические наблюдения в Велико-Анадоле. Тр. опытно-леснич., 1901.
8. Кавалеридзе В. П. Мапа ґрунтів Сталінської округи. 1929.
9. Waksman S. and Stevens K. A system of proximate chemical analysis of plant materials. Industrial and Eng. Chemistry, v. 2, 1930.
10. Немес и Кваріі. Biochemische Studien über die Azidität der Waldboden. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwes. 4—6, 1924.
11. Muller P. Studien über die natürlichen Humusformen und die Einwirkung auf Vegetation und Boden. 1887.
12. Hesselman H. Studien über die Humusdecke etc. Meddel. Stat. Skogsförs., 22, 1926.
13. Гулисашвили В. Морфология и активная кислотность гумусового покрова. Зап. Лесной опытно-ст. ЛСХИ, вып. V, 1929.
14. Степанов Н. Н. Химические свойства лесной подстилки и т. д. Тр. по лесн. опытно-делу ЦИОС, вып. 2, 1929.
15. Проневич А. П. Зависимость кислотности лесных подстилок от их ботанического состава и т. д. Изв. Гос. инст. опытно-агроном., т. VI, № 3—4, 1928.
16. Alway F., Methley W. and Jounge O. Soil Science, v. 36, 1935.
17. Кравков С. П. Материалы к изучению процессов разложения растительных остатков в почве. 1908.
18. Кравков С. П. Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании. 1912.
19. Степанов Н. Н. Значение минерализации опадающей листвы и хвои в поднятии производительности лесных почв. На лесокультурном фронте, № 5—6, 1932.
20. Waksman S. and Iver R. Soil Science, v. 34, № 1, 1932, v. 36, № 1, 1933.
21. Waksman S. and Hutchings I. Soil Science, v. 40, № 5, 1935.
22. Тюрин И. В. К характеристике дернового процесса почвообразования. Юбил. сб., посвящ. акад. В. Р. Вильямсу. 1935.
23. Высоккий Г. Н. К вопросу о причинах усыхания лесных насаждений на степном черноземе. Тр. по лесн. опытно-делу, 1912.
24. Степанов Н. Почва и грунт Велико-Анадольского лесничества как одна из причин гибели лесных посадок. Журн. Опытн. Агроном. кн. 3, 1905.
25. Любименко В. Вегетационные опыты для определения влияния химических свойств почв и грунтов В.-Анадольской дачи на рост лесных пород. Тр. по лесн. опытно-делу, 6. XXXIV, 1909.

## К ВОПРОСУ О ПЕРЕДВИЖЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ — ПОЧВА — ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ

*И. Н. Скрынникова*

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время среди геохимиков, биохимиков и почвоведов проявляется усиленный интерес к изучению передвижения химических элементов в системе растение — почва — почвообразующие породы (5, 14, 16, 17, 19, 20, 26). Этот интерес понятен, так как познание закономерностей передвижения химических элементов, во-первых, помогает нам уяснить генезис тех или иных почвенных типов и, во-вторых, дает возможность познать ту сложную взаимосвязь, которая устанавливается между почвой и естественной растительностью, почвой и культурными растениями.

Учитывая все вышесказанное, мы решаемся опубликовать некоторые данные по этому вопросу, полученные при изучении почвенного покрова аллювиальных террас р. Волги.

Материал для настоящей работы был получен автором частично летом 1935 г., когда он в качестве почвоведом участвовал в работах Верхне-Волжской экспедиции Академии Наук СССР, частично был собран в период командировки на Волгу летом 1936 г. Публикуемые данные представляют дополненную часть диссертационной работы автора: «Материалы по изучению почв на аллювии Верхней Волги» (27).

Благодаря тому, что вопрос о передвижении элементов в системе растение — почва не являлся центральным при сборе и обработке материала, а возник лишь вследствие необходимости осветить ряд вопросов генезиса аллювиальных почв, данная работа не претендует на полноту и законченность выводов. Прежде всего и сам объект исследования — почвы на аллювии — явился неблагоприятным материалом для данной темы. Но, повторяем, в литературе так мало еще опубликовано фактического материала по передвижению минеральных элементов в системе растение — почва — почвообразующие породы, что мы решаемся опубликовать и те немногочисленные данные, которые имеются в нашем распоряжении.

## 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Район, в котором проводились наши исследования, захватывает долину р. Волги в верхнем ее течении, от с. Иваньково (Калининская область), устья канала Москва-Волга, до г. Мышкина (Ярославская область).<sup>1</sup> Долина Волги в исследуемом районе расположена в пределах сравнительно молодой и более подвижной части Русской плиты, где коренные породы опущены глубоко вниз. Это пониженное пространство, «Большо-Волжская котловина», ограниченное с юга, юго-востока и северо-северо-запада системой возвышенных гряд, вы-

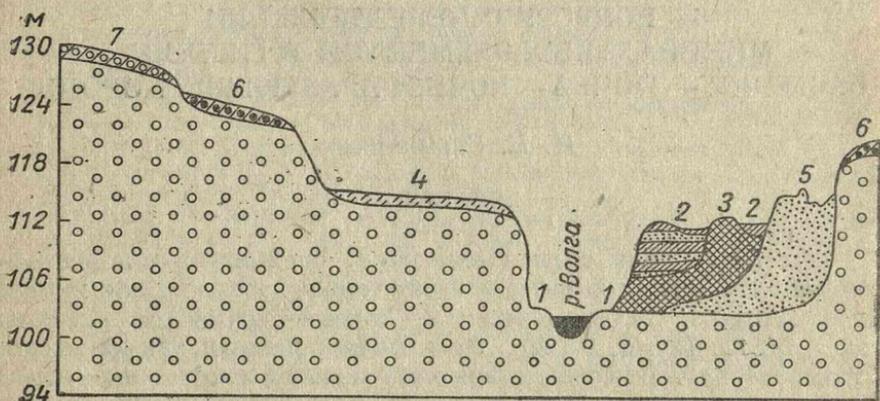


Схема строения долины р. Волги.

- |                   |                                                |
|-------------------|------------------------------------------------|
| 1 — низкая пойма. | 4 — I — надпойменная терраса (низкий уровень). |
| 2 — высокая »     | 5 — I — » » (высокий уровень).                 |
| 3 — древняя »     | 6 — II — » »                                   |
|                   | 7 — III — » »                                  |

полнено 25—30-метровой толщей ледниковых отложений, налегающих на размытую поверхность пород юрского возраста (7).

Центральную часть депрессии занимает долина р. Волги с системой небольших притоков и рядом террас. В пределах исследуемого участка долины выделяется до 5—6 террасовых уступов. Местами эти уступы выражены вполне отчетливо, местами некоторые из них выклиниваются, и долина суживается до 0,5—1 км.

Наиболее отчетливо почти на всем протяжении долины выделяются две пойменные террасы: низкая и высокая современная пойма.

Низкая пойменная терраса, приподнятая над руслом реки на 1—2 м, в период исследования<sup>2</sup> находилась еще в процессе формирования. Она узкой полосой тянется вдоль всего русла реки. Терраса врезана в морену, прикрытую сверху галечником или маломощным слоем молодого аллювия (до 1,5 м мощностью).

<sup>1</sup> В настоящее время, в связи с постройкой Угличской плотины, значительная часть района исследования подверглась затоплению.

<sup>2</sup> При постройке Угличской плотины обе пойменные террасы были затоплены;

Почвенный покров на ней почти не развит. Местами поверхность террасы покрыта редким растительным покровом из мелкозлаковых луговых ассоциаций. Еще реже на ней встречаются заросли пойменных ивняков.

Над низкой пойменной террасой резким десятиметровым уступом поднимается современная высокая пойма, сложенная супесчаными и легкосуглинистыми отложениями (0.5—7 м мощностью).

В последние десятилетия высокая пойма заливалась полыми водами редко. Но процесс формирования ее рельефа и отложение аллювия, особенно в прирусловых частях, к периоду исследования еще не были закончены.

При крутых поворотах реки, у выпуклого края изгиба берега Волги, высокая пойма расширяется, достигая до 1 км ширины. В местах спрямленного русла пойма суживается, а иногда исчезает. Высокая пойма характеризуется сложным рельефом. В виде отдельных останцев, слабо выраженных в рельефе, на высокой пойме сохранились участки древнепойменной террасы. Характерным элементом ландшафта высокой поймы являются узкие песчаные гряды надпойменной террасы, вытянутые параллельно руслу реки. Соответственно сложности рельефа пестры и почвенный и растительный покровы поймы.

На подробной характеристике рельефа, почв и растительности этой террасовой плоскости мы остановимся ниже, так как почвы и растительность высокой поймы являются непосредственным объектом нашего исследования.

Хорошо развита почти на всем протяжении долины I надпойменная терраса, сложенная мощной толщей среднезернистых песков с резко выраженным холмистым рельефом. Терраса покрыта сосновым бором — беломошником, в понижениях сменяющимся моховыми болотными ассоциациями. Почвенный покров представлен различными типами подзолистых почв, причем большое распространение имеют подзолы и торфянистые подзолы.

Выше I надпойменной террасы выделяются еще две скульптурных террасы, врезанные в карбонатную морену, прикрытую сверху маломощным слоем покровных легких суглинков и супесей.

Характер строения верхних надпойменных террас на протяжении изучаемого отрезка неоднороден, что говорит о различном генезисе верхних террасовых плоскостей, в пределах изучаемого отрезка долины (21). Напротив, нижние пойменные террасы сохраняют однородность на всем протяжении исследуемого участка. Мы не останавливаемся на подробной характеристике надпойменных террас и их генезисе, так как это не входит в нашу задачу.

## 2. УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА СОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОЙ ПОЙМЕ

Выше мы указывали на сложность рельефа высокой пойменной террасы. Неотъемлемым элементом его является очень плоская полоса, протягивающаяся вдоль обрыва высокой поймы к руслу реки. В местах спрямленного русла она суживается или почти исчезает, при изгибах же реки расширяется, окаймляя широкой лентой выпуклую часть берега. Ширина полосы от 100 до 300 м. Иногда прирусловые

участки поймы повышены у обрыва к реке и постепенно снижаются вглубь. Часто понижение бывает значительным (до 1 м) и имеет вид оформленной лощины. Там, где терраса сужена, лощина обычно примыкает к скульптурным надпойменным террасам.

Близкими к прирусловым выравненным полосам по генезису являются аллювиальные острова, встречающиеся в русле Волги.

Более сложен рельеф расширенных участков высокой поймы. Внутренняя пониженная часть пойменной террасы в этих случаях отделена от прирусловой полосы рядом узких, вытянутых параллельно руслу реки, грядообразных останцев первой надпойменной террасы, сложенных среднезернистыми песками и покрытых сосновым лесом. Иногда вместо гряд выступают плоские, расплывчатые, едва заметные повышения, сложенные древнепойменными отложениями. За ними, вплоть до более высоких террасовых уступов, в глубь террасы идет пониженная центральная часть поймы, иногда имеющая резко выраженный характер староречья. В половодье эта часть высокой поймы соединяется с руслом реки или непосредственно (при отсутствии гряд) через прирусловую часть поймы, или по узким лощинам между грядами.

Характер аллювиальных наносов и интенсивность развития почвообразовательных процессов внешней и внутренней частей поймы различны. Во внешних прирусловых частях поймы, находящихся в непосредственной близости к речному руслу, процесс отложения аллювия проявляется наиболее интенсивно. По мере удаления от главного русла скорость полых вод значительно уменьшается, а с потерей скорости, согласно закону Эри (2), резко уменьшаются количество и размер частиц, которые воды могут переносить во взвешенном состоянии. Этот процесс потери скорости еще в более резкой форме происходит при проникновении полых вод в узкие межгрядовые лощины и особенно в облесенную часть поймы. В глубь леса попадают воды, почти освобожденные от взвешенных частиц.

Поэтому в прямой зависимости от легкости проникновения полых вод в глубь террасы находятся мощность современного аллювиального наноса, механический состав аллювия и характер самих почв.

На плоских прирусловых участках высокой поймы и на аллювиальных островах, в наибольшей степени подверженных заносу аллювием, почвообразовательный процесс при больших половодьях прерывается процессом отложения свежих аллювиальных наносов, и почвенный профиль состоит из ряда генетически не связанных маломощных гумусовых горизонтов, прерываемых полосами аллювиального наноса. В центральных частях поймы процесс отложения аллювия в настоящее время затухает, и почвообразовательные процессы идут непрерывно.

В прямой зависимости от легкости проникновения полых вод в глубь террасы находится и характер самих наносов (табл. 1): средние и мелкозернистые пылеватые пески прирусловых частей террасы сменяются тяжелыми супесями и легкими суглинками во внутренних частях высокой поймы.

Еще более тяжелый механический состав имеют древнеаллювиальные отложения.

Чрезвычайно характерным явлением, налагающим специфический отпечаток на ход почвообразования в пределах пойменных террас р. Волги, является карбонатность современного аллювия (табл. 1).

Содержание карбонатов в аллювиальных наносах объясняется распространением карбонатной морены на водораздельных пространствах, прорезаемых волжской долиной. Наличие высокого рН и относительно большого количества связанной  $\text{CO}_2$  в современных наносах на значительную глубину говорит об устойчивой форме присутствующих здесь карбонатов.

Карбонатность почвообразующих пород налагает чрезвычайно резкие черты на ход почвообразовательного процесса. Несмотря на большое количество выпадающих за год осадков (500—600 мм), при умеренной температуре (среднегодовая температура колеблется от 1.7 до 4.8°; температура января — 10.4°, температура июля + 17.9°), несмотря на легкость механического состава аллювиальных отложений, почвы высокой поймы не несут следов подзолообразовательного процесса, и лишь на древнепойменных отложениях под лесной растительностью встречаются оподзоленные почвы.

### 3. ПОЧВЕННЫЙ И РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ПОВЫШЕННЫХ ПРИРУСЛОВЫХ УЧАСТКОВ ВЫСОКОЙ ПОЙМЫ И АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОСТРОВОВ

Плоские прирусловые участки высокой поймы и аллювиальные острова в русле Волги являются участками, в наибольшей степени подверженными процессам отложения аллювиальных наносов. Поэтому и почвенный покров их будет наименее развит. В морфологическом строении почв этих участков нашла яркое отражение смена лет бурных многоводных паводков периодами с небольшими по размеру половодьями, в которые развитие почвенного покрова не прерывалось отложением аллювия.

Приводим описание одного из характерных профилей слабо развитых дерновых почв на полосатом аллювии.

*Разрез 547. И. С.* Заложен на плоской восточной пониженной части острова (среди русла Волги, против с. Лягушкино), покрытой крупнозлаковой луговой растительностью.

- 0—10 см — Серовато-коричневый, слабо гумусированный глинисто-песчаный аллювий; вскипает от  $\text{HCl}$ .
- 10—50 см — Полосатый аллювий. Переслаиваются серовато-палевый мелкозернистый песок, рыхлый, бесструктурный, с серовато-коричневыми полосами глинистого мелкозернистого песка, почти супеси. Прослойки неширокие, 5—7 см, лишь на глубине 24—39 см — широкая полоса глинистого песка. С поверхности и до глубины 34 см почва вскипает от соляной кислоты.
- 50—61 см — Ровная широкая полоса серовато-желтого песка, рыхлого и бесструктурного.
- 61—76 см — Преобладает серовато-коричневый глинистый песок. Прослойка серовато-желтого цвета неясно видна. Почва вскипает от соляной кислоты очень слабо.

76—82 см — Прослойка рыхлого, серовато-желтого песка.  
82—170 см — Та же, что и сверху, полосатая толща, но полосы более широкие. Серовато-желтые прослойки мелкозернистого песка менее отчетливы и ясны.

Серовато-коричневые полосы глинистого песка несколько более обогащены остатками корешков травяной растительности. Видимо, они соответствуют периоду лет с незначительными паводками, периоду, в течение которого полые воды или совсем не покрывали поверхности острова, или хотя и покрывали, но высота их была так незначительна и скорость так невелика, что они отлагали лишь глинисто-песчаный довольно тонкий материал. Эти периоды, видимо, были наиболее благоприятны для развития процесса почвообразования.

Несколько иную картину представляют почвы прирусловой полосы пойменной террасы. Здесь широкослоистые с ясными мелкозернистыми, песчаными, рыхлыми полосами почвы занимают лишь узкую повышенную полосу близ обрыва террасы. В несколько пониженной части прирусловой полосы слоистость менее заметна.

Для характеристики таких почв приводим описание слабо развитой дерновой «раскисленной» почвы разреза 247, заложенного на прирусловой части пойменной террасы, у с. Бедрино, на мелкозлаковом лугу.

0—14 см — Серовато-коричневая супесь, слабо гумусирована. Комковато-зернистая непрочная структура. Горизонт уплотнен.

ТАБЛИ  
Механический и химический состав слабораз

№ разреза	Глуб. образцов	Гигроскоп. вода	рН	CO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	N	Fe	Гумус
					(по Кирсанову)	гидр.	0.2 л HCl	(по Кюппу)	
					В мг на 100 г почвы				%
547	0—10	1.95	8.55	1.56	29	5.89	7.06	37.5	1.91
	18—25	0.44	8.23	0.45	30	2.52	6.13	50	0.44
	25—35	1.42	8.85	1.61	20	3.06		45	1.21
	50—60	0.39	8.18	0.25	20	2.02		25	0.03
	61—76	1.59	8.47	0.76	20	4.33		62.5	0.82
	120—130	0.61	8.30	0.72	15	1.77		50.0	0.27
	130—135	2.10	8.59	1.65	10	3.08		40.0	
	160—170	0.86	8.27	0.42	15	2.28		62.5	
247	0—10	2.77	8.27	1.24	10	4.65	13.42	30	0.43
	15—25	1.70	8.54	1.21	7.5	2.81	9.60	50	0.80
	30—40	1.95	8.51	0.90					Нет
	50—60	1.50	8.75	1.05					
	70—80	1.59	8.40	0.33				62.5	
	80—90	1.77	8.71	0.31					
	100—110	1.63	8.0	0.48					

14—110 см — Супесчано-тонкопесчаная слоистая толща. Коричневая супесь переслаивается с серовато-желто-палевым песком. Слои выделяются нерезко. Вся толща уплотнена и покрыта ржаво-коричневыми и черными пятнышками выделений гидратов Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Порода влажная.

Как видно из описания разреза, в почве слабо намечается гумусовый горизонт, характеризующийся более темной окраской и наличием слабой структуры. Общее уплотнение и присутствие большого количества ржавых и сизоватых пятен гидратов окислов говорят, видимо, о существовании здесь периодических процессов окисления и восстановления. Последние (процессы восстановления), несомненно, могут происходить весной, когда почва, покрытая полою водою, застаивающаяся здесь на более или менее долгое время, находится в анаэробных условиях.

Для характеристики физико-химических свойств слабо развитых почв на полосатом аллювии приведем данные анализов двух разрезов: с аллювиального острова р. Волги, разрез 547 и р. 247 — с прирусловой полосы пойменной террасы реки (табл. 1).

По механическому составу отложения относятся к легким песчаным и глинисто-песчаным наносам. Абсолютное преобладание имеет фракция 0.25—0.02 мм.

В разрезе 547, где морфологически полосатость аллювиальных отложений выступает очень резко, между механическим составом отдельных слоев наблюдается заметная разница. Слои более темные

ТАБЛ  
1  
Витых дерновых почв на полосатом аллювии

Поглощенные основания				Механический состав				
Ca	Mg	H	Сумма	1— —0.25	0.25— —0.02	0.02— —0.006	0.006— —0.002	< 0.002
В %/м-экв. + Ca и Mg				6.14	86.03	1.98	2.34	3.51
Карбонатов				8.10	89.45	1.15	0.35	0.95
				6.14	81.61	3.43	2.15	6.67
				28.7	50.85	1.16	5.14	4.12
				17.23	70.76	3.17	0.11	8.68
				41.60	48.33	2.11	0.90	7.06
				19.07	61.75	7.99	1.13	10.06
				23.83	69.67	4.00	0.50	2.00
1.076	0.4584		92.00	0.9	82.63	10.20	3.23	3.04
53.80	38.20	Нет	35.64	0.7	85.29	5.14	0.16	8.71
0.8080	0.2757		63.33	0.70	77.35	11.54	1.65	8.76
40.40	22.39	"	22.43	0.15	83.97	7.47	1.02	7.39
0.778	0.1982		55.70	0.3	80.00	10.97	0.59	8.12
38.90	16.50	"	13.13	0.70	79.86	10.07	0.72	8.65
0.4205	0.1260		31.50	0.70	78.14	10.66	0.97	9.53
21.00	10.58	"	9.68					

и более «глинистые» морфологически оказываются обогащенными фракцией 0.006—0.002 мм и <0.002 мм.

Почвы на полосатом аллювии отличаются щелочной, а иногда и сильно щелочной реакцией. рН достигает до 8.85. Это объясняется, видимо, присутствием в почвах значительного количества связанной углекислоты.

Выше мы указывали, что это явление обуславливается наличием в молодых аллювиальных отложениях обломков известняков.

Данные анализа поглощенных оснований,<sup>1</sup> вытесняемых N раствором  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , указывают на то, что в молодых аллювиях, наряду с  $\text{CaCO}_3$ , присутствует и  $\text{MgCO}_3$ . Углекислый Mg, повидимому, вызывает особо высокое значение рН в отдельных слоях аллювия.

Более однородным является химический состав разреза 247. Здесь, особенно в нижней части, наблюдается как будто ясная тенденция некоторого передвижения илистой фракции в нижние горизонты и выравнивание почвенного профиля. Возможно, что это имеет место в весенние паводки, когда на поверхности почвенного покрова прирусловых частей поймы происходят застаивание и постепенное просачивание вглубь поверхностных вод.

В распределении углекислых солей по профилю разреза 547 наблюдается некоторая зависимость от содержания гумуса и механического состава. В прослоях с большим содержанием фракции от 0.006 мм до 0.002 мм и <0.002 мм наблюдается резкое возрастание гигроскопической воды,  $\text{CO}_2$  и гумуса, причем колебания количества этих веществ между отдельными полосами достигают 100—200%. Связь гумуса и гигроскопической воды с прослойками, обогащенными фракцией <0.002 мм, не требует пояснения (см. выше, стр. 157). Но возможность концентрации карбонатов в наиболее тонких фракциях нам кажется сомнительной.

В разностях с резко выраженной морфологической «полосатостью» распределение количества поглощенных оснований не имеет равномерного хода по профилю, и содержание их то увеличивается, то уменьшается. В почве разреза 247 имеется уже ясная тенденция к уменьшению количества поглощенных Ca и Mg к низу профиля. Но параллелизма в распределении органических веществ и поглощенных оснований не наблюдается. Уменьшение поглощенных оснований книзу в почве разреза 247 не имеет связи также и с количеством коллоидов почвы, так как количество фракций, в состав которых входят коллоидные частички (<0.002 мм), увеличивается книзу.

Относительно высокое содержание гумуса в горизонте 0—10 разреза 547 и низкое в поверхностных горизонтах разреза 247 почвы, по остальным признакам более развитой, объясняется различием растительного покрова острова и прирусловой полосы поймы.

Крупнозлаковая травяная растительность разреза 547, хотя и скашивается ежегодно, но, обладая густой корневой системой, обуславливает накопление в почве таких количеств гумуса, которые

<sup>1</sup> Несмотря на наличие карбонатов в почве, мы все-таки производили определение поглощенных оснований обычным методом, для того чтобы судить о распределении поглощенных оснований по профилю почвы.

не могут скопляться под мелкозлаковым лугом разреза 247, используемым к тому же как пастбище.

Отсутствие крупнозлаковых ассоциаций в пониженных участках прирусловой полосы объясняется, видимо, несколько худшими физическими свойствами почв этих участков. Надо сказать, что выпуклые и плоские поверхности прирусловой полосы поймы обычно имеют также резко-слоистый песчаный аллювий.

В этих случаях мы встречали здесь не только крупнозлаковые луговые ассоциации, но даже и ассоциации остепненных лугов с *Festuca sulcata*, растением, свойственным южным степям. В типчаковых ассоциациях встречались такие ксерофиты, как полевая полынь, желтый подмаренник, подорожник и др.

Мы предполагали, что легкая проницаемость грунтов, обуславливающая сухость толщи, и богатство углекислыми солями объясняют распространение типчака на прирусловых участках поймы. Для более точного выяснения вопроса был определен состав золы этого растения. Как увидим ниже, данные анализа золы показали значительные количества в ней окислов кальция и магния (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2  
Зольный состав *Festuca sulcata*  
(в % от зольности)

Объект исследования	Чистая зола	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Не определенный остаток
<i>Festuca sulcata</i> . . .	5.24	19.82	15.13	0.82	1.33	3.59	13.94	4.69	40.68

Относясь к плотнокустовым злакам и обладая неглубоко идущей корневой системой (основная масса корней расположена на глубине 10—20 см), *Festuca sulcata* черпает элементы минерального питания, главным образом, с поверхностных горизонтов. Разреженные невысокие типчаковые травостой являются малопродуктивными в хозяйственном отношении (урожайность их около 10 ц с га), вследствие чего они редко скашиваются, и эти луга служат выгоном. Поэтому значительная часть надземной и вся корневая система растений отмирают на месте и при разложении несколько обогащают верхний горизонт зольными элементами и гумусом. В частности, относительно высокое содержание калия в горизонтах, обогащенных гумусом (табл. 1), мы думаем, объясняется биологическим накоплением. Нам не удалось по условиям работы произвести определения щелочей в золе типчака, но, судя по высокому проценту неопределенного остатка в золе, и по данным литературы, травянистая растительность и, в частности, типчаковая содержат значительный процент калия в золе (до 30—35%) (32).

Накопление углекислого калия в обогащенных гумусом слоях отчасти тоже можно связать с жизнедеятельностью растений. Менее ясную картину показывает фосфорная кислота.

Благодаря относительной сухости почвы прирусловых повышений, продукты разложения растительных остатков не промываются вглубь,

а остаются на месте образования, погребаясь новыми слоями аллювия. Таким образом, можно заключить, что в современный период весь процесс почвообразования на полосатом песчаном аллювии прирусловых участков высокой поймы заключается в накоплении гумуса и ряда зольных элементов (К, отчасти Са) в верхних горизонтах. Весь почвенный профиль их состоит из ряда не связанных друг с другом единым процессом почвообразования полос, вследствие подавления почвообразовательных процессов геологическими — отложением свежего наноса.

В тех случаях, когда создается возможность застаивания воды (вогнутая форма рельефа), механический состав аллювия более тяжел, и «полосатость» наноса здесь сглаживается. Содержание углекислых солей постепенно уменьшается к низу профиля, и параллельно с этим падает количество поглощенных оснований.

Большая однородность наноса, повидимому, вызывается кольматацией, т. е. физико-механическим вымыванием илистых фракций, без распада их на составные части.

С другой стороны, заиление, вероятно, идет и за счет некоторого слабого передвижения коллоидов, осажденных с аллювиом. Коллоидная кремнекислота, в условиях щелочной реакции, может переходить в раствор и передвигаться. А масса сизых и ржавых пятен Fe свидетельствует, что в почвах периодически происходят процессы окисления и восстановления соединений железа. Закисные формы последнего, как известно, очень подвижны.

#### 4. ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ВНУТРЕННИХ ЧАСТЕЙ ВЫСОКОЙ ПОЙМЫ Р. ВОЛГИ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ

Почвенный покров внутренних частей высокой поймы, как уже указывалось выше, в значительной степени связан с доступностью поверхности высокой поймы полым водам. Более доступные участки имеют более мощный слой современного аллювия, и вследствие этой же причины они более богаты карбонатами Са и Mg.

Вторым важным фактором почвообразования здесь будет являться близость к поверхности почвы карбонатных грунтовых вод денудационных террас или коренного берега. Эти два условия обычно совпадают, так как пойма в тех случаях, когда она непосредственно примыкает к скульптурным террасам или коренному берегу, менее широка, более доступна действию речных полых вод и заносу аллювиом и имеет более близкий уровень грунтовых вод. Иной почвенный покров имеют террасы в тех случаях, когда пойма широка, и на ее поверхности выступает ряд песчаных гряд — останцев надпойменной террасы, преграждающих волжским водам путь во внутреннюю часть поймы. В этом случае современный и древний аллювий межгрядовых лоцин налегает на пески надпоймы, изолирующие аллювий от действия карбонатных вод скульптурных террас. С другой стороны, при проникновении полых вод по узким межгрядовым ложинам их скорость теряется, а вместе с тем осаждается часть аллювия, так что в глубь террасы полые воды попадают уже обедненными взвешенными частицами. Та или иная комбинация этих условий создает ряд почв с разной мощностью горизонтов современного аллювия, с разной поэтому глубиной залегания

погребенных почв на древнем аллювии и с различной выраженностью процессов почвообразования на тех и других наносах.

В качестве непосредственного объекта изучения взаимодействия химического минерального состава почв и растительности высокой поймы нами были выбраны три почвенных разности, наиболее характерные для почвенного покрова высокой поймы:

а) дерновые почвы на современном аллювии под щучково-лугово-овсянничниковой растительной ассоциацией;

б) перегнойно-торфяно-глеевые почвы на древнем аллювии, прикрытые маломощным слоем современного аллювия;

в) слабо-(скрыто-) подзолистые почвы на древнем аллювии под лесной растительностью (редкий сосняк с густым подлеском из орешника, осины, черемухи и травянистым надпочвенным покровом).

С этих трех разностей почв высокой поймы были взяты почвенные образцы и образцы растительности с площадок в 625 кв. см, заложенных около разрезов. Образцы растительности и почв были проанализированы в лаборатории. Переходим к изложению полученных результатов.

Дерновые почвы на современном аллювии. Дерновые почвы на более или менее мощном слое современного аллювия формируются в условиях относительно легкого проникновения полых вод Волги во внутреннюю часть поймы.

Приводим данные морфологического описания и химического анализа почв этого типа.

*Разрез 314. И. С.* Заложена в слегка пониженной внутренней части высокой поймы у с. Медведицкого. Пойма непосредственно примыкает к уступам денудационной террасы. Внутренняя часть поймы отделена от русла Волги невысоким плоским повышением у края поймы. Полые речные воды могут довольно легко проникать в эту часть поймы через широкую ложину, южнее, у впадения р. Медведицы, открывающуюся к руслу Волги. В большие половодья, кроме того, полые воды могут попадать во внутреннюю часть поймы непосредственно, переливаясь через прирусловое повышение. Луговая растительность участка принадлежит к щучково-лугово-овсянничниковой ассоциации. Кроме этих двух видов, в ассоциации преобладает красная овсяница (*Festuca rubra*), тимофеевка (*Phleum pratense*), белая полевица (*Agrostis alba*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*) и представители разнотравной луговой растительности: чина луговая, белый клевер, ползучий лютик, мышиный горошек и др.

Относительная высота поверхности — 6.5—7 м.

- 0—10 см — Коричневая, с очень слабым сероватым оттенком, супесь, почти легкий суглинок. Зернисто-комковатая структура. Задернен.
- 10—28 см — Коричневый горизонт, чуть светлее предыдущего. Уплотнен, имеет зернисто-комковатую структуру.
- 25—58 см — Коричневато-бурая супесь, почти легкий суглинок. Структура та же. Влажный.
- 58—79 см — По механическому составу суглинок. По окраске более темный. Хорошая комковато-зернистая структура.
- 79—100 см — Коричневато-бурый уплотненный суглинок. Слабо выраженная зернистая структура.

ТАБЛИЦА 3  
Данные химического и механического анализа разреза 314

№ разреза	Глуб. образцов	рН	СО <sub>2</sub> %	Гумус (по Кнопфу)	Гитроскоп. вода	Поглощенные основания в м-экв.				Механический состав (по Судану)					Сумма < 0,006	Провяз. лаборат. Почв. инст. Акд. Наук СССР
						Са	Mg	Н	Сумма	1—0,25	0,25—0,02	0,02—0,006	0,006—0,002	< 0,002		
314	0—10	8,44	0,01	3,56	3,74	21,70	9,25	нет	30,95	1,20	80,63	10,30	5,15	2,72	7,87	
	15—25	7,99	0,10	2,75	3,42	26,60	12,41	"	39,01	0,91	79,17	10,30	5,09	4,53	9,62	
	30—40	8,65	0,41	2,59	3,15	14,97	13,57	"	31,54	0,77	75,16	13,00	5,51	5,56	11,07	
	45—55	8,42	0,46	2,30	3,19	14,06	14,10	"	28,16	0,94	72,44	13,98	6,82	5,82	12,64	
	60—70	8,00	нет	4,35	4,76	22,87	6,81	"	29,08	3,81	22,64	45,65	12,40	15,50	27,90	
90—100	7,37	"	2,66	2,66	6,66	2,39	"	12,04	8,47	34,48	35,75	9,40	11,90	21,30		

Благодаря легкости проникновения полых речных вод к участку с разрезом 314, современный аллювиальный нанос имеет относительно большую мощность (около 60 см). Это же условие объясняет и легкость механического состава почвы (табл. 3).

Верхняя толща, толща современного аллювия, по механическому составу относится к супесчаным разностям. С глубиной глинистость возрастает, и на глубине около 60 см современные аллювиальные суглинки переходят в древнеаллювиальные суглинистые и тяжелосуглинистые отложения. Наиболее тяжелым по механическому составу является горизонт 58—79. В нем наблюдается также повышенное, по отношению ко всему профилю почвы, содержание гигроскопической воды, гумуса и отсутствие связанной СО<sub>2</sub>.

При морфологическом полевом описании почв этот горизонт во всех разностях дерновых почв на аллювии высокой поймы выделяется как более темно окрашенный, с хорошо выраженной зернистой или комковато-зернистой структурой. Видимо, это пегребенный гумусовый горизонт на древнеаллювиальных отложениях. Глубже этого горизонта механический состав почвы становится несколько легче.

Верхняя часть почвенного профиля, образовавшаяся на современном наносе, имеет сформированный гумусовый горизонт с наибольшим накоплением гумуса (до 3,5%) в верхней части профиля и медленным постепенным падением его количества с глубиной.

В этом образовании гумусового горизонта, захватившего всю толщу современного аллювия, в целом, основное отличие почв внутренней части высокой поймы от почв на полосатых аллювиальных отложениях прирусловых частей террасы. Процесс гумусообразования подчиняет и опережает здесь отложение молодого аллювия, и может быть лишь анализами очень

тонких слоев, в несколько миллиметров, удалось бы установить неравномерность накопления в верхней части и падения по профилю количества гумуса и слоистость механического состава аллювия. Ни на морфологическом строении профиля, ни в данных анализов слоистость аллювиальных отложений разреза 314 не была выявлена.

Характерно для почвы значительное количество поглощенных оснований. Их распределение по профилю в общем соответствует распределению гумуса, хотя максимум содержания поглощенных Са и Mg приходится не на горизонты наибольшего содержания гумуса (0—10, 58—79), а на второй горизонт (10—28). Поглощенного водорода в почве анализами не обнаружено.

Современная аллювиальная толща содержит небольшие количества карбонатов. Характер их распределения по профилю (повышенное содержание к нижней части толщи современного аллювия) указывает на явное вымывание углекислых солей, настолько интенсивное, что незначительный принос карбонатов с свежим аллювием уже не компенсирует их выноса. pH всего профиля почвы щелочное, несмотря на отсутствие углекислых солей в древнеаллювиальном суглинке.

Для того чтобы судить о передвижении элементов в почвенном профиле и о роли растительности в этом передвижении, нами были проделаны валовые анализы почвы, анализы солянокислой и щелочной вытяжки и зольный анализ травянистой растительности, покрывающей почву разреза 314 (растительность собиралась с площадки  $25 \times 25$  см, высушивалась, взвешивалась; зольный анализ ее производился по методике, разработанной в лаборатории отдела экспериментального почвоведения Почвенного института Академии Наук СССР). В табл. 4 и 5 приведены данные этих анализов. Судя по данным валового анализа и солянокислой вытяжки, почва содержит значительное количество кварцевой пыли. На это указывает высокое отношение  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ , значительный процент фракции 0.25—0.02 мм в механическом составе аллювия. Высокая растворимость алюминия и железа в солянокислой вытяжке говорит о том, что полуторные окислы находятся в почве, видимо в форме гидратов окислов. Содержание железа и алюминия несколько увеличивается с глубиной. В противоположность поглощенным основаниям, содержание валового кальция и магния и Са и Mg, переходящих в солянокислую вытяжку, повышается с глубиной. Такое распределение RO по почвенному профилю вполне совпадает с распределением  $\text{CO}_2$  и говорит о явном выщелачивании карбонатов из почвы. Несмотря на щелочную реакцию среды,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  передвигается по профилю почвы, накапливаясь в нижней части профиля почвы. Накопление  $\text{R}_2\text{O}_3$  в толще древнего аллювия, вероятно, не связано с современными процессами почвообразования. Повышение же в содержании  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в нижней части толщи современного аллювия, видимо, связано с весенним переувлажнением почвы и переходом окисного железа в закисные формы, подвижные даже при щелочной реакции среды.

Наличие сизых и ржавых пятен, в том или ином количестве встречающихся обычно в дерновых почвах поймы, свидетельствует о существовании здесь периодически сменяющихся процессов окисления и восстановления.

ТАБЛИ-  
Данные солянокислой и щелочной вытяжки

Глуб. горизон-та	Солянокислая вытяжка						Щелочная вытяжка			Валовой	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Аморфн. SiO <sub>2</sub>	Гигро-скопич. вода	Потери при прок.
0—10	0.1616	2.63	2.705	Не опред.	0.802	0.680	1.378	0.506	0.485	3.55	7.29
15—25	0.1894	2.65	3.325	"	0.960	0.820	1.265	0.8115	0.356	3.30	7.74
30—40	0.1435	2.62	3.490	"	1.020	0.850	1.260	0.594	0.248	3.06	4.67
45—55	0.1570	3.25	4.080	"	0.850	0.950				3.12	4.65
60—70	0.1771	6.62	5.909	"	0.788	1.220				4.75	6.37
90—100	0.1294	2.96	4.246	"	0.357	0.810	1.492	0.896	—	2.50	2.56

ТАБЛИЦА 5  
Данные анализа золы растительности

Объект исследования	Урожай-ность с га	Зола	В % от количества золы							
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CaO	MgO	
Растительность с площадки в 625 кв. см разреза 314. И. С. (Щучково-луго-овсянничник. ассоциация.)	23 ц. 44 кг	9.51	1	1.5	2.8	5.04	7.599	12.74	5.62	
		Взято растительностью с площадки в 625 кв. см. в г								
		1.3936	0.6175	0.0164	0.0383	0.0703	0.1084	0.1776	0.0786	
		Взято растительностью с 1 га в кг								
		222 кг 976 г	98 кг 800 г	2 кг 624 г	6 кг 128 г	11 кг 248 г	17 кг 344 г	28 кг 416 г	12 кг 544 г	

ТАБЛИ  
Данные валового анализа, анализа солянокислой и щелочной вытяжки по горизонтальным слоям почвы

Глуб. горизонта	Объемный вес 100 г почвы	Объемный вес слоя почвы	Данные солянокислой вытяжки				
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
0—10	84—60	5287.5	8.54	139.05	143.01	42.40	35.95
10—28	102.85	11570.62	21.91	306.63	384.73	109.924	94.88
28—38	112.85	21159.37	30.36	554.36	740.35	215.822	179.85
58—79	95.83	12578.65	22.27	832.66	743.234	99.112	153.45

<sup>1</sup> Расчеты нами производились следующим образом: объемный вес 1 кв. см и на количество того или иного вещества в 1 г почвы данного горизонта. Так во второй таблице даны пересчеты на 1 см мощности для каждого горизонта. валовой SiO<sub>2</sub>, мощность горизонта 10 см, объемный вес 1 куб. см — 0.84 г, следо- SiO<sub>2</sub> — 0.8187 × 625 × 10 × 0.84 = 3912.68 г (вся таблица), а в каждом слое в 1 см

ЦА 4

жек и валового анализа почвы разреза 314

анализ в % на абс.-сух. почву							Валовой анализ в % на прокаленную почву								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Сумма	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Не от-ред. ост.	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
75.89	8.66	3.31	0.39	1.055	0.93	97.52	81.87	9.34	3.57	0.42	1.14	1.00	2.66	11.96	14.86
75.84	9.30	3.64	0.45	1.62	1.29	99.88	82.20	10.08	3.95	0.49	1.76	1.40	0.12	11.09	13.89
76.77	2.375	3.95	0.49	1.70	1.23	98.185	90.54	9.84	4.14	0.51	1.79	1.29	1.89	10.98	13.92
76.03	9.88	4.18	0.39	1.74	1.34	98.24	79.74	10.36	4.25	0.41	1.82	1.41	2.01	10.40	13.09
67.17	13.40	6.17	0.13	2.02	1.64	96.90	71.74	14.31	6.59	0.14	2.16	1.75	3.31	6.58	8.52
78.54	9.24	4.73	0.47	1.24	1.02	97.80	80.60	9.48	4.85	0.48	1.27	1.05	2.27	10.99	14.45

Анализ щелочной вытяжки из почвы показал на наличие в верхних горизонтах почвы небольших количеств аморфной кремнекислоты.

С чем связано накопление обменного кальция и аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах почвы? Теоретически рассуждая, мы пришли к выводу, что имеем здесь дело с биологической аккумуляцией этих элементов. Данные анализа золы растительности целиком подтвердили это предположение (табл. 5). По содержанию в золе элементы распределяются в следующем порядке: SiO<sub>2</sub> > CaO > MnO > MgO > P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, причем первые три элемента составляют около 75% всей золы.

Чтобы судить о количественных размерах передвижения минеральных элементов под влиянием растительности и иметь возможность сравнить химический состав золы растений площадки разреза 314 с химическим составом самой почвы в весовых единицах, мы перечислили данные анализа почвы на объемный вес и — по горизонтам — на размеры площадки (табл. 6). Таким образом мы получили количество (в граммах) вещества, содержащегося в каждом горизонте площадки в 625 кв. см. Эти величины уже более приемлемы для сопоставления с количеством зольных элементов в растительности, взятой с

ЦА 6

щелочной вытяжек из почвы разреза 314, пересчитанные на и на размеры площадки в 625 кв. см (в г)<sup>1</sup>

Данные щелочной вытяжки			Данные валового анализа					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Аморфн. SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO
72.86	26.75	25.59	3912.68	457.89	175.02	18.62	55.78	48.97
146.80	59.58	40.25	8775.36	1076.06	421.17	52.06	187.44	149.25
266.60	121.55	53.56	16244.05	1982.63	835.79	86.39	359.75	260.26
			9563.58	1242.72	515.73	49.05	218.87	170.55

почвы помножался на размеры площадки (625 кв. см), на мощность горизонта как мощности горизонтов были разные и получались несравнимые цифры, то Например: в 1 г почвы верхнего горизонта разреза 314 содержится 0.8187 г вательно в слое в 10 см мощности площадки в 625 кв. см разреза 314 содержится мощности того же горизонта площадки содержится 0.8187 × 625 × 0.84 = 391.27 г SiO<sub>2</sub>.

Те же данные, пересчитанные на 1 см мощ

Глубина горизонта	Объемный вес	Данные соляно-кислой вытяжки				
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
0—10	528.7	0.854	13.905	14.30	4.24	3.59
10—28	413.2	1.217	17.03	21.37	6.107	5.27
28—38	795.3	1.012	18.48	24.68	7.194	5.98
58—79	599.0	1.06	39.65	35.39	4.72	7.31

площадки такого же размера. В составе золы растительности больше всего содержится кремнекислоты. С площадки в 625 кв. см вегетативная часть растений ежегодно извлекает из глубоких горизонтов и отдает верхним горизонтам 0.6175 г SiO<sub>2</sub>. В солянокислую вытяжку из почвы переходит 8.54 г SiO<sub>2</sub>; аморфной кремнекислоты в первом (верхнем) горизонте почвы площадки содержится 25.644 г; во втором горизонте 21.91 (12.17) г SiO<sub>2</sub> переходит в HCl вытяжку; аморфной кремнекислоты здесь содержится 32.97 (18.32) г; в третьем горизонте в HCl вытяжку переходит 30.36 (10.12) г SiO<sub>2</sub>; аморфной кремнекислоты содержится 49.93 (16.64) г и т. д.

Принимая во внимание, что мы при определении состава золы учитывали лишь кремнекислоту вегетативной части растительности и что, следовательно, растение возвращает почве еще дополнительное количество минеральных элементов и в том числе кремнекислоты, при ежегодном отмирании корневой системы, можно вполне определенно утверждать, что накопление аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах дерновых почв на аллювиальных наносах происходит при участии луговой травянистой растительности.<sup>1</sup>

Наличие биологического накопления аморфной кремнекислоты для ряда других почв указывалось рядом авторов (20, 9, 4, 26).

Проф. И. В. Тюрин указывает, что закрепление аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах почвы происходит не только в форме диатомовых, но и в виде окремненных частей растений.

Роль травянистой растительности в передвижении остальных растворимых элементов в дерновой почве разреза 314 менее значительна.

Несколько выше других компонентов в золе процентное содержание кальция. Некоторое накопление поглощенного Са мы наблюдаем и в верхних горизонтах почвы. Но абсолютные количества кальция, ежегодно извлекаемые растениями с площадки в 625 кв. см, по сравнению с содержанием этого элемента в почве, в доступных для растений формах, незначительно (растение содержит 0.1700 г, верхний горизонт почвы поглощенного кальция — 22.95 г, растворимого в HCl — 42.40 г).

Может быть, большим содержанием в почве разреза 314 кальция и

<sup>1</sup> Источником происхождения аморфной кремнекислоты в почве является, видимо, сама почвообразующая порода — аллювий. Связать присутствие аморфной кремнекислоты с разрушением алюмосиликатного ядра и вымыванием алюминия, вследствие процессов осолодения или подзолообразования, нельзя, так как ни поглощенного Na, ни поглощенного водорода анализами не обнаружено.

ности всей площадки в каждом горизонте

Данные щелочной вытяжки			Данные валового анализа					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Аморфн. SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO
7.29	2.67	2.56	391.27	45.79	17.50	1.86	5.58	4.90
8.86	3.31	2.29	493.51	59.78	23.40	2.89	10.41	8.29
8.89	4.05	1.75	541.47	66.09	27.86	3.46	11.99	8.68
			105.41	59.18	24.56	2.34	6.12	8.03

незначительным передвижением его, вследствие этого, при помощи растительности объясняется слабое перераспределение обменного Са по профилю почвы. Характерно, что в ряде других дерновых почв высокой поймы, близких по habitus'у к разрезу 314, но содержащих меньшее количество поглощенных оснований, резко выступает обеднение этим элементом нижних горизонтов и накопление его в верхних горизонтах.

Из других определяемых нами элементов значительную долю в составе золы растений составляет марганец.

Если отношение SiO<sub>2</sub>, содержащейся в золе растений, к валовому содержанию кремнекислоты в почве (для верхних горизонтов) равняется 1 : 7533, СаО—1 : 870, то отношение MnO равняется 1 : 210. Таким образом, роль растительности в передвижении этого элемента должна быть значительна. Однако мы не только не наблюдаем накопления марганца в верхних горизонтах почвы, но, наоборот, валовое содержание MnO выше всего в нижних горизонтах современного аллювия. Это явление, возможно, связано с тем, что растение способно поглощать марганец из труднорастворимых форм (например, пиролюзита). Возможно, что в дерновой почве разреза 314 освобождающийся при минерализации растительных остатков марганец в форме карбонатов мигрирует в нижние горизонты.

Таким образом, роль луговой растительности в формировании дерновых почв на аллювии чрезвычайно велика. Она заключается, во-первых, в накоплении гумуса в почве при отмирании органических остатков, во-вторых, в биологическом накоплении одних элементов в верхних горизонтах почвы (SiO<sub>2</sub>, Са) и в переводе других элементов из труднорастворимых в более растворимые формы (Mn, может быть даже SiO<sub>2</sub>).

Перегнойно-торфяно-глеевые почвы на древнем аллювии, прикрытые мало мощным слоем современного аллювия под осоково-щучковой растительностью. Перегнойно-торфяно-глеевые почвы на древнем аллювии формируются в узких лощинах между грядами надпойменной террасы, тянущимися параллельно руслу реки на высокой пойме. Благодаря песчаным останцам-грядам, почвы лощин в значительной степени ограждены от заноса аллювием и изолированы и от грунтовых вод денудационных террас. Поэтому слой современного аллювия, прикрывающий эти почвы сверху, обычно маломощен. Лощинное залегание обычно ведет к большей или меньшей заболоченности их.

Приведем описание одного из характерных для этих почв разрезов.

*Разрез 336. И. С. Лощина в пойме р. Волги у д. Подорваново, между песчаными грядами надпойменной террасы. Высота над руслом реки 7.5—8 м. Растительность — ассоциация острой осоки и щучки. Почва — перегнойно-торфяно-глеевая на древнем аллювии, прикрытая маломощным слоем современного наноса.*

- 0—12 см — Рыжевато-коричневый иловатый суглинок. Сильно задернен. Местами ржавые и сизые пятна.  
 12—40 см — Серовато-темносизый суглинок. Плотный, липкий, сырой.  
 40—66 см — Черный, со слабым сизоватым оттенком, перегнойно-торфянистый горизонт. Хорошая зернистая структура. Уплотнен. Мокрый. С 66 см начала накапливаться вода.

Приводим данные химического анализа этих почв (табл. 7).

ТАБЛИЦА 7

Данные определения pH, CO<sub>2</sub>, гумуса и поглощенных оснований разреза 336

№ разреза	Глуб. образцов	pH	CO <sub>2</sub>	Гумус (по Кнопцу)	Гигроскоп. вода	Поглощенные основания в м-экв.				Поглощенные основания в % от суммы			Прозв. лаборат. Почв. Инст. Акад. Наук СССР			
						Ca	Mg	H	Сумма	Ca	Mg	H				
336 И. С.	0—10	6.19	Нет	1.19	5.54	20.96	10.75	0.27	31.98	65.54	33.61	0.85				
	15—25	5.03	Нет	3.83	5.76	6.47	2.29	8.6	17.36	37.27	13.20	49.53				
	30—40	5.08	—	6.02	6.18	11.29	3.02	6.20	20.51	54.78	15.14	30.08				
	45—55	5.17	—	27.87	13.58	38.76	9.83	15.40	63.99	60.55	15.23	24.22				
	55—65	5.23	—	25.60	12.87	50.95	13.57	13.5	78.02	65.30	17.40	17.30				

Анализ указывает на кислую реакцию всего профиля почвы, отсутствие углекислых солей даже в верхних горизонтах, наличие обменного водорода (метод Гедройца) по всему профилю почвы.

Странное, на первый взгляд, распределение гумуса в почве (возрастание к низу профиля) объясняется, видимо, постепенным заиливанием тонкими илистыми частичками верхних горизонтов торфяно-перегнойно-глеевой почвы. Условия образования и разложения органических остатков в современный период, видимо, иные, чем они были при формировании погребенной почвы (иная растительность, лучшие условия разложения). Поэтому гумуса в верхнем горизонте, горизонте современного аллювия, накапливается меньше.

Этот горизонт содержит относительно высокое количество обменных Ca и Mg; незначительно содержание в нем поглощенного водорода. Обменная кислотность возрастает с глубиной, но относительная величина ее максимальна на глубине 15—25 см. Этот же горизонт отличается наиболее кислой реакцией. Видимо, это область наибольшего

выщелачивания обменного Ca и Mg. Солянокислая вытяжка (табл. 8) указывает на обеднение этого горизонта рядом элементов ( $\text{SiO}_2$ , CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Растворимые в HCl вытяжке окислы алюминия дают резко выраженное накопление в нижних горизонтах. Максимум же накопления железа и марганца наблюдается в поверхностном горизонте.

ТАБЛИЦА 8

Данные химического анализа разреза 336

Глуб. образцов	Солянокислая вытяжка						Щелочная вытяжка		
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	CaO	MgO	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Аморфн. $\text{SiO}_2$
0—10	0.1630	3.8125	6.2275	0.187	0.675	0.2679	0.374	0.510	—
15—25	0.1330	3.2660	3.0339	0.084	0.290	0.391	—	—	—
30—40	0.1400	4.6390	1.9960	0.015	0.390	0.352	2.540	1.396	0.077
45—55	0.1620	5.3734	1.6766	0.043	0.820	0.344	—	—	—

Мы предполагаем, что это явление связано с периодическим весенним подъемом грунтовых вод, обогащенных закисными формами железа. При соприкосновении с кислородом воздуха железо и отчасти марганец переходят в окисные, менее подвижные соединения.

Интересные данные получаются при сопоставлении зольного анализа щучково-осоковой растительности с площадки разреза 336 с химическим составом почвы (табл. 9). Щучково-осоковая растительность отличается высокой зольностью (10.38%). Повышенная зольность у болотных и полуболотных растений (хвощи, осоки, тростники), отмечаемая многими исследователями (31, 32, 13 и др.), объяснялась ими повышенной влажностью и наличием, благодаря этому, в почве сильно гидратированных соединений. Характерно, что в золе щучково-осоковой растительности содержание железа, алюминия, марганца и кальция значительно выше, чем содержание этих элементов в луговой растительности разреза 314.

ТАБЛИЦА 9

Данные анализа золы растительности

Объект исследования	Зола	$\text{SiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	CaO	MgO
Растительность с площадки в 625 кв. см разреза 336 (щучково-осоковая ассоциация).	В % от количества золы							
	10.38	35.63	4.556	2.96	3.59	7.74	19.28	5.01
	Взято растительностью с площадки в 625 кв. см в г							
	1.866	0.648	0.085	0.055	0.067	0.1454	0.3600	0.0936
Взято растительностью с 1 га в кг								
	298 кг	103 кг	13 кг	8 кг	11 кг	23 кг	57 кг	14 кг
	576 г	760 г	600 г	845 г	720 г	264 г	600 г	976 г

Сравним данные анализа золы с данными почвенных анализов, пересчитанными на объемный вес площадки в 625 кв. см, по горизонтам (табл. 10).

В почве, в верхних горизонтах, накапливаются обменные Са и Mg и кальций, марганец и железо, переходящие в солянокислую вытяжку из почвы. В золе растительности больше всего содержится кремнезема, кальция, марганца, магния. Таким образом, накопление трех последних элементов в верхних горизонтах почвы вполне объясняется биологической аккумуляцией. Отсутствие аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах почвы разреза 336 и незначительное содержание ее в нижних горизонтах, наряду с высоким процентным содержанием этого окисла в золе, — факт, трудно поддающийся объяснению. Можно предположить, что наряду с аморфной кремнекислотой в почве присутствуют свободные гидраты окислов алюминия, и, следовательно, вся кремнекислота, переходящая в щелочную вытяжку, является аморфной. Но и общее количество кремнекислоты, определяемое из щелочной вытяжки, невелико. Остается предположить, что кремнекислота, освобождающаяся при отмирании растительности, находится здесь в нерастворимых в щелочах формах.

Таким образом биологическая аккумуляция тех или иных элементов в почве зависит не только от состава золы растительности,<sup>1</sup> но и от тех конкретных условий, в которых происходит процесс почвообразования.

Характерно, что состав золы щучково-осоковой болотной ассоциации, в отличие от химического состава золы болотной растительности водораздельных пространств (данные Мышковской, 13), содержит значительно меньше кремнезема, но содержание окислов Са и Mg в золе щучково-осоковой ассоциации выше. По процентному же содержанию  $R_2O_3$  и MnO в золе болотные ассоциации водораздельных пространств близки к щучково-осоковой ассоциации. Следовательно, накопление окислов железа, алюминия и марганца в золе растений свойственно растительности влажных местообитаний — как водораздельным верховым болотам, так и низинным заболоченным пространствам речных долин. Содержание же кремнезема значительно выше, а кальция и магния значительно ниже в болотных ассоциациях водораздельных пространств.

Слабо-(скрыто-) подзолистые почвы на древнем аллювии под лесной растительностью. Выше мы указывали, что в тех случаях, когда поверхность высокой поймы зарастает лесом, отложение аллювия на ней сводится к минимуму или совсем прекращается. Такие облесенные участки на поверхности современной Волжской поймы хотя редко, но встречаются. Обычно по составу лес представляет собою сложный сосняк с редкими высокими соснами и подлеском из орешника, осины, черемухи и разнотравным надпочвенным покровом (таволга, щучка, Иван-да-Марья, ежа сборная и т. д.). Под этим растительным покровом формируются слабо-(скрыто-) подзолистые суглинистые почвы на двухчленном древнеаллювиальном наносе. Верхнюю толщу их слагают суглинки, аналогичные погребенным древнеаллювиальным отложениям разреза 314 (лишь несколько легче их по механическому составу). Книзу они сме-

<sup>1</sup> Химический состав золы растений, конечно, тоже, как показано выше, тесно связан с характером местообитания растительных ассоциаций.

ТАБЛИЦА 10

Данные анализа поглощенных оснований солянокислой и щелочной вытяжек, пересчитанные на объемный вес, мощность горизонтов и размеры площадки в 625 кв. см разреза 336 (в г на абс.-сух. почву)

Глуб. горизонта	Объемн. вес 100 г почвы	Объемн. вес гориз-зона	Поглощенные основания			Солянокислая вытяжка						Щелочная вытяжка			
			Ca	Mg	H	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Amорфн. SiO <sub>2</sub>	
															Ca
0-12	61.9	4642.5	19.40	5.98	0.012	7.57	176.99	289.11	8.68	31.34	12.34	17.36	23.67	Нет	
12-40	72.9	12757.5	22.58	3.95	1.02	17.41	504.24	320.84	6.31	43.37	34.04	206.70	114.49	6.35	
40-66	87.96	14283.7	127.12	19.99	1.99	18.01	551.72	165.91	6.15	81.14					

Те же данные, пересчитанные на 1 см мощности всей площадки для каждого горизонта

Глуб. горизонта	Объемн. вес площад-ки в 625 кв. см мощ-ности в 1 см	Поглощенные основа-ния			Солянокислая вытяжка						Щелочная вытяжка			
		Ca	Mg	H	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Amорфн. SiO <sub>2</sub>	
														Ca
0-12	386.8	1.61	0.498	0.001	0.63	14.75	24.00	0.72	2.61	1.03	1.44	1.97	Нет	
12-40	455.6	0.80	0.14	0.035	0.62	18.01	11.40	0.22	1.55	1.31	9.64	5.30	0.226	
40-66	549.3	4.89	0.76	0.076	0.69	20.45	8.90	0.23	4.78					

ТАБЛИЦА II  
Данные химического и механического анализа разреза I

Глуб. образцов.	Гигр. вода	pH	Гумус	Поглощенные ос-нования в %			Поглощенные основа-ния в м-экв.			Механический состав						
				Ca	Mg	H	Ca	Mg	H	Сум-ма	1—0.25	0.02—0.006	0.006—0.002	< 0.002	Σ 4 фр.	
															0.25—0.02	0.02—0.002
0—10	3.88	5.90	3.26	0.3074	0.114	Сл.	15.35	9.38	Сл.	24.73	5.24	41.30	8.70	7.30	62.57	37.43
15—25	2.75	5.95	1.46	0.193	0.078	Нет	9.65	6.42	Нет	16.07	5.66	37.90	9.40	10.70	63.66	36.34
35—40	3.58	6.11	0.68	0.243	0.074	—	12.15	6.09	—	18.24	4.08	30.25	8.45	22.22	64.98	35.02
55—65	2.56	6.31	0.19	0.157	0.048	—	7.86	3.95	—	11.81	5.00	25.50	6.40	16.80	53.70	—
80—90	1.79	7.00	0.10	0.193	0.067	—	9.65	5.51	—	15.16	5.58	8.80	3.30	10.50	28.18	71.81
125—135	0.45	7.32	Нет	0.171	0.043	—	8.53	3.54	—	12.12	46.02	1.55	0.25	3.00	50.82	49.18

няются древнеаллювиальными пекскими, иногда содержащими углекислые соли, с редкими узкими суглинистыми прослойками.

Приводим морфологическое описание и данные химического анализа этого типа почв.

Разрез 1. И. С. Слабое повышение во внутренней части поймы (между прирусловой грядой и надпойменной террасой), вытянутое параллельно р. Волге. Редкий сосновый лес. Довольно густой подлесок с преобладанием орешника, ольхи, осины. Разнотравный надпочвенный покров (манжетка, ежа сберная, таволга, узик, луговой мятлик и т. д.).

0—13 см — Серый, с буроватым оттенком, сухой суглинок. До 6—10 см сильно задернен. Ниже задернение слабее. Хорошая ореховато-зернистая структура. Уплотнен.

13—25 см — Серовато-бурый суглинок с ореховато-зернистой структурой. Структурные агрегаты довольно прочны. По граням коричневатая окраска. Горизонт уплотнен. Корней значительно меньше. Слабо влажный.

25—55 см — Коричневато-бурый суглинистый горизонт. Сильно уплотненный. Менее ясные комковато-ореховато-зернистые структурные отдельности. Влажный.

55—75 см — Коричневато-бурый, легкий, опесчаненный суглинок. Почти бесструктурный. Уплотненный.

75—80 см — Прослойка серовато-буровато-желтого

среднезернистого песка. Бесструктурная. Песок влажный 80—135 см — Красновато-бурый глинистый песок с прослойками среднезернистого пылевато-желтого песка. Песчанность увеличивается книзу. Бесструктурный. Слабо уплотненный. Сыроватый.

В табл. 11 приводятся данные анализа разреза 1.

Как видно из морфологического описания и аналитических данных, верхняя толща почвы до глубины 55—75 см идентична по характеру древнеаллювиальным суглинкам разреза 314.<sup>1</sup> Относительно высокая гигроскопическая влажность лишь в верхнем горизонте связана с повышенным содержанием гумуса, а в остальных объясняется, по видимому, относительно высоким содержанием фракции  $< 0.002$  мм, близким по количеству к содержанию ее в горизонте 60—70 см разреза 314. Изменения в механическом составе в пределах верхней толщи данного профиля можно отнести за счет процесса почвообразования, так как изменения касаются, главным образом, фракции  $< 0.002$  мм, в основном же толща однородна. Количество гумуса в почве невелико; лишь в верхнем горизонте оно достигает 3.26%, а затем быстро падает.

Характер распределения гумуса, поглощенных оснований, фракции  $< 0.002$  мм, кислая реакция верхних горизонтов ясно показывают, что верхняя толща почвы разреза 1 захвачена уже подзолистым процессом. Однако этот процесс находится, видимо, лишь в начальных стадиях, так как, несмотря на подкисление среды, лишь в самом верхнем горизонте обнаружены «следы» обменного водорода (метод Гедройца).

В морфологическом строении профиля процесс подзолообразования выражен лишь слабым посерением верхней толщи и уплотнением горизонта 25—55 см.

Данные валового анализа (табл. 12) показывают, что верхняя толща древнеаллювиального суглинка обогащена  $R_2O_3$  и обеднена кремнеземом. В пределах этой толщи полуторные окислы обнаруживают некоторое передвижение. Несколько обеднен ими горизонт 13—25 см и наиболее обогащен горизонт 25—55 см.

Отметим высокое содержание валового кальция в верхнем горизонте, связанное с относительно высоким количеством обменного Са, а в нижних горизонтах профиля, вероятно, связанное с присутствием карбонатов.

Было бы интересно провести периодические стационарные наблюдения над облесенными почвами пойменных террас. Мы предполагаем, что действие различных факторов в течение года — переменное влияние то щелочных вод речных разливов (рН полых речных вод Волги 7,49—7,95<sup>2</sup>), то кислых продуктов разложения растительности, — сказывается на химизме этих почв. Неприкрытые наносом современного карбонатного аллювия, с глубоко опущенным карбонатным горизонтом, эти почвы в отдельные периоды (поздней осенью, ранней весной) при глубоком разложении отмершей растительности и вымыва-

<sup>1</sup> Об этом же говорит и обогащение этой толщи полуторными окислами (табл. 12).

<sup>2</sup> Архив Московского санитарного института им. Эрисмана. рН волжской воды определен для пунктов, находящихся в пределах исследованной территории.

ТАБ

Данные валового анализа, анализа

Глуб. образцов	Гигроскоп. вода	Солянокислая вытяжка					Щелочная вытяжка		
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Аморфн. SiO <sub>2</sub>
0—10	3.88	0.223	3.39	2.20	1.75	0.412	0.888	0.404	0.175
15—25	2.75	0.216	3.45	2.24	0.82	0.283			
35—45	3.58	0.237	4.12	3.78	0.90	0.607	1.896	1.112	нет
55—65	2.56	0.172	2.25	1.78	0.65	0.226			
80—90	1.79	0.256	3.37	2.36	0.72	0.226			
125—135	0.45	0.179	0.79	0.52	0.84	0.236			

нии продуктов этого разложения, вероятно, имеют ясные признаки подзолообразовательного процесса, т. е. имеют в поглощенном состоянии ионы водорода. Но промывание слабощелочными, в той или иной степени минерализованными полыми водами приводит к насыщению поглощающего комплекса почв ионами Ca и Mg. То же, видимо, происходит и на первых стадиях разложения растительности, когда начинают освобождаться зольные элементы. <sup>1</sup> Стационарное изучение хода почвообразовательного процесса в таких почвах, находящихся под переменным воздействием противоположных факторов, имело бы не только теоретический интерес, но, может быть, позволило бы разработать метод своеобразной «мелиорации» подзолистых почв карбонатными водами.

Какова же роль растительности в развитии этих почв, в изменении распределения по профилю отдельных элементов на начальных стадиях подзолистого процесса? Для ответа на этот вопрос нами был проделан зольный анализ травянистой растительности, развивающейся под пологом леса, и анализ листьев, ствола и корней одной из наиболее распространенных в лесу пород — орешника.

Приводим данные анализа (табл. 13). Данные анализа, прежде всего, говорят о том, что древесная растительность имеет значительно более низкую зольность, чем травяные луга и леса. Но по содержанию отдельных элементов травянистая растительность под пологом леса ближе к древесной растительности, чем к луговой растительности поймы (см. выше данные анализа золы растительности с площадок разрезов 314 и 336). Оба типа лесной растительности содержат в составе золы значительно меньше кремнезема, чем луговые травы, меньше марганца. Но зато в них значительно выше содержание кальция. В стволе

<sup>1</sup> Наши данные по изучению динамики химического состава почвенно-грунтовых вод почвенного участка Центрально-лесного заповедника (22) и данные исследования лизиметрических вод (10) Иоффе И. С. показали, что в почвенном растворе лесных почв в первые моменты после листопада резко возрастает концентрация Ca.

ЛИЦА 12

солянокислой и щелочной вытяжек разреза 1

Валовой анализ в % на абс.-сух. почву							Валовой анализ в % на прокалени. почву					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Потер. при прок.	Сумма	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Сумма
72.00	9.15	5.21	2.86	1.34	9.18	99.76	79.28	10.07	5.74	3.15	1.47	99.71
76.81	9.01	5.20	1.36	1.07	6.06	99.51	81.76	9.59	5.53	1.44	1.14	99.46
72.41	10.01	5.95	1.31	1.28	6.56	97.52	77.49	10.71	6.37	1.40	1.37	97.34
77.58	8.09	4.15	1.06	0.95	4.72	96.55	81.42	8.49	4.35	1.11	0.997	96.37
83.73	7.15	3.08	1.61	1.15	3.09	99.81	86.39	7.38	3.18	1.66	1.19	99.80
90.46	4.05	2.10	1.26	1.02	0.89	99.77	91.25	4.09	2.12	1.27	1.02	99.75

его количество доходит до 43% от зольности, в травяной растительности под пологом леса до 52%.

Содержание магния в золе лесной растительности лишь немногим превышает содержание его в луговой растительности и поэтому в

ТАБЛИЦА 13

Данные анализа золы листьев, ствола, корней орешника и травянистой растительности площадки разреза 1 (в % от зольности)

Объект исследования	Зольность	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CaO/MgO
Листья орешника . . .	5.255	10.39	7.95	1.22	2.69	2.41	35.50	9.48	3.74
Ствол орешника . . .	1.219	3.52	6.62	1.30	0.11	1.017	43.97	5.90	7.55
Корни орешника . . .	2.047	36.48	9.31	2.96	2.19	1.05	24.42	2.54	9.61
Травянистая растит. с площадки разреза 1 . . . . .	7.21	24.11	4.42	1.73	1.04	1.92	52.19	9.70	5.38
Взято с площадки в 625 кв. см разреза 1 травянистой растительностью в г	0.932	0.225	0.043	0.160	0.010	0.018	0.486	0.091	—
Взято с 1 га травянистой растительностью площадки № 1 (в кг)	149 кг 84 г	35.952	6.864	2.555	1.552	2.848	77.824	14.544	—

золе лесной травы, листьев, ствола и корней орешника отношение Ca/Mg резко возрастает. Сравним данные зольного анализа поглощенных катионов из почвы разреза 1 (как и прежде, все данные пересчитаны на объемный вес площадки в 625 кв. см) (табл. 14).

Прежде всего результаты почвенных анализов показывают на накопление как поглощенного, так, в более резкой степени, и растворимого

в 20% HCl вытяжке кальция в верхних горизонтах. Второй максимум содержания Са наблюдается в самом нижнем горизонте. Наиболее обедненным по отношению к кальцию оказывается горизонт 13—25 см, и по другим признакам являющийся элювиальным. Все остальные элементы показывают пониженное содержание в верхних горизонтах и накопление в горизонте 25—55 см (в HCl вытяжке). Данные анализа листьев, ствола и корней орешника, как уже указывалось, говорят о значительном содержании в их золе кальция. Таким образом, корни орешника выносят ежегодно из почвы значительное количество минеральных элементов и, главным образом, кальция. К сожалению, мы не смогли количественно учесть этот вынос, так как в состав древесной растительности участка разреза I входят и другие древесные породы и густота подлеска в пределах облесенного участка различна.

Значительная часть поглощенного растениями кальция, наряду с другими зольными элементами, ежегодно возвращается — вместе с опадом листьев, ее разложением и минерализацией — в верхние горизонты почвы. Среди поступающих элементов особенно большое значение имеют кальций, кремнезем и магний.

Интересен тот факт, что травяная растительность, развивающаяся под пологом леса на исследуемом участке, по видовому составу характерная для широколиственных лесов (манжетка, таволга, узик и т. д.), оказалась очень богатой СаО (до 52%). Это явление, мы думаем, можно связать с тем, что, благодаря опадению листьев, верхние горизонты получают большое количество кальция в доступной для травянистой растительности форме. Количество СаО, поглощенное травянистой растительностью леса с площадки разреза I — 0.4886 г, значительно превосходит содержание этого элемента в растительности луговых площадок, описанных выше (рр. 314, 336) и составляет заметную величину по сравнению с содержанием СаО в почве. Меньшее, чем в травяной растительности луга, но все же заметное количество в составе золы травянистой растительности лесной формации составляет кремнезем (24.11% от зольности или 0.2247 г на площадку в 625 кв. см).

В листьях орешника содержание кремнезема снижается до 10.39%. Вероятно и здесь некоторое накопление аморфной кремнекислоты в верхнем горизонте почвы связано с биологической аккумуляцией ее.

Интересна роль магния в процессе биологического круговорота. Многие исследователи, изучавшие явления деградации чернозема, явления оподзоливания почв, отмечали, что по мере развития этих процессов в поглощающем комплексе почвы начинает иметь, наряду с водородом, все большее и большее значение магний, и отношение Са/Mg в подзолистых горизонтах падает. Это явление отмечено и нами.

В горизонте 13—25, по всем признакам имеющем элювиальный характер, отношение Са/Mg понижается до 1.5 : 1 (это отношение в листьях орешника 2.69 : 1, в стволе 7.45 : 1, в корнях 9.61 : 1).

Корни орешника распространяются на небольшую глубину. Наибольшее количество их сосредоточено как раз в горизонте, выделенном нами как элювиальный. Ряд исследователей объясняет понижение отношения Са/Mg при оподзоливании почв — свойством поглощенного магния давать менее растворимые соединения с анионами адсорб-

ТАБЛИЦА 14

Данные валового анализа, анализа солянокислой вытяжки и поглощенных оснований разрезов 1, пересчитанные на объем площадки в 625 кв. см по горизонтам (в г на абс.-сух. почву)

Глуб. разреза	Объемн. вес 100 г почвы	Объемн. вес всего гориз.	Поглощенные основания			Солянокислая вытяжка					Валовой анализ				
			Ca	Mg	H	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
0-13	77.0	6193	19	7	Следи	13.9	212.0	137.6	109.5	25.8	4459.5	566.7	322.7	177.1	82.99
13-25	110.5	8287	16	6	Нет	17.9	285.9	185.6	67.9	23.4	6365.6	746.7	403.9	112.7	88.7
25-55	114.5	21506	52	16	Нет	50.97	886.0	812.9	193.5	130.5	15572.6	2152.8	1279.6	281.7	275.3

Данные валового анализа, анализа солянокислой вытяжки и поглощенных оснований разрезов 1, пересчитанные на размеры площадки в 625 кв. см и мощность слоя почвы в кв. 1 см для каждого горизонта (в г на абс.-сух. почву)

Глуб. разреза	Объемный вес	Поглощенные основания			Солянокислая вытяжка					Валовой анализ				
		Ca	Mg	H	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
0-13	476	1.5	0.55	Следи	1.07	16.3	10.6	8.4	1.98	343.0	43.5	24.8	13.6	6.4
18-25	690	1.3	0.54	Нет	1.43	23.8	15.5	5.6	1.96	530.4	62.2	33.6	9.4	7.4
25-55	716.8	1.7	0.53	Нет	1.69	29.5	27.1	6.4	4.3	519.0	71.7	42.6	9.4	9.2

ционного слоя и, вследствие этого, меньшей энергией выхода магния при внедрении водородного иона.<sup>1</sup>

Наряду с этим объяснением, на основании наших данных, напрашивается еще одно. Как видно из приведенных таблиц, магний поглощается древесной растительностью значительно меньше, чем кальций, причем в золе ствола и корней деревьев, там, где поглощенные элементы задерживаются надолго, выбывая на более или менее длительный срок из биологического круговорота, количество кальция в 5—9 раз больше, чем магния. Экспериментальными работами проф. С. П. Кравкова и его учеников (11, 12, 25) по изучению процессов разложения растительных остатков (степного сена, хвой, листьев) доказано, что минеральные элементы обладают различной скоростью выщелачивания при разложении растительности, что магний, в частности, в 2—3 раза скорее переходит в раствор, чем кальций, так как последний при разложении органических остатков и постоянном промывании может переходить в менее растворимые формы. Следовательно, в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе нижних горизонтов лесных почв, благодаря биохимическим особенностям древесной растительности, магний может относительно накапливаться. Верхние же гумусово-аккумулятивные горизонты могут, напротив, относительно обогащаться поглощенным кальцием.

Таким образом роль лесной растительности в перемещении элементов по профилю почвы сказывается, главным образом, в отношении кальция, кремнезема и магния. Биохимическими работами некоторых исследователей установлено, что растение обладает способностью освобождать адсорбированные ионы, обменивая их на ионы водорода, выделяемые корневыми волосками. Следовательно роль древесной растительности в начальных стадиях подзолообразовательного процесса должна быть очень велика.

#### ВЫВОДЫ

1. При исследовании почвенного покрова высокой поймы Верхней Волги, на основании химического анализа ряда почв и золы растительности, покрывающей их, были получены некоторые данные по передвижению минеральных элементов в системе: растение — почва — почвообразующие породы.

2. Объектом исследования служили: 1) дерновые почвы на современном легкосуглинистом аллювии под луговой растительностью (щучково-луго-овсянничниковая ассоциация), 2) торфяно-перегнойно-глеевые почвы на древнем аллювии, прикрытые маломощным слоем современного, под полуболотной растительностью (щучково-осоковая ассоциация) и 3) слабоподзолистая почва на древнем аллювии под лесной растительностью (редкий сосняк с густым подлеском из орешника, осины, черемухи с травяным надпочвенным покровом).

<sup>1</sup> В докладе на III Международном конгрессе почвоведов Г. Вигнер (3) привел данные изучения ионного обмена Митчелем, согласно которым магний поглощается слабее, но вытесняется сильнее остальных двухвалентных катионов. Противоречие этих данных с прежними Вигнер объясняет различным структурным строением обменно-способных веществ, что при некоторых условиях обуславливает обратимость ионного ряда.

3. Влияние луговой растительности на миграцию элементов в системе растение — почва сказывается, главным образом, в отношении кремнезема, меньше — калия, кальция, магния и марганца. Накопление аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах дерновых почв и накопление поглощенных Са и Mg связывается нами с биологической аккумуляцией этих элементов при помощи травянистой растительности.

4. Большую роль луговая растительность играет в передвижении марганца. Однако характер миграции этого элемента не совсем ясен. В некоторых случаях под влиянием биологических процессов марганец накапливается в верхних горизонтах, в других — этого накопления нет, хотя растительность в обоих случаях поглощает этот элемент в значительном количестве. Возможно, что в последнем случае происходит вымывание освобожденного при разложении растительных остатков Mn, так как есть указания на то, что растение способно извлекать, Mn из труднорастворимых соединений.

5. На заболоченных луговых почвах повышается зольность растительности и возрастает ее значение в миграции Са, Mn, Fe, Mg.

6. Влияние леса на процессы передвижения минеральных элементов, на процессы оподзоливания почв на древнем аллювии сказывается, кроме изменения режима влажности, в обеднении нижних горизонтов почвы рядом элементов и, частично, в накоплении их в верхних горизонтах.

7. Особое место среди поглощаемых лесной растительностью элементов занимает кальций. В золе стволов и корней древесной растительности (т. е. в частях, ежегодно извлекающих из почвы минеральные элементы, но не отдающих их ежегодно обратно) процент СаО колеблется от 25 до 50. Учитывая громадное значение кальция в почвенном поглощающем комплексе, мы считаем, что миграция кальция при помощи древесной растительности должна играть важнейшую роль в начальных стадиях процесса подзолообразования. В закреплении кальция в верхних горизонтах профиля слабоподзолистых почв на древнем аллювии большую роль играет травянистая растительность, развивающаяся под пологом леса и содержащая до 50% СаО.

8. Высокое отношение Са/Mg в стволе и корнях орешника (5 : 1, 9 : 1), отмеченное в литературе также и для других древесных пород, видимо является одной из причин относительного повышения концентрации магния в почвенном растворе подзолистых почв и понижения отношения Са/Mg в почвенном поглощающем комплексе элювиальных горизонтов.

9. Некоторое накопление аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах почв на древнеаллювиальных отложениях под лесом, видимо, тоже объясняется биологической аккумуляцией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борзов А. А. Геоморфологические наблюдения в сопредельных частях Московской, Тверской и Ярославской губ.
2. Великанов М. А. Гидрогеология суши. 1932.
3. Вигнер Г. Ионный обмен и структура. Перевод И. Н. Антипова-Каратаева. Почвоведение, № 3, 1936.

4. Глазовская М. А. Материалы по изучению почвенного комплекса Нижнего Заволжья. Л., 1939.
5. Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д. И. Менделеева. Природа, № 8—9, 1933.
6. Гусятская Э. Материалы к методике анализа зольных элементов растительности. Рукопись. Почв. инст. Ак. Наук СССР, 1936.
7. Завалишин А. А. и Скрынникова И. Н. Почвенный очерк долины Верхней Волги. Рукопись. 1936.
8. Завалишин А. А. и Чапелкин Ю. Н. Почвы большой поймы р. Волхова в условиях подтопления Волховской ГЭС. Рукопись. 1934.
9. Завалишин А. А. Заметка о почвах речных долин бассейна озера Севан. Тр. Почв. инст. им. Докучаева, вып. 6, 1936.
10. Иоффе И. С. О лизиметрических исследованиях почв на Нью-Джерсейской с.-х. опытной станции. Докл. в Почв. инст. Ак. Наук СССР. Реферат в сб. «Проблемы советского почвоведения», № 2.
11. Кравков С. П. Материалы к изучению процессов разложения растительных остатков в почве. Матер. по изуч. русск. почв, вып. XI, 1905.
12. Кравков С. П. Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании. СПб., 1911.
13. Мышковская Е. Е. Состав зольных элементов растительного покрова в зависимости от почвенных типов. Изв. Амурск. обл. с.-х. станции. Благовещенск, 1925.
14. Ненюков С. С. О связи между химизмом растений и их положением в системе. Природа, № 9, 1939.
15. Польшов Б. Б. Кора выветривания. I, Л., 1934.
16. Польшов Б. Б. Геологический и биологический циклы в почвообразовании. Сб. к 50-летию научной деятельности В. Р. Вильямса.
17. Польшов Б. Б. Обмен минеральных веществ между почвой и растением. Докл. в Географ. общ., 1936.
18. Прасолов Л. И. Почвы поймы реки Волхова. Матер. по исслед. р. Волхова, т. VI, 1927.
19. Роде А. А. Подзолообразовательный процесс. 1937.
20. Рожанец М. И. и Пономарев Г. М. К характеристике черноземов и солонцовых комплексов Кустанайских степей Казахстана. Тр. Лен. отд. ВИАУ, вып. 21, 1933.
21. Скрынникова И. Н. Материалы по изучению почв на аллювии Верхней Волги. Рукопись. 1937.
22. Скрынникова И. Н. Опыт изучения динамики химического состава почвенно-грунтовых вод подзолистой зоны. Печатается в т. III Тр. Гос. Центр. лесн. запов.
23. Степанов Н. Н. К вопросу о роли леса в почвообразовании. Почвоведение, № 2, 1932.
24. Темноев П. И. Растительность долины р. Волги от д. Иваново до г. Мышкина. Рукопись. 1936.
25. Тищенко В. Материалы к процессам разложения растительных остатков. Уч. зап. ЛГУ, I сер., т. I, 1935.
26. Тюрин И. В. О биологическом накоплении кремнекислоты в почвах. Probl. Сов. почвовед. вып., IV, 1936.
27. Ebermauer. Die gesamte Lehre der Waldstreu. Berlin, 1876.
28. Jenu H. und Cowan E. Zeitschrift für Pflanzen u. s. w. Berlin, 1933, 31.
29. Jenu H. and Smith. Colloid Chemical Aspects of Glau Pan Formation in Soil Profiles, Soil Sc., 1935, 5.
30. Nemes A. Verhandlungen des Intern. Kongresses der forstlichen Versuchsanstalten. Stockholm, 1929.
31. Stoclasa J. Über die Verbreitung des Aluminiums in der Natur. Jena, 1932.
32. Wolff. Zusammensetzung Aschenanalysen, I, 1871; II, 1880.

## ПРИЕМЫ КОРЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ (СООБЩЕНИЕ I)

С. М. Миневиц

«При разрешении той задачи, которая является одним из центральнейших пунктов нашей народно-хозяйственной жизни — всемерного повышения урожайности, приемам активного непосредственного воздействия на почву должна быть отведена, несомненно, главенствующая и первенствующая роль».

*Кравков*

Обширные площади песчаных угодий Полесья обладают крайне низкой естественной производительностью, в связи с чрезвычайной бедностью их элементами питания растений и очень неблагоприятным водным режимом.

Наряду с этим здесь присутствуют и благоприятные факторы произрастания растительности (достаточное количество осадков, оптимальный для большинства культурных растений вегетационный период, сравнительно мягкий климат и т. п.).

Все это вместе взятое выдвигает необходимость изыскания эффективных мероприятий по окультуриванию этих почв и повышению, а зачастую и созданию, вновь плодородия.

Ни в коем случае недооценивая той колоссальной роли, которую играют в деле повышения урожайности собственно агротехнические и агрохимические мероприятия (правильная и своевременная обработка почвы, севооборот, борьба с сорняками, внесение удобрения и т. п.), мы все же считаем, что в условиях песчаных почв последние не имеют решающего значения, так как своеобразие физических и физико-химических свойств этих почв приводит к тому, что: а) формирование этих почв происходит в условиях сильного дренирования и аэрации при достаточно высокой температуре, что ведет к быстрому разрушению органического вещества; б) в них создаются условия сильного вымывания питательных веществ, и в) бедность этих почв Са и глинистой фракцией исключает возможность нормальной фиксации гумуса, а следовательно, и обогащения почвы органическим веществом.

Вот почему наиболее эффективные мероприятия по окультуриванию этих почв, повышению их плодородия в целях получения высоких

устойчивых урожаев, могут быть достигнуты лишь только в процессе одновременного изменения и улучшения всего комплекса факторов, влияющих на создание урожая путем применения агротехнических, агрохимических и агропочвенных (вернее, почвенно-мелиоративных) мероприятий.

Чтобы разрешить эту задачу, Полесская с.-х. научно-опытная станция поставила в 1937 г. опыт по коренному улучшению песчаных почв.

Опыт охватывает комплекс мероприятий агротехнического, агрохимического и агропочвенно-мелиоративного характера и включает в себя 28 вариантов, схема которых будет дана ниже.

Практически работа по опыту выполняется старшим научным работником, заведующим отделом агротехники, тов. В. В. Козакевич (агротехническая часть опыта) и почвоведом аспирантом ЛГУ С. М. Миневиц (агропочвенная и агрохимическая часть опыта).

#### КРАТКИЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Пункт проведения опытных работ — Полесская с.-х. опытная станция расположена на водоразделе рр. Тетерев и Ирша — самого большого левого притока р. Тетерев, в южном уголке Украинского Полесья, в 5 км от ст. Ирша Житомирской области на  $50^{\circ}42'$  с. ш. и  $29^{\circ}24'$  в. д. Средняя абсолютная высота колеблется между 151—158 м над уровнем моря.

Климат района расположения станции характеризуется достаточной мягкостью. Господствующие ветры здесь преобладают — весной NW, зимой NNO и WNW, а осенью смешанные. Годовое количество осадков достигает средней величины; причем в период всходов озимых, сентябрь — октябрь, осадков выпадает около 80 мм, а в период главного роста (май — июль) около 200 мм.

Средняя годовая температура  $7-8^{\circ}$ ; следовательно, лето здесь нежаркое. Зима же сравнительно теплая. Абсолютная максимальная температура достигает  $35-36^{\circ}$ ; а абсолютная минимальная от  $-33$  до  $-36^{\circ}$ .

Количество часов солнечного света достигает 1600—1650.

В геоморфологическом отношении район расположения станции представляет собой, как и все правобережье Полесья, монотонную нерасчлененную равнину с однообразным аккумулятивным флювиогляциальным и древнеаллювиальным рельефом, и лишь изредка в восточной и северо-восточной частях равнина эта разнообразится небольшими песчаными гривками.

Под более или менее мощным покровом послеледниковых песчаных отложений чаще всего залегает моренный суглинок, местами обогащающийся песком и незаметно переходящий в более или менее глинистые валунные пески и песчаники.

Как правило, моренные суглинки скрыты и недоступны непосредственному наблюдению, и налегание их на кристаллические породы обнаруживается у р. Ирши на серых мелкозернистых гранитах.

Песчаный слой на опытном участке Полесской опытной станции небольшой мощности подстилается моренными суглинками.

Э. Ф. Люткевич (6) на своей 10-верстной геологической карте относит этот район к «моренному ландшафту» (Grundmorenen Landschaft) «с мягкими очертаниями рельефа, многочисленно неправильно разбросанными, округленными валунными холмами».

Однако выяснение в полной мере генезиса геологического покрова района Полесской опытной станции усложняется тем, что, видимо, последлениковские отложения подвергнуты последующим эоловым процессам.

Так, по замечанию Тутковского (12), особенности последлениковских песков (главным образом их тонкозернистость и отсутствие в большинстве случаев слоистости, а также отсутствие окатанных зерен кварца и обилие угловатой кварцевой пыли) делают весьма вероятным, что значительная часть их имеет эоловое происхождение.

В силу этого было бы возможно более правильным назвать эти пески комплексным образованием флювиогляциального, древнеаллювиального и эолового характера.

Из вышеизложенной геологической характеристики видно, что почвы опытного участка образовались на двухчленном наносе, причем почвообразующей породой являются более молодые флювиогляциальные и древнеаллювиальные (а быть может и эоловые) отложения, представленные песками, которые подстилаются моренными суглинками и рыхлыми песчаниками, не принимающими участия (за редким исключением) в почвообразовательном процессе.

Почвообразовательный процесс развивается здесь по подзолистому типу почвообразования с преобладанием средне- и слабоподзолистых разностей, что находится в связи, с одной стороны, с микро-рельефом, а с другой стороны — с механическим составом почвы и характером подстилающей породы.

Почвы имеют легкий механический состав с преобладанием фракции среднего и мелкого песка, что подтверждается следующими данными механического анализа (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1  
Механический состав по Сабанину

№ разреза	Диаметр частиц в мм			
	1.0—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	< 0.01
3	55.45	32.28	4.87	7.30
	64.94	22.66	5.91	6.49
	58.33	33.83	3.75	4.09
	59.62	32.44	3.78	4.16
	59.85	30.87	5.10	4.18
	39.83	49.70	6.14	3.73
	18.60	10.23	31.64	39.53

Недостаточная выраженность морфологических признаков, по которым можно было бы судить об интенсивности подзолообразовательного процесса, затрудняет составление почвенного плана участка, на

основе отражения почвенных разностей по этим признакам. В силу этого в основу агрономической характеристики почвы опытного участка нами приняты мощность почвообразующего слоя песка и характер подстилающей породы.

Нам кажется, что у песчаных почв эти признаки являются ведущими, в силу того, что ими в большой степени определяется водный и питательный режим для растений и особенно для люпина, обладающего свойством использования элементов минерального питания растений более глубоких горизонтов и аккумуляции их в верхних слоях.

Морфологическая характеристика отдельных почвенных профилей представляется следующим образом.

### РАЗРЕЗ № 3

Рельеф слабовозвышенный (микробугорок), слабо-покатый на запад

- |         |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Гор. | Темносерый с пятнами желто-бурого песка; рыхлый, бесструктурный, песчаный, пронизан значительной сетью злаковых корешков.                                                                                                                               |
| II. »   | Бурый с желтоватой побежалостью; рыхлый, бесструктурный; значительные гумусовые потеки, песчаный, появляются белесые пятна; встречаются тоненькие злаковые корешки.                                                                                     |
| III. »  | Светлый, на общем фоне горизонтов заметно выраженные бурые потеки; округлые пятна б. корневых ходов; рыхлый, песчаный; появляются едва заметные следы окисного железа; заметное количество включений мелких угольных зернышек.                          |
| IV. »   | Светлый, с слегка коричневатым оттенком; явно выраженные железистые стяжения: ортзанды, пятна и другие формы; рыхлый, песчаный, бесструктурный.                                                                                                         |
| V. »    | Светлый, относительно уплотненный, бесструктурный; на общем белесом фоне железистые стяжения, замещающиеся более увлажненными и уплотненными жилами, идущими перпендикулярно плоскости разреза.                                                         |
| VI. »   | Сизовато-сероватый, супесчаный, относительно уплотненный; встречаются рельефно выраженные глееватые прослойки, расчлененные белесыми жилами; на общем сизом фоне выступают белесые пятна с железистыми стяжениями аурупигментного и охристого оттенков. |
| VII. »  | Пестрый; сизые, уплотненные слои чередуются с лентами, обогашенными окисным железом, разной интенсивности оттенков и разной формы; книзу мощность чередующихся линий увеличивается.                                                                     |
| VIII. » | Темношоколадный, с розовой побежалостью, монотонный, увлажненный, песчаный с примесью пылеватых частиц; при внедрении ножа раздается треск (хруст).                                                                                                     |
| IX. »   | Сизоватый с ромбовидной сеткой железистых стяжений.                                                                                                                                                                                                     |
| X. »    | Лёссовидный суглинок.                                                                                                                                                                                                                                   |

Почвенная разность. Слабоподзолистая, легкосупесчаная на лёссовидном суглинке.

### РАЗРЕЗ № 4

Расположен в микровпадине в 5—6 м от тракторной дороги Федоровка — Ирша и 80—100 м от молодого соснового лесонасаждения; около 60—70 м; на NNO песчаные грядки, задерживающие вместе с лесной посадкой и забором снежные заносы, идущие с открытых N и NW сторон.

- |         |                                                                                                                                                                      |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Гор. | Темносерый гумусовый; вверху пронизан густым кружевом корешков, уменьш. к концу горизонта; рыхлый, бесструктурный, легко супесчаный; встречаются пятна бурого песка. |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- II. Гор. Коричнево-бурый; резко выраженные гумусовые потеки (линзы, карманы, пятна); рыхлый, песчаный; усеян горохообразными белесыми пятнышками; угольная пыль.
- III. » Белый, рыхлый, песчаный мелкозернистый, пылеватый; на общем фоне ярко выраженного белесого горизонта едва заметные полиморфные яркожелтые железистые стяжения и следы гумуса.
- IV. » Пестрый, красно-бурый, глеевато-суглинистый, со сплошными сизыми прослойками; плотный, вязковатый, влажный, местами довольно пластичный; встречаются грязные пятна.

Почвенная разность. Слабоподзолистая, легко-супесчаная, на оглеенном моренном суглинке.

ТАБЛИЦА 2  
Валовой состав 1 горизонта

№ разреза	Глубина в см	Гигроскоп. H <sub>2</sub> O	Гумус в %	Потери от прокал.	Сумма минер. веществ.	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO
3	0—15	0.36	0.77	1.22	99.1	95.85	0.93	2.01	0.12	0.12	0.043
6	0—15	0.39	1.34	1.69	98.48	95.37	0.80	1.97	0.198	0.134	0.062

Приведенные данные механического анализа и морфологическая характеристика описанных разрезов указывают, что эти почвы являются типичными песчаными, подзолистыми. Частиц < 0.01 мм до глубины 180—200 см < 10%. Преобладающими являются фракции мелкого и среднего песка — материала очень инертного, неспособного оказывать никакого химического действия в почве.

Результаты валового анализа пахотного горизонта (табл. 2) показывают большое содержание кремнезема и незначительное накопление полуторных окислов и оснований.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ОПЫТНОГО УЧАСТКА

Легкий песчаный механический состав почвы предопределяет ее физические и физико-химические свойства.

Песчаные почвы участка характеризуются резко выраженной бесструктурностью, отсутствием связности и своеобразным отношением капиллярной и некапиллярной скважностей.

Перечисленные факторы предопределяют в свою очередь водный режим почвы.

Почвы с подобными физическими свойствами обладают малой водоудерживающей способностью. В силу этого они имеют тенденцию оставаться сухими, рыхлыми, «голодными», почему их обычно называют «неудобными».

Сильная водопроницаемость этих почв и совершенно ничтожное капиллярное поднятие воды из нижележащих горизонтов ведут к тому, что, несмотря на сравнительно благоприятные условия увлажнения

почвы за счет атмосферных осадков, растения не в состоянии воспользоваться в полной мере даже весенней влагой.

Полевая влажность пахотного горизонта не обеспечивает запаса воды, необходимого для роста растений, а следовательно, в период интенсивного роста культурных растений их огромная потребность в необходимой влаге не удовлетворяется.

Помимо большой водопроницаемости песчаных почв, обуславливающей быстрое просачивание гравитационной воды в нижележащие горизонты, эти почвы, будучи распыленными, имеют тенденцию к большому расходованию воды путем испарения через поверхность (Рыжов и Богомолов, 10).

Характер водного режима песчаных почв влияет в свою очередь на их физико-химические свойства.

Даже незначительные запасы поглощенных оснований легко вытесняются, и почвенный раствор беден солями, которые замещаются на водород.

Как показали наши исследования, рН этих почв находится в кислом интервале (табл. 5); емкость поглощения незначительна; гумус становится более подвижным и вымывается.

Полуторные окислы становятся настолько подвижными, что иллювиальный горизонт (наличие ярко выраженных псевдофибр) появляется зачастую на глубине 35—40 см.

Имеющиеся в почве весьма скромные накопления элементов минерального питания растений становятся очень мобильными и вымываются.

Бессвязные и бесструктурные песчаные почвы не могут противостоять и развевающему действию ветров, вследствие чего в весенние и летние месяцы поднимаются «песчаные бури», при которых разрушается гумусовый горизонт, выдуваются глинистые и пылеватые частицы и, кроме того, часть культурных почв заносится песком из близлежащих неокультуренных (развеваемых) песков.

#### Целевая установка опыта

Данная выше характеристика этих почв приводит к заключению, что естественный почвообразовательный процесс не может привести к созданию благоприятных условий для произрастания культурных растений и обеспечить устойчивые высокие урожаи.

Точно так же почти исключена возможность окультуривания их только путем применения соответствующих севооборотов.

Единственно реальная перспектива получения и закрепления в этих почвах элементов плодородия — это искусственное создание необходимой для культуры с.-х. растений среды, т. е. при помощи различных приемов, изменения и улучшения их физических и физико-химических свойств.

Благоприятные физические и физико-химические свойства почвы, как среды для развития культурных растений, обуславливаются целым рядом факторов и, в частности, наличием в почве органического вещества.

Накопление гумуса в почве зависит, с одной стороны, от условий разложения в ней растительных остатков и вносимого органиче-

ского вещества (что в песчаных почвах идет весьма интенсивно, благодаря чему остается мало промежуточных продуктов разложения и происходит хорошая мобилизация элементов питания растений, содержащихся в растительных остатках), а с другой стороны, накопление гумусовых веществ зависит от способности почвы фиксировать гумусовые вещества в горизонтах ризосферы, что теснейшим образом связано с характером минеральной части почвы.

Органические соединения не являются обособленными среди минеральных соединений почвы, а образуют с активной ее частью, коллоидной фракцией, органо-минеральный комплекс. Следовательно, приемы по обогащению почвы органическим веществом должны рассматриваться в тесной связи с исправлением ее минеральной части. В противном случае мы подойдем к разрешению этого вопроса односторонне.

Избежать этой односторонности мы можем в том случае, если наряду с мероприятиями по обогащению песчаных почв органическим веществом мы применяем приемы по улучшению механического состава этих почв.

Обогащением песчаных почв органическим веществом и улучшением их механического состава мы разрешаем актуальную задачу по изысканию приемов, воздействующих на почву в отношении накопления и сохранения почвенной влаги, и создаем условия бережного и экономного расходования ее.

Оптимальные условия для протекания био-физико-химических процессов, ведущих к накоплению элементов плодородия, теснейшим образом связаны с наличием в почве высокодисперсной органо-минеральной фракции — активной части почвенного поглощающего комплекса.

Вот почему добавление к почве наряду с органическим веществом соответствующих количеств глины или лёсса и мергеля должно привести к увеличению коллоидальных свойств почвы, а следовательно, и к увеличению емкости поглощения, насыщенности основаниями, улучшению буферности и физических свойств почвы.

#### ОБСУЖДЕНИЕ ВОПРОСА

Вопрос об известковании и глиновании почв с целью улучшения их физических свойств не является новым и имеет свою историю (1).

Плиний Старший (23—79 г. н. э.) в своей *Naturalis Historiae* указывает на изобретенный способ Британией и Галлией «удобрять землю землей же, именно тем родом ее, который называется мергелем». Этот прием, по выражению Плиния, «не оставили без внимания» и греки: «Эдди и Пиктоны сделали свои поля весьма плодородными при помощи извести».

О том, что «для удобрения к глине должно примешивать песок, а к песку глину», мы находим указания у античного греческого ботаника Теофраста (Theophrast's).

Довольно обстоятельные указания о методике, сроках и нормах внесения глины на исправление песчаной почвы дает нам немецкий ученый К. Sprengel.

Римский агроном Колумелла (1 в. н. э.) пишет, что его дядя Марк был «весьма сведущим и старательным хозяином: на песчаные места он возил глину, а на глинистые с очень плохой почвой — песок и добывался не только щедрого урожая, но и выращивал прекрасные виноградники».<sup>1</sup>

В позднейшее время (середина XIX в.) большое внимание этому вопросу уделялось профессором б. С.-Петербургского университета С. М. Усовым (14).

Используя относительно богатую для того времени литературу по данному вопросу, С. М. Усов, характеризуя песчаные почвы как «сухие», «бессочные», и что «излишек песка в почве лишает ее вязкости, делает безводною, сыпучею, чрезмерно горячею», рекомендует поправлять эти недостатки посредством прибавления глины.

Весьма убедительные результаты положительного действия глины на урожай зерновых и льна приводит лифляндский землевладелец Магнус (1855), применявший глинование в своем имении Ульши.

О том, что внесение глины в песчаные почвы «придает им достаточные коллоидальные свойства», указывает Э. Джон Рассель (E. John Russel). О глиновании песчаных почв в Германии в последнее время мы находим в работе E. Blank'a и Keese.

По вопросу известкования существует весьма богатая литература наших русских исследователей, и наиболее полное освещение этого вопроса мы находим в работах: К. К. Гедройца (3), Д. Н. Прянишникова (8), Н. П. Ремезова и С. В. Щербы (9), С. С. Ярусова (16), Кедрова-Зихмана (4) и др. Тем не менее конкретных указаний по вопросу известкования песчаных почв мы не находим. Отсутствуют также исследования о применении извести в сочетании с глиною, опилками и пр.

Вышесказанное продиктовало нам необходимость подойти вновь к исследованию этих вопросов, однако не с точки зрения изучения изолированных фактов, а принимая во внимание их взаимосвязь и взаимообусловленность, в силу чего наши воздействия должны быть направлены на весь комплекс факторов, способствующих повышению плодородия почв.

#### СХЕМА И ТЕХНИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ

Для освещения вопроса коренного улучшения песчаных почв при помощи воздействия не на одно какое-нибудь из свойств этих почв, а на целый комплекс их, как-то: улучшение механического состава, связности, водного режима, поглотительной способности и т. п., мы решили заложить полевые опыты по следующей сложной схеме, в которой нашли отражение обогащения почвы различными видами органических удобрений (торф, навоз, опилки, люпин), улучшение механического состава почв при помощи внесения глины, «лёсса», мергеля, а также различные сочетания органических удобрений и «минеральных добавок».

<sup>1</sup> Разрядка наша.

## Схема № 1. Опыт 1—17

- |                             |                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1. Контроль.                | 10. Мергель + торф.                 |
| 2. Навоз 36 т.              | 11. Мергель + лёсс + торф.          |
| 3. Торф по С в 36 т навоза. | 12. Мергель + глина + торф.         |
| 4. Глина 30 т.              | 13. Мергель + глина + навоз.        |
| 5. Лёсс.                    | 14. Мергель + торф + навоз.         |
| 6. Мергель.                 | 15. Мергель + лёсс + навоз.         |
| 7. Мергель + глина.         | 16. Мергель + лёсс + навоз + торф.  |
| 8. Мергель + лёсс.          | 17. Мергель + глина + навоз + торф. |
| 9. Мергель + навоз.         |                                     |

Схема № 2 опыта имеет в виду нахождение оптимальной дозы глины. С этой целью был избран фон, подобный делянке № 13 опыта 1—17, на которой дается одновременно органическая и минеральная заправка + коагулятор в виде  $\text{CaCO}_3$  мергеля.

## Схема № 2. Опыт 1—5

1. Контроль
2. Навоз 36 т + мерг. 1 гидр. кисл. + глина 20 т.
3. Навоз 36 т + мерг. 1 гидр. кисл. + глина 30 т.
4. Навоз 36 т + мерг. 1 гидр. кисл. + глина 40 т.
5. Навоз 36 т + мерг. 1 гидр. кисл. + глина 20 т каждую ротацию.

Площадь посевной делянки 256 м<sup>2</sup>; учетная площадь 200 м<sup>2</sup>, повторность двухкратная: предшественник — рожь.

Севооборот трехпольный при следующем наборе культур:

1. Люпин на зеленое удобрение . . . . . 1938 г.
2. Озимая рожь с пожнивным люпином . . . . . 1939 »
3. Картофель «Вольтман» . . . . . 1940 »

Подобный севооборот был избран потому, что он, с одной стороны, отражает сочетание тех культур (за исключением гречихи), которые приняты в севооборотах песчаных почв, с другой стороны, он имеет целью: 1) дать ответ на затронутые вопросы в возможно кратчайший срок, с тем, чтобы уже через этот отрезок времени можно было вносить коррективы в стационарный комплексный опыт; 2) максимальное сохранение почвы под растительным покровом для предохранения ее от развевания и песчаных наносов; 3) дать хорошую органическую заправку в форме люпина.

Технические условия проведения опытов

Перед закладкой опыта были произведены нивелировка опытного участка при высоте сечения горизонталей 10 см и морфологическое обследование на семи разрезах: результаты послужили основой для размещения опыта в натуре.

Все компоненты, за исключением навоза, были внесены в размельченном состоянии, осенью 1939 г.; навоз летний.

Запашка произведена глубиной в 18 см; пахота на 16 см конная (плугом) и боронование.

## АНАЛИЗ СХЕМ ОПЫТОВ И ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Опыт 1—17 (схема № 1) является основным; задача его — дать ответ о характере влияния как отдельных компонентов, так и сочета-

ния таких на улучшение биологических, физических и физико-химических свойств почвы и повышение урожайности.

Результаты двухлетней работы позволяют подвести некоторые предварительные итоги экспериментальных данных и результатов урожая зеленой массы люпина 1938 г. и озимой ржи 1939 г., к изложению которых и переходим.

### Глинование

Подходя к вопросу глинования песчаных почв с целью некоторого исправления их, мы не намерены были рассматривать глину как элемент удобрения (хотя факт некоторого привнесения  $K_2O$  в почву — бесспорен), а этим приемом имелось в виду, наряду с внесением других компонентов (глинистый мергель, иловатый торф), улучшение механического состава и некоторое обогащение коллоидной фракцией почвенного поглощающего комплекса. Кроме того, мы имели в виду и то обстоятельство, что обогащение почвы глинистыми частицами в сочетании с органическим веществом и таким сильным коагулятором, как Са-мергеля, повлечет за собой хотя бы некоторое создание элементов структуры.

Такая же цель преследовалась и внесением «лёсса»,<sup>1</sup> который мы рассматриваем как заменитель глины.

Расширение же схемы за счет этого варианта вызвано тем обстоятельством, что на Полесье зачастую этот лёсс имеет более широкое распространение, чем глина, так как он подстилает почвообразующие породы, а следовательно, им можно легче всего заменить таковую.

Кроме того, при наличии окарбончатенного лёсса он может быть использован одновременно и как известкующий материал.

Рассмотрим некоторые аналитические данные и результаты урожая люпина и озимой ржи по вариантам глинования.

ТАБЛИЦА 3

Изменение физических свойств почв под влиянием глинования

Схема	1938 г.		1939 г.		Общая скважность		Отношение скважностей к общей			
	Полевая влажность в %	Объемный вес	Полевая влажность в %	Объемный вес	1938 г.	1939 г.	1938 г.		1939 г.	
							Капилляр.	Некапилляр	Капилляр.	Некапилляр
Контроль . . . . .	3.28	1.55	3.63	1.51	43.2	42.3	62.0	38.0	67.6	32.4
Глина . . . . .	3.60	1.51	4.08	1.48	43.4	44.5	58.4	41.6	58.7	43.3

<sup>1</sup> Слово «лёсс» мы берем в кавычки потому, что использованная нами лёссовидная порода некарбонатна (что, по нашему мнению, является основным диагностическим признаком для лёсса). Термин же лёсс сохраняется нами как технический, характеризующий механический состав породы. Правильнее было бы его называть «лёссовидным суглинком».

Показатели полевой влажности при характеристике объемного веса почвы приводятся нами для того, чтобы приблизиться к более реальному сравнению данных 1938 и 1939 гг. (7), ибо, как показали наши исследования в 1938 г., объемный вес почвы находится в прямой связи с полевой влажностью, как это видно из табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Динамика изменения объемного веса почвы  
в связи с полевой влажностью

Схема	Опыт	№ делшки	Глубина	17/VI		14/VII		30/VII		20/IX	
				Полевая влажность	Объемный вес						
Контроль.....	1—17	1	2—12	7.07	1.47	5.27	1.50	—	—	3.28	1.55
Навоз.....	1—17	2	2—12	6.62	1.44	4.58	1.52	—	—	3.08	1.50
Глина.....	1—17	4	2—12	6.80	1.43	—	—	5.16	1.48	3.60	1.51
Мергель.....	1—17	6	—	—	—	—	—	5.22	1.46	3.31	1.51

Приведенные в табл. 3 данные показывают, что под влиянием глины уменьшается объемный вес почвы и, что самое основное, изменяются соотношения капиллярной скважности к некапиллярной в пользу последней. Из тех же данных видно, что такое изменение имеет тенденцию сохраняться и в дальнейшем: 43,3:56,7—1939 г. против 41,6:58,4—1938 г., в то время как на контрольном участке мы видим обратную картину: 32,4:67,6—1939 г. против 38,0:62,0—1938 г. Последнее обстоятельство объясняется тем, что в 1938 г. объемный вес определялся в люпиновом пару, корневая система которого создает большие некапиллярные промежутки в почве, увеличивая тем самым порозность.

Перейдем к рассмотрению влияния глины на изменение химических и физико-химических свойств почвы.

Содержание гумуса, емкость поглощения, поглощенный Са и рН отдельных вариантов по глинованию характеризуются следующим образом (табл. 5).

Данные анализов показывают повышение емкости поглощения на глинованных вариантах, что оправдывает предъявленные нами к глине требования, как к фактору, увеличивающему дисперсную часть почвы. Глина способствует фиксации гумуса в пахотном горизонте, что подтверждается увеличением на глинованных делянках гумуса.

На глинованных вариантах повышается содержание поглощенного Са; одновременно сглаживаются скачки рН на мергелеванных вариантах при совместном внесении мергеля с глиной, по сравнению с чистым мергелем, что, видимо, находится в связи с повышением буферности почвы.

ТАБЛИЦА 5

Схема	Опыт	№ делянки	Глубина в см	Гумус в %	Емкость поглощ. на 100 г почвы		Поглощ. Са на 100 г почвы		рН
					в мг	в м-экв.	в мг	в м-экв.	
Контроль . . . . .	1—17	1	0—15	0.98	0.025	1.25	0.0042	0.21	5.92
			20—30	0.49	0.042	2.10	0.0109	0.54	6.18
Глина . . . . .	1—17	4	0—15	1.20	0.038	1.90	—	0.6	6.30
			20—30	0.58	0.038	1.90	—	0.39	6.38
Мергель . . . . .	1—17	6	0—15	1.31	0.059	2.95	0.0353	1.76	6.85
			20—30	0.53	0.038	1.90	—	—	6.25
Глина + мергель . . . . .	1—17	7	0—15	1.98	0.067	3.35	0.034	1.70	6.62
			20—30	0.76	0.046	2.30	0.0117	0.56	6.10
Мергель + торф . . . . .	1—17	10	0—15	1.68	0.063	3.15	—	—	6.97
			20—30	—	0.050	2.50	—	—	6.10
Глина + мергель + торф . . . . .	1—17	12	0—15	1.62	0.054	2.70	0.0273	1.36	6.85
			20—30	—	0.048	2.30	0.0143	0.71	6.46
Мергель + навоз . . . . .	1—17	9	0—15	1.61	0.054	2.70	—	—	6.77
			20—30	0.67	—	—	—	—	—
Глина + мергель + навоз . . . . .	1—17	13	0—15	1.66	0.063	3.15	0.0248	1.24	6.20
			20—30	0.66	0.046	2.30	0.0180	0.90	6.73
Мергель + глина + навоз . . . . .	1—17	14	0—15	1.37	0.058	2.88	—	—	6.64
			20—30	—	—	—	—	—	6.07
Глина + мергель + торф + навоз	1—17	17	0—15	1.33	0.07	3.50	0.034	1.70	7.12
			20—30	0.63	0.042	2.10	0.0113	0.56	6.46

### ВЛИЯНИЕ ГЛИНОВАНИЯ НА УРОЖАЙ ЛЮПИНА И ОЗИМОЙ РЖИ

Вышеприведенные аналитические данные находятся в полном соответствии с таким объективным индикатором, каковым является урожай растений.

Имеющиеся в нашем распоряжении материалы фенологических наблюдений по динамике нарастания зеленой массы люпина и озимой ржи и результаты урожая этих культур полностью подтверждают это.

Следует оговориться, что метеорологические условия 1938 г. и в особенности 1939 г. являлись не совсем благоприятными для оптимального развития и роста люпина и ржи, а следовательно, случайности в повышении урожая за счет этого фактора безусловно исключены.

Анализ метеорологических данных показывает, что характер их распределения по отдельным временам года и, в частности, по периодам наибольшей нуждаемости растений во влаге являлся далеко не благоприятным.

Так, например, сентябрь 1938 г. в период всходов озимой ржи дает дефицит по сравнению с многолетними данными больше чем на 60%.

Такую же картину мы наблюдаем в апреле 1939 г., когда количество осадков составляет 56% от средних многолетних.

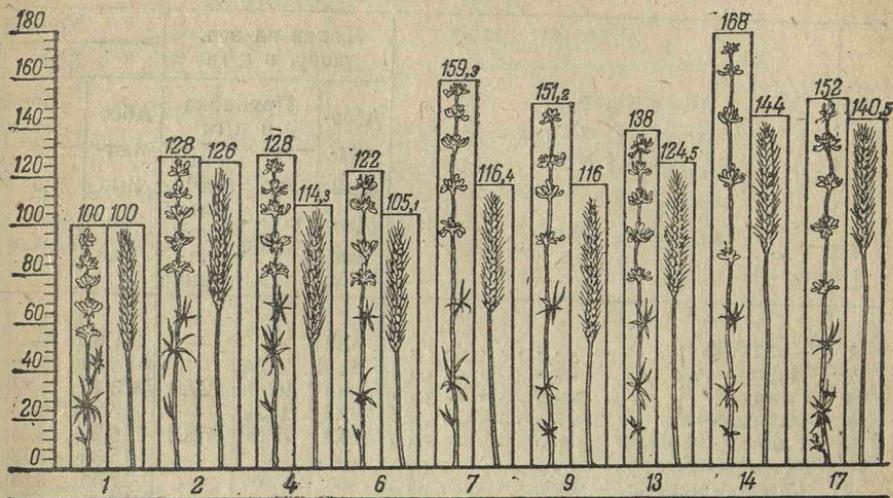


Рис. 1. Влияние глинования на урожай зеленой массы люпина и урожай общей массы озимой ржи.

— контроль; 2 — навоз; 4 — глина; 6 — мергель; 7 — глина + мергель; 9 — мергель + навоз; 13 — глина + мергель + навоз; 14 — торф + мергель + навоз; 17 — глина + торф + мергель + навоз.



Рис. 2. Влияние глинования на урожай зерна и соломы озимой ржи.

1 — контроль; 2 — навоз; 4 — глина; 6 — мергель; 7 — глина + мергель; 9 — мергель + навоз; 10 — мергель + торф; 12 — глина + мергель + торф; 13 — глина + мергель + навоз; 14 — мергель + торф + навоз; 17 — глина + мергель + торф + навоз.

В целом же имеем за период апрель—июнь, т. е. период активного развития озимой ржи, такие отклонения по осадкам:

Апрель — июнь, 1939 г. . . . . 121,2 мм

ТАБ  
Результаты урожая

№ делянки	С х е м а	Люпин на зел. удобр. в ц/га			Урожай ржи		
		Абсолютный урожай	Прибавка в ц/га		Абсолютный урожай	Прибавка в ц/га	
			к контролю	к неглинованной делянке		к контролю	к неглинованной делянке
1	Контроль . . . . .	61.9	—	—	11.62	—	—
2	Навоз . . . . .	83.81	21.90	—	13.60	1.58	—
4	Глина . . . . .	89.8	27.9	27.9	13.45	1.83	1.83
6	Мергель . . . . .	80.5	18.6	—	15.25	3.63	—
7	Глина + мергель . . . . .	118.8	56.9	38.3	16.20	4.58	0.95
10	Мергель + торф . . . . .	—	—	—	15.35	3.73	—
12	Глина + мергель + торф . . . . .	—	—	—	17.50	5.88	2.05
9	Мергель + навоз . . . . .	134.8	72.9	—	15.95	4.33	—
13	Глина + мергель + навоз . . . . .	123.7	61.8	-11.1	18.40	6.78	2.45
14	Мергель + навоз + торф . . . . .	136.9	75.0	—	19.85	8.23	—
17	Глина + мергель + навоз + торф . . . . .	115.0	53.1	-21.9	20.20	8.58	0.35

Если к этому добавить, что средняя температура воздуха превышает средние многолетние данные в апреле на 2.6° и в июне на 3.2°, то сделанная выше оговорка находит полное свое подтверждение.

Как это будет показано ниже, засушливый июль месяц наложил очень резкий отпечаток на урожай зерна ржи особенно на хорошо удобренных вариантах с более благоприятным режимом азотного питания растений.

Приведем результаты урожая ржи и люпина по глинованным вариантам (табл. 6 и рис. 1 и 2).

Из приведенных результатов урожая люпина и ржи видно: 1) на всех глинованных вариантах, как правило, повышается абсолютный урожай и люпина и ржи; 2) относительный эффект от глинования на делянках, не удобренных органикой, выше, чем на удобренных, абсолютная же прибавка на вариантах, заправленных органическим веществом, выше; 3) отмечается некоторая закономерность в повышении эффекта от глины по вариантам на фоне органики и без такового, что видно из табл. 7.

Урожай ржи, как и следовало ожидать, в основном следует за величиной запаханной массы люпина (исключение представляет лишь делянка № 7).

Обращают на себя внимание кривые этой корреляции.

1938 год, особенно период всходов и роста люпина, был относительно богат метеорологическими осадками (IV—VI 325 мм).

Все делянки, заправленные органикой в сочетании с глиной, по всей вероятности более продуктивно воспользовались этой влагой и

ЛИЦА 6  
люпина и озимой ржи

в ц/га	Солома			Общ. сух. масса			Отношение зерна к соломе
	Абсолютный урожай	Прибавка в ц/га		Абсолютный урожай	Прибавка в ц/га		
		к контролю	к неглинованной делянке		к контролю	к неглинованной делянке	
32.68	—	—	—	44.3	—	—	1:2.78
39.20	6.52	—	—	52.8	8.50	—	1:2.95
39.10	6.42	6.42	—	52.55	8.25	8.25	1:2.90
32.85	0.17	—	—	48.10	3.80	—	1:2.15
41.80	9.12	8.95	—	58.00	13.70	9.80	1:2.58
41.65	8.97	—	—	57.00	12.7	—	1:2.71
46.30	13.62	4.65	—	63.80	19.50	6.80	1:2.64
42.85	10.17	—	—	58.80	14.50	—	1:2.68
47.35	14.67	4.50	—	65.75	21.45	6.95	1:2.51
56.45	23.77	—	—	76.3	32.0	—	1:2.84
53.60	20.92	-2.85	—	73.8	30.5	-1.5	1:2.65

развили большую вегетативную массу люпина (см. делянки №№ 7, 9, 13, 14, 17).

В 1939 г., вследствие засушливого лета, на делянках №№ 7, 9, 13, 14 кривая урожая люпина оставляет далеко за собой кривую урожая озимой ржи, и лишь на делянке № 17, получившей полную органо-минеральную заправку, этот разрыв значительно уменьшается. Физические свойства также улучшаются. Так, например, объемный вес здесь уменьшился по сравнению с контрольной с 1.51 до 1.40. Некапиллярная скважность увеличилась соответственно с 12.2 до 18.3%, а общая скважность с 42.3 до 47%. За этими же показателями следует ожидать увеличение влагоемкости и уменьшение испарения почвой воды.

ТАБЛИЦА 7

Относительные прибавки урожая под влиянием глинования (среднее из двух повторений)

Культура	Прибавка общей сухой массы озимой ржи в ц/га			
	4	7	12	13
	Глина	Глина + мергель	Глина + мергель + торф	Глина + мергель + навоз
Озимая рожь . . . . .	8.25	9.80	6.80	6.95

Так, по Вильямсу (2): «Созданный бесструктурной почвой небольшой запас воды не обладает прочностью», он, т. е. запас воды, «будет и невелик и непрочен — он эфемерен». И дальше: «Всякий дождь, какова бы ни была его сила, целиком проникает в массу структурной почвы»; . . . «запас воды структурной почвы обладает большой прочностью», так как «в структурной почве высыхающий поверхностный слой образует так назыв. и з о л и р у ю щ и й или защитный слой, который сразу почти прекращает испарение воды из почвы». <sup>1</sup> Факт же образования на делянках, заправленных органическим веществом, глиной и мергелем, некоторых элементов структуры — бесспорен.

Урожай как люпина, так и зерна озимой ржи на делянке № 4 (глина 30 т) равен урожаю на делянке № 2 (навоз 36 т на га). Урожай же соломы на делянке № 2 по навозу выше урожая на делянке № 4 по глине.

На делянке № 7 (глина + мергель) урожай озимой ржи как по соломе, так и по зерну равен урожаю на делянке № 9 (мергель + навоз).

Объяснение этому, повидимому, следует искать в следующем: так как люпин был снабжен элементами минерального питания, за счет внесенного РК, то на навоз он отозвался меньше всего. Что же касается ржи, то навоз + запаханная зеленая масса люпина на делянке № 2 обогатили почву азотом, нарушив соотношение N:P, что стимулировало развитие вегетативной массы ржи при недостаточном наливе зерна (соотношение зерна к соломе составляет здесь 1 : 2.95).

Другую картину дает анализ показателей урожая на делянках №№ 7 и 9.

Сочетание глины + мергель, улучшив водные свойства почвы, оказало положительное влияние на развитие большой массы люпина.

Урожай соломы и зерна на этих делянках выравнялся, следовательно, на N навоза рожь не отозвалась, а основную роль здесь сыграл фосфор, о чем будет оговорено подробнее в разделе об известковании.

Следует отметить, что емкость поглощения на делянке № 7 (глина + мергель) увеличилась по сравнению с делянкой № 9 (навоз + мергель) на 24% при понижении глиной рН на фоне мергелевания на 0,15, что, видимо, связано с повышением буферности почвы под влиянием глинования.

Общую оценку рентабельности того или другого варианта схемы мы попытаемся дать при сравнении урожая по всем вариантам опытов, здесь же следует предварительно заметить, что наиболее эффективный абсолютный урожай зерна озимой ржи при сочетании трех и четырех компонентов получается по глинованным вариантам на фоне органического вещества и мергеля (делянки №№ 13 и 17), а при недостаточном наличии в хозяйстве навоза следует вносить глину и мергель (делянка № 7) на фоне NPK.

<sup>1</sup> К этим же выводам, подтвержденным экспериментальными данными, приходят в своих исследованиях Рыжов и Богомолов (10), Цыганов (15) и др.

Для того чтобы покончить с рассмотрением вопроса о глиновании, приведем данные опыта 1—5 по дозам глины. Цифры для сравнения берутся по опыту 1—17 из первой повторности, а по опыту 1—5 из второй повторности. Расхождения в урожае обеих повторностей, незначительны и почти не выходят за пределы ошибки опыта (табл. 8).

ТАБЛИЦА 8

Влияние доз глинования на урожай зеленой массы люпина и озимой ржи

Схема	Опыт	№ делянки	Доза глинования в т	Урожай в ц/га	
				люпин (зеленая масса)	Озимой ржи (зерно)
Глина + мергель + навоз . . . . .	1—5	2	20.0	102.4	17.2
То же . . . . .	1—5	3	30.0	—	17.8
„ „ . . . . .	1—17	13	30.0	123.7	18.4
„ „ . . . . .	1—5	4	40.0	150.9	18.0
„ „ . . . . .	1—5	5	20.0	—	16.8

Как видно из приведенных данных, нормы внесенной глины сказались лишь довольно резко на урожае люпина, который на навоз не отзывался, а в основном реагировал на условия увлажнения. Урожай зерна озимой ржи здесь почти снивелировался, и такие незначительные интервалы в дозах лишают возможности судить об относительном optimum'e глины.

Это обстоятельство заставило нас в 1940 г. расширить опыт за счет дополнительных трех делянок с нормами глины 30, 60 и 90 т на га.

Урожай же зерна на делянке № 3 (глина + навоз + мергель) опыта 1—5 равен в пределах точности опыта урожаю делянки № 13, опыт 1—17 (глина + навоз + мергель), чем подтверждается однотипность почвенного покрова выбранного для опытного участка и определенность в характере действия глинования на урожай ржи.

Подтверждение того, что здесь проявляется влияние глинования, мы находим при сравнении делянки № 9 (навоз + мергель) с делянками этого же фона + глинование, что видно из табл. 9.

На основании всего приведенного материала мы позволяем себе высказать некоторые намечающиеся положения.

1. Коренного улучшения песчаных почв возможно достигнуть лишь при одновременном использовании ряда агрокультурно-технических приемов, изменяющих физико-химические и биохимические свойства этих почв.

2. Глинованием песчаных почв в сочетании с разными органическими материалами и мергелем достигается повышение емкости поглощения, улучшение буферности, повышение полевой влажности,

водоудерживающей способности, увеличивается некапиллярная скважность; в результате на этих почвах увеличился урожай люпина и озимой ржи.

3. На вариантах, заправленных глиной, органическим веществом и мергелем, получен урожай зерна озимой ржи свыше 20 ц/га, что дает прибавку по отношению к контролю около 9 ц/га.

4. Глинование сказалося на урожае относительно более эффективно на неудобренных органическим веществом вариантах, чем на

ТАБЛИЦА 9

Действие глины на прибавку урожая озимой ржи на фоне навоз+мергель

Схема	№ делянки	Опыт	Урожай ржи в ц/га					
			Зерно		Солома		Общ. масса ржи	
			Абсолютный урожай	Прибавка к делянке № 9	Абсолютный урожай	Прибавка к делянке № 9	Абсолютный урожай	Прибавка к делянке № 9
Навоз + мергель . . . . .	9	1—17	15.95	—	42.85	—	58.80	—
Глина + навоз + мергель . . . . .	13	1—17	18.40	2.45	47.35	4.50	65.75	6.95
Глина + навоз + мергель . . . . .	3	1—5	17.80	1.85	51.30	7.45	69.10	10.30

удобренных. Абсолютный же урожай по фону органических удобрений был выше.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бурский М. И. Катон, Варрон, Колумелла, Плиний о сельском хозяйстве. Огиз. Сельхозгиз, 1937.
- Вильямс В. Р. Почвоведение. 1936.
- Гедройц К. К. Поглощительная способность почв. Изд. 1929 г.
- Кедров-Зихман. О влиянии извести на физические, химические и биологические свойства почвы. Зап. Горьковского с.-х. инст., т. 3, 1925.
- Кравков С. П. Почвоведение. 1937.
- Люткевич Э. Ф. Характер и пределы распространения ледниковых отложений в Радомысльском уезде Киевской губ., Зап. Новоросс. Общ. естествоисп., т. 37, стр. 127—145.
- Миневич С. М. К вопросу о коренном улучшении песчаных почв Полеской опытной станции. Рукопись.
- Прянишников Д. Н. Агрохимия. 1934.
- Ремезов Н. П. и Щерба С. В. Теория и практика известкования. Огиз, Сельхозгиз, 1938.
- Рыжов С. Н. и Богомолов В. З. Испарение из структурной и расплывчатой почвы. Почвоведение, 1, 1934.
- Соболев С. С. Почвы Украины и степного Крыма. Изд. ВАН, 1939.
- Тутковский П. Геологические исследования вдоль строящейся Киево-Ковельской ж. д. Изв. Геол. ком., т. XXI, стр. 325—487, 1902.

13. Тюрин И. В. Органическое вещество почв. Изд. 1938 г.
  14. Усов С. М. Основание земледелия. 1862.
  15. Цыганов М. С. Структура почвы и влажность. Почвоведение, 8, 1939.
  16. Ярусов С. С. Известкование, как прием коренного улучшения вновь освоенной земли в подзолистой зоне. Сельхозгиз, 1939.
-

## ОПЫТ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПОЧВ ПРИМОРСКИХ ДЕЛЬТ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ

М. А. Глазовская

Формирование почв дельт открытых морских побережий протекает под влиянием, с одной стороны, речных вод, приносящих взвеси и растворы минеральных и органических веществ с континента, и, с другой стороны, — вод морских, обогащающих в периоды приливов почвы дельт морскими осадками и солями.

Реки представляют собою чрезвычайно изменчивую систему: количество и состав их воды целиком зависит от характера географической области, по которой протекает река, от состава пород и типа почвообразования районов ее питания. Главным первоисточником питания рек является метеорная вода, состав которой варьирует в незначительной степени.

Однако метеорные воды, прежде чем попасть в реки, на своем пути к ним претерпевают ряд существенных изменений. Часть дождевых вод стекает по поверхности и, размывая ее, обогащается в большей или меньшей мере взвешенными частицами.

Количество мути в речных водах неодинаково. Особенно много ее в реках, протекающих в областях, бедных растительностью или подвергающихся земледельческой культуре. Так, например, максимальное количество мути наблюдалось для Колорадо и Рио-Гранде-Пас, где она достигает 1.4—1.7% (1); в водах Миссисипи она составляет около 0.97%. По подсчетам Катцера (12) р. Амазонка ежегодно переносит  $6.2 \times 10^{10}$  т вещества в виде мути.

В областях, богатых растительным покровом (лесная и болотная растительность), содержание мути заметно уменьшается. Так, например, для Верхней Волги и ее притоков С. Озеров (13) приводит содержание мути: 0.021—0.00005%. Реки Западной Сибири также очень бедны взвесями.

Муть, попадающая в реки, частично уносится в океан, частично, благодаря уменьшению скорости течения, задерживается в устьях и служит материнской породой для почв дельт.

Из общего количества метеорных осадков лишь часть стекает по поверхности; другая часть, прежде чем попасть в реки, проникает в почвы и рыхлые горные породы и уносит с собой легкоподвижные продукты выветривания и почвообразования, находящиеся в состоянии истинных или коллоидных растворов. Часть этих продуктов

задерживается по пути к рекам, выпадая, вследствие тех или иных причин, из растворов, и аккумулируется в местных, замкнутых бассейнах, но часть их достигает рек, сообщая им своеобразные химические черты.

Многочисленные анализы речных вод показали, что состав их, несмотря на некоторые общие черты (обилие кислорода, углекислоты), сильно варьирует. В. И. Вернадский (1) приводит следующие данные среднего химического состава речных вод тропических и северных рек (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1  
Химический состав речных вод в %

Название элементов	Северные реки	Тропические реки
Сухой остаток . . . . .	$3.9 \times 10^{-2}$	$9.4 \times 10^{-2}$
Органическое вещество . . . . .	$4.0 \times 10^{-3}$	$7.4 \times 10^{-2}$
Кислород . . . . .	$7.4 \times 10^{-3}$	$9.1 \times 10^{-3}$
Азот . . . . .	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
Кальций . . . . .	$6.0 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$
Кремний . . . . .	$3.0 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-3}$
Углерод . . . . .	$3.1 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
Натрий . . . . .	$3.9 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-3}$
Хлор . . . . .	$1.5 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-4}$
Железо . . . . .	$1.4 \times 10^{-3}$	$5.5 \times 10^{-4}$
Магний . . . . .	$2.1 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{-4}$
Сера . . . . .	$3.2 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$
Калий . . . . .	$1.8 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$

Рассмотрение данных табл. 1 показывает, что воды тропических рек содержат значительно больше растворенных веществ, чем воды северных рек. Сухой остаток увеличивается больше, чем в два раза. Это увеличение связано с повышением содержания органического вещества, кремния, натрия и хлора; содержание кислорода, азота, магния и калия остается почти постоянным; очень резко падает количество кальция, железа и серы.

Если сравнить отношения содержания Ca/Na и Fe/Si в тропических и северных реках, то получится следующая картина:

	Ca/Na	Fe/Si
Северные реки . . . . .	15.3	5.0
Тропические реки . . . . .	1.7	0.3

Таким образом, воды северных рек — это воды, богатые железом и кальцием, в то время как тропические реки содержат значительные количества кремния и натрия.

Обогащение северных рек соединениями железа находится, по-видимому, в связи с оподзоливанием и заболачиванием почв северных областей. Новейшие исследования Маттсона показали, что благодаря процессам изоэлектрического выветривания в подзолистых почвах, в условиях кислой среды и присутствия органических коллоидов, золи гидрата окиси железа становятся подвижными и выно-

сятся притекающими в почву дождевыми водами. Часть соединений железа попадает в замкнутые водоемы, где оно образует озерные и болотные руды, но часть непосредственно достигает речных вод.

Соединения железа, накапливающиеся в болотах, могут вторично перейти в легкоподвижное состояние, давая в условиях восстановительной среды закисные соединения, и, передвигаясь в состоянии истинного раствора, могут также достигнуть рек.

Наоборот, в условиях тропического — латеритного выветривания окислы железа и алюминия оказываются наименее подвижными; они накапливаются на месте в качестве остаточного продукта; в данном случае наибольшему выносу подвергается кремнекислота, обилие подвижных форм которой подтверждают данные анализов вод тропических рек (табл. 1).

Передвижение кремнекислоты происходит, повидимому, как в коллоидном состоянии, так и в истинных растворах (в виде  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , о чем свидетельствует обилие в тропических водах натрия).

Химический состав речных вод определяется, таким образом, в значительной мере характером почвообразования и выветривания данной географической области и представляет собою итог всех химических и химико-биологических процессов, совершающихся в коре выветривания в почвах.

Судьба находящихся в речной воде соединений различна: одни из них уносятся в океан, где претерпевают ряд сложных изменений и превращений; другие, проникая вместе с водой в рыхлые отложения речной долины, при испарении воды накапливаются там, не достигая устья; третьи, наконец, задерживаются в приустьевых частях — в области дельт. К последней группе соединений относятся, главным образом, коллоидные вещества, находящиеся в речных водах, которые при встрече с засоленными морскими водами коагулируются и, выпадая из растворов, накапливаются в осадках в почвах дельт.

Влияние морских вод на почвы дельты сказывается не только в коагуляции коллоидных частиц, но также и в более или менее значительном засолении почв побережья.

В отличие от рек, воды океана во всех точках земного шара почти одинаковы. Многочисленные анализы вод океанов и морей, с одной стороны, и вод рек и континентальных озер, с другой, указывают на значительные различия в их химическом составе.

Приводим данные Ниггли (2; 1928).

Данные табл. 2 указывают на резкое увеличение содержания в водах океана, по сравнению с речными водами, хлора (почти в 14 раз) и натрия (в 7.3 раза). Наряду с этим, в водах океана заметно уменьшается содержание кальция (в 12.6 раза), серы (в 2 раза), калия (в 1.4 раза), и колоссально падает количество углерода (в 100 раз).

Столь глубокие различия в солевом составе вод рек и океанов связаны с явлениями поглощения отдельных элементов организмами моря; поступающий в моря хлорид извлекается из воды организмами в виде  $\text{CaCO}_3$  и надолго уходит из круговорота элементов гидросферы: мощные отложения известняков и мела указывают, насколько интенсивно происходит этот процесс. Подобную же судьбу претерпевает калий, накопления которого обнаруживаются в отложениях

ТАБЛИЦА 2

Средний химический состав вод океана и рек в %

Названия элементов	Весовые проценты		Атомные проценты	
	Соли океана	Соли рек	Соли океана	Соли рек
Кислород . . . . .	6.29	44.10	11.10	56.90
Хлор . . . . .	55.30	5.68	44.00	3.31
Натрий . . . . .	30.60	5.79	37.50	5.20
Магний . . . . .	3.73	3.41	4.33	3.00
Кальций . . . . .	1.20	20.40	0.83	10.50
Калий . . . . .	1.11	2.12	0.79	1.12
Сера . . . . .	1.54	4.08	1.35	2.63
Углерод . . . . .	0.07	7.05	0.16	12.20

глауконитовых илов терригенных областей. По данным анализов, приводимых К. Andrée (3), содержание калия в глауконитах достигает 6,0—7,8%, в то время как содержание натрия в них составляет лишь 0,9—1,3%. По мере поглощения калия и углекислого кальция из морской воды — хлористые соли натрия и магния получают явное преобладание. Если взять отношения Na/Ca и Na/Mg в морской и речной воде, то это положение становится еще более ясным:

	Na/Ca	Na/Mg
Речная вода . . . . .	0.30	0.16
Морская вода . . . . .	25.5	3.03

Специфические особенности солевого состава морских вод вызывают, в свою очередь, особый характер засоления прибрежных грунтовых вод и почв. В области дельт, где влияние морских приливов сказывается на 18—20 км в глубь дельты, а в некоторых наиболее крупных реках оно распространяется до 35 км, прибрежно-морское засоление должно сказываться на значительных пространствах. Наряду с накоплением солей в почвах дельт отлагаются приносимые с приливом раковины моллюсков и другие мелкие морские животные.

После спада воды все принесенное морем остается в отложениях дельты и, по мере выхода отдельных участков ее из-под влияния морских приливов и разливов реки, принимает участие в процессах почвообразования.

#### ПОЧВЫ ДЕЛЬТ ПОЛЯРНЫХ И УМЕРЕННЫХ ШИРОТ

Сведения о почвах приморских дельт крайнего севера очень отрывочны и неполны. Упоминание о засоленных почвах побережья полярного моря впервые находим у Г. И. Танфильева (4). В своем дневнике Танфильев пишет: «У устья Пришетенка спустились сажени три к лайде, соленому заливаемому приливом лугу. Расгнут на ней обыкновенные солончаковые растения *Triglochin maritima*, *Aster triflo-*

ium и др.». Имеются интересные описания А. С. Панова (5) полигональных образований Канинской тундры. Полигональные образования приурочены преимущественно к речным долинам — лайдам и к участкам морского берега несколько выше линии прилива. Они резко выделяются среди богатой луговой растительности лайды своей голой растрескавшейся поверхностью с обильными выцветами солей. При сильных ветрах верхний, растрескавшийся на плитчатые многоугольные отдельные, слой сдувается с поверхности площадок; засолению и растрескиванию подвергаются нижележащие слои. Таким образом на месте засоленных площадок образуются постепенно вдавления рельефа. Засоленные полигональные грунты А. С. Панов наблюдал в устьях рр. Пешы и Чешы, а также на р. Вижас. Каких-либо химических анализов почв при этих исследованиях не производилось, и поэтому сказать что-либо об особенностях химизма тундровых засоленных почв невозможно.

Значительно более подробно изучены засоленные почвы дельт умеренных широт в Голландии (марши). Исследования Van-Bemmelen (6) в провинции Гронинген и работы Hissink (7) установили, что материнскими породами для маршевых почв являются морские осадки, отложившиеся в устьях рек во время морских приливов.

Почвы приморских болот (или маршей) имеют близкий горизонт грунтовых вод (на глубине 50—60 см) с большим содержанием солей; в некоторых случаях количество хлористого натрия достигает 7—8 г на 1 литр.

Почвы побережий также значительно засолены, содержат большое количество углекислого кальция и остатки болотной приморской растительности (*Fragmites communis*). В настоящий момент эти почвы покрыты зарослями *Salicornia*.

Анализ водной вытяжки поверхностного горизонта почвы из Шильдвельде показал следующее содержание солей (в %).

Ca	Mg	K	Na	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
0.10	0.10	1.25	0.10	0.60	1.00	0.28

Данные анализа говорят о преимущественном накоплении сернокислых солей. Содержание CO<sub>2</sub> колеблется от 5.7% в молодых почвах до полного исчезновения на старых, давно осушенных участках.

По данным Hissink'a содержание хлористого натра в верхних горизонтах молодых маршевых почв достигает 1.0—1.2%, а количество CaCO<sub>3</sub> в некоторых случаях доходит до 10%.

Особый интерес представляют описанные Van-Bemmelen и Wicke (8) своеобразные кислые, богатые гипсом, почвы (Pulvererde). Они образуются в областях интенсивного развития прибрежных болот и располагаются в виде полос по древним береговым линиям, приурочиваясь к старым дельтам рек. Водные вытяжки из этих почв дали сильно кислую реакцию, большое содержание SO<sub>3</sub> (5.7%), Ca (1.8%) и Mg (0.9%). В молодых Pulvererde были обнаружены большие количества сернистого железа; в более старых разностях наблюдалось уменьшение содержания сернистого железа и увеличение количества гипса. Вместе с тем в них появлялся воднорастворимый алюминий. Реакция этих почв кислая. Wicke в Harlammerpolder были

обнаружены подобные почвы, содержащие наряду с легко растворимыми солями много сернистого железа, которое вместе с разложившимися растительными остатками придавало почвам иссиня-черную окраску. При микроскопическом исследовании образцов этих почв были обнаружены мелкие кристаллики пирита и марказита, а некоторые мелкие раковинки были целиком выполнены этими минералами. Подобные же накопления сернистого железа и пирита были обнаружены Hagen'ом в почвах нижнего течения рр. Эльбы и Везера.

Van-Bemmelen полагает, что образование сернистого железа в почвах дельт может происходить лишь при воздействии засоленных морских вод. К подобному же выводу приходит и Schucht на основании своих исследований в устье Эльбы, где распространение почв, содержащих сернистое железо, ограничено распространением влияния вод прилива.

Старые маршевые почвы, вышедшие из-под влияния морских вод, похожи на иловато-болотные почвы, но имеют особую красноватую окраску, обусловленную обилием гидратов окиси железа; в нижних горизонтах их наблюдаются выделения гипса (количества его достигают 5—6%) и еще ниже, местами, сохраняются карбонаты и сернистое железо.

Образование почв, содержащих сернистое железо, и дальнейшее превращение их в кислые Pulvererde можно представить себе следующим образом: реки приносят со своими водами большие количества коллоидных гидратов окислов железа, которые в области дельт, при встрече с морскими водами, осаждаются. В условиях восстановительной среды прибрежных маршевых болот с близким горизонтом засоленных грунтовых вод и обилием разлагающихся растительных остатков происходит образование закисных соединений железа, с одной стороны, и восстановление сернокислых солей морской воды до сернистых соединений и сероводорода, с другой. Последний, вступая в реакцию с закисным железом, дает сернистое железо. На первых порах сернистое железо находится в коллоидном состоянии, сообщая почвам интенсивно-черную окраску; со временем оно кристаллизуется, давая кристаллы пирита и марказита, которые и обнаруживаются при микроскопических исследованиях приморских почв.

Наряду с гидратами железа речные воды приносят большое количество кальция, который, накапливаясь в прибрежных частях, обуславливает сильную карбонатность дельтовых почв. По мере роста дельты и выхода приморских почв из-под влияния грунтовых вод и смены восстановительных условий — окислительными, находящиеся в почвах FeS и FeS<sub>2</sub> окисляются по следующей реакции:  $FeS_2 + H_2O + 7O = FeSO_4 + H_2SO_4$ ; получающееся сернокислое железо очень неустойчиво, и оно быстро переходит в гидрат окиси железа с выделением свободной серной кислоты:  $2FeSO_4 + 5H_2O + O = 2Fe(OH)_3 + 2H_2SO_4$ .

Таким образом, процессы окисления сернистого железа в приморских почвах сопровождаются образованием свободной серной кислоты. При воздействии последней на карбонаты, находящиеся в почвах, образуется гипс. По мере исчезновения сернистого железа — все-

большее и большее количество карбонатов превращается в гипс. Наконец, при полном исчезновении карбонатов и обильном накоплении гипса, что наблюдается в старых Pulvererde, вновь образующиеся порции серной кислоты сообщают почвам кислую реакцию. Под действием серной кислоты разлагаются алюмосиликаты, давая соединения сернокислого алюминия, наличие которого обнаруживается в водных вытяжках. Присутствие сернокислого алюминия делает эти почвы очень неплодородными, и только путем интенсивного известкования удавалось их частично улучшить. Frosterus (9) отмечает подобное же накопление сернокислых солей алюминия в приморских почвах Норвегии, где в сухое время года они даже дают выцветы на поверхности почвы. Повидимому, накопление сернистого железа, гипса и сернокислого алюминия является характерным признаком приморских почв побережий в умеренном климате. Воздействие морских вод на почвы дельт умеренных областей главным образом сказывается на образовании сернистых и сернокислых соединений. Влияние хлористых солей на засоление приморских почв здесь невелико. Они вымываются из маршевых почв необычайно быстро, не вызывая солонцеватости их. Отсутствие солонцеватости в маршевых почвах связано, по всей вероятности, с накоплением в этих почвах карбоната кальция и главным образом, гипса.

Однако, физические свойства старых маршевых почв все же очень неблагоприятны благодаря обилию гидратов окиси железа. Последние делают их вязкими во влажном состоянии и очень плотными, плохо водопроницаемыми в сухом.

Как уже указывалось выше, большое количество гидратов окиси железа сообщает этим почвам красную окраску.

#### ПОЧВЫ ДЕЛЬТ ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТ

Описания почвенного покрова дельт тропических побережий очень немногочисленны. Большая часть исследований касалась не столько самих почв, сколько поселяющейся на них растительности, которая благодаря своей оригинальности издавна привлекала к себе внимание исследователей.

Растительность заболоченных тропических дельт, по описаниям Келлера (10), представлена различными видами мангровых. Жизнь и морфология их очень своеобразны: это растения-амфибии; во время приливов они почти целиком заливаются водой; во время отлива обнажаются не только стволы, но и многочисленные воздушные корни. Среди различных видов мангровых растений преобладает *Rhizophora mucronata*.

Всеми авторами отмечается тесная связь мангровых болот с приморским засолением почв, и распространение их в глубь дельт строго ограничено влиянием морских приливов. Это растение образует густые заросли, достигающие 7 м высоты, и имеет массу воздушных корней, которые своими концами уходят в ил. Корни служат растениям не только для закрепления и питания, но также и для дыхания. Надземные части корней имеют для этой цели кору, состоящую из отдельных чечевичек, сложенных из губчатой ткани. Листья ризофор вечно

зелены и сильно кожисты. Последнее, повидимому, предохраняет их от излишнего испарения и аккумуляции солей. Меняются листья три раза в год. Семена ризофор прорастают еще будучи на дереве: они вырастают в длинный тонкий росток (длиною в 70—75 см и диаметром в 2—3 см). После достижения известной величины росток при малейшем сотрясении падает и вбуравливается в землю. Сразу же после падения из надземной части ростка начинают расти корни, и в верхней части появляются листья. Прикрепление к земле при помощи корней совершается буквально в течение нескольких часов. Рост ризофор идет очень быстро; живут они 35—40 лет и после отмирания также быстро, в течение нескольких недель, разлагаются.

Наряду с *Rhizophora* в мангровых зарослях встречается ряд видов из семейства *Lythraceae*, *Combretaceae* и *Milaceae*, но в значительно меньшем количестве.

Мангровые заросли имеют очень широкое распространение на тропических побережьях: на острове Яве они были исследованы известным знатоком мангровой растительности Карстеном; их существование на Зондских островах устанавливается наблюдениями Мора; Мюнц и Руно описывают мангры на побережьях Мадагаскара, исследования Агасица, Кюбеля и Ачерсона дают представление о мангровых зарослях берегов Южной Флориды, Малайского архипелага и Новой Зеландии. В последнее время появилась работа Freise (17), где описываются детальные исследования растительности и почв мангровых болот Бразильского побережья.

Изученная Freise часть побережья Бразилии представляет собой область обширных дельт рр. Амазонки, Итануас и др.

Все побережье расчленено многочисленными меандрирующими водными протоками с разделяющими их невысокими островками. Во время поднятия воды при приливе многие из них покрываются водой. Разница высот стояния воды в моменты прилива и отлива составляет около 1.25 м. Распространяется прилив в глубь дельты на 12—18 км, а в наиболее крупных реках доходит до 25—30 км.

Илистые осадки, служащие материнской породой для мангровых почв, отлагаются в период высокого стояния вод и представляют собой смесь принесенных приливом взвесей и транспортируемых реками продуктов береговой эрозии. Главную роль в получающихся осадках играют продукты, приносимые реками. Анализы морской воды, входящей при приливах в устья рек, показали, что количество взвеси в ней очень невелико и составляет всего лишь 10—15 г на 1 м<sup>3</sup> воды. Речные воды, наоборот, очень богаты мутью, особенно если они протекают по местности, бедной растительностью. В этом случае в сухое время года количество мути в них составляет 2—8 г на 1 м<sup>3</sup> воды, а в дождливое время доходит до 250—3500 г на 1 м<sup>3</sup>. Особого внимания заслуживают реки, протекающие через девственные леса, где имеют место особые грязевые потоки в результате поверхностной эрозии почв (*Erdfliessens*), в результате чего образуются так называемые черные воды. Последние также очень богаты мутью. В дождливые периоды количество взвеси достигает в них 35 г на 1 м<sup>3</sup>. В момент отложения осадок имеет серовато-желтый или желтовато-красный цвет; механический анализ его показал, что свыше 75% приходится

на фракции ила и глины. Количество песчаной фракции колебалось в пределах от 3 до 8%.

Различные фракции были исследованы химически. Анализ показал, что химический состав отдельных фракций отличается очень слабо, но все же наблюдается ясное увеличение содержания кремнекислоты по мере уменьшения величины частиц.

Средний химический состав породы представляет собою следующее (в %):

SiO <sub>2</sub> — 53;	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 15.5;	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 3.79;
FeO — 1.85;	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> — 0.69;	CO <sub>2</sub> — 6.31.

Обращает внимание большое содержание фосфора, что, по всей вероятности, связано с обилием приносимых и отлагаемых морем мелких животных. В отложениях дельты часто встречаются остатки мелких рыб, моллюски и особенно много крабов.

Для изучения различных свойств мангровых почв автором были взяты образцы их поверхностных горизонтов, и проделан целый ряд опытов. Так, например, после нескольких часов умеренного высушивания образцов на солнце, на поверхности их образовалась плотная корочка толщиной около 1 мм. Как показали микроскопические и химические анализы, связывающим веществом в образовавшейся корочке являлась аморфная кремнекислота. Под корочкой располагался рыхлый слой, богатый мелкими кристалликами солей. Наряду с аморфной кремнекислотой микроскопические исследования обнаружили присутствие большого количества опала. Выцветы солей на поверхности в природе автор наблюдал лишь в редких случаях, так как соли подвергаются смыванию водой и сдуванию ветром. Однако на незаливаемых, свободных от растительности участках местами образуются солевые выцветы. Химический анализ собранных с поверхности солей показал, что они состоят из следующих компонентов (в %):

MgSO <sub>4</sub> — 4.6;	NaCl — 60—70;	MgCl <sub>2</sub> — 10—12;
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 0.1—0.3;	CaSO <sub>4</sub> — 2—3;	SiO <sub>2</sub> — 5—15.

Обилие аморфной кремнекислоты в мангровых почвах, повидимому, обязано приносу ее вместе с речными водами с материка, где интенсивно идущий процесс латеритного выветривания обуславливает ее вымывание в грунтовые воды и реки. Накоплению и удержанию кремнекислоты в мангровых почвах дельт способствуют физико-химические процессы коагуляции и также, возможно, в значительной степени процессы ее биологического поглощения. Последнее станет понятным, если мы обратимся к химическим анализам растительности мангровых почв. На Бразильском побережье наиболее распространенным видом является *Rhizophora mangle*. На юге она носит кустарниковый характер, на севере приобретает вид настоящих деревьев в 8 м высотой и 40 см диаметром. Зольность листьев и стеблей равна 17.55%. В состав золы входят следующие соединения (в %):

K <sub>2</sub> O — 23.6;	Na <sub>2</sub> O — 4.12;	CaO — 20.16;
MgO — 3.90;	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 4.57;	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> — 4.48;
SO <sub>3</sub> — 3.55;	SiO <sub>2</sub> — 24.05;	Cl — 11.43.

В приводимых анализах обращает внимание очень большое относительное содержание кремнекислоты, кальция и калия. Если учесть высокий процент зольности мангровых растений (17.5%) и то, что отпад листьев происходит три раза в год, делается понятным обильное накопление аморфной кремнекислоты в мангровых почвах. Корни и стволы ризофор также сильно окремнены. Все пустоты и поры в древесине заполнены еще мягкой аморфной кремнекислотой. Содержание кремнекислоты в них достигает 15—10%.

После разложения растительности, кремнекислота частично сохраняется в аморфном состоянии, частично, как это показывают данные водных вытяжек, приводимых на стр. 8 (8), образует воднорастворимые соединения (5—10% воднорастворимой  $\text{SiO}_2$  в поверхностных солевых корочках); появление воднорастворимой кремнекислоты связано, по всей вероятности, с воздействием на почвы дельт богатых натрием морских вод и образованием кремнекислого натрия. И, наконец, часть аморфной кремнекислоты кристаллизуется, дает вторичные минералы — опалы, присутствие которых было обнаружено при микроскопических исследованиях этих почв.

Накопление масс аморфной кремнекислоты делает почву тропических дельт менее воздухопроницаемой и препятствует быстрой гумификации органического вещества. В большинстве случаев количество последнего в мангровых почвах не превышает 4.0—4.5%. Образующиеся на поверхности кремневые корки делают хозяйственное освоение этих почв невозможным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. История минералов земной коры. Т. II. История природных вод. 1934.
2. По: Ферсман А. Е. Геохимия. Т. II. 1934.
3. Andréе К. Geologie des Meeresbodens. Bd. II.
4. Танфильев Г. И. По тундрам Тиманских самоедов. 1911.
5. Панов А. С. Полигональные образования Канинской тундры. Изв. Гос. Геогр. общ., т. XV, вып. 4, 1933.
6. Van-Vemelen. Bodenuntersuchungen in den Niederlanden. Die Landwirtschaft. Versuchs-Stat., Bd. 8, 1866.
7. Hissink. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde. 1932.
8. Wicke. Pulvererden der Niederlanden. Journ. für Landwirtschaft. Versuchs-Stat., 1862.
9. Frösterus. Verhandlungen der zweiten Agrogeolog. Konferenz. 1911.
10. Келлер. Жизнь моря. 1905.
11. Freise F. W. Untersuchungen am Schlick der Mangroveküste Brasiliens.
12. По: Вернадский В. И. История минералов земной коры, II, История природных вод, 1934.
13. Ibid. Chemie der Erde, Bd. I, N. 3, 1937.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРПЕНТИНОВ И СЕРПЕНТИНИТОВ

П. А. Яцук

Изучением электрокинетических свойств минералов группы серпентина и серпентинитов никто не занимался.

Известно, что многие исследователи указывали на своеобразную роль в почвах как остаточных, так и вторичных магнезиальных силикатов (3, 8, 9, 15, 19). Кроме этого, существуют самые разноречивые взгляды авторов по вопросу о причинах, обуславливающих низкую производительную способность большинства почв, образующихся на серпентинитах (7, 10, 11, 16).

Все сказанное выше побудило нас обратить внимание на особенности почвообразующих магнезиальных силикатов. Настоящими исследованиями мы имели в виду осветить и дополнить новыми данными уже имеющиеся сведения о некоторых электрокинетических свойствах, главным образом серпентинов и серпентинитов (23).

Минерал серпентин (змеевик) получил название благодаря своему внешнему виду. Змеевиком обычно называется горная порода, богатая минералом серпентином, вследствие чего отождествлять эти два понятия представляется не совсем правильным, и в последнее время вводятся два понятия, а именно: для горных пород — серпентиниты, для минералов — серпентины (12).

По химическому составу серпентин представляет собою силикат магнезия  $H_4Mg_3Si_2O_9$  или  $2SiO_2 \cdot 3MgO \cdot 2H_2O$ . Количество химических соединений, входящих в состав серпентина, составляет в процентном отношении такие числа: кремния 44.1%, магнезии 43%, воды около 13%.

Состав серпентина не является постоянным, так как наблюдаются некоторые отклонения в содержании отдельных компонентов, что приводит, как известно, к существованию минералов переходного состава, а именно переходы от серпентина к тальку, от серпентинов к ферросерпентинам и от серпентинов к группе хлоритов (4).

В серпентинах часто обнаруживается присутствие FeO (около 3%), изоморфно замещающая MgO, почему В. И. Вернадский (5) считает более правильным давать этим минералам более общую эмпирическую формулу, а именно:  $H_4(MgFe)_3Si_2O_9$ .

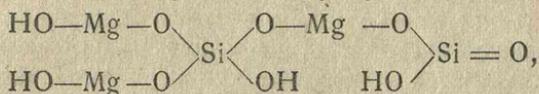
Иногда в серпентинах обнаруживаются некоторые количества CaO, который входит в качестве посторонней примеси в виде карбоната или

силиката кальция. Имеются также указания, что в качестве посторонних примесей может присутствовать карбонат магния, а чаще  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Что же касается воды, входящей в состав серпентинов, то, согласно исследованиям Сыромятникова (17), вода, присутствующая в серпентинах, бывает разного характера. С помощью термического анализа Сыромятников установил в этих минералах адсорбционную воду, выделяющуюся при  $100^\circ$ , главную массу воды, выделяющуюся при  $530^\circ$ , и воду конституционную, которая выделяется лишь при  $600^\circ$ . Вода, выделяющаяся при  $600^\circ$ , согласно взгляду Сыромятникова, входит в кристаллическую решетку минерала серпентина, и только с ее выделением обнаруживается рентгенографическим методом изменение кристаллической структуры минерала серпентина.

Исследования Сыромятникова представляют для нас интерес потому, что в своих опытах мы подвергали сильному прокаливанию хризотил-асбест, после чего определяли знак электрического заряда и при этом наблюдали некоторые интересные явления, о которых будет сообщено ниже.

На основании ряда исследований В. И. Вернадским для минерала серпентина выведена следующая структурная химическая формула:



т. е. серпентин представляет соединение, ядро которого составляет ортосиликат магния, или точнее  $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ , в боковой цепи которого находится сложный метасиликат Mg и  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{MgSiO}_3$  и  $2\text{H}_2\text{O}$ ), т. е.  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \cdot 2\text{A}$ .

Приведенная выше структурная химическая формула серпентина позволяет вывести некоторые суждения о физико-химических свойствах минералов этой группы.

Со стороны физических свойств группы серпентина следует напомнить о существовании многих морфологических разновидностей серпентина, главные из коих следующие: 1) антигорит (чешуйчатый или пластинчатый), 2) хризотил (спутанно-волокнистая разновидность, распознаваемая под микроскопом), 3) аморфный, представляющий собою типичный гель, и 4) хризотил-асбест (4).

Все упомянутые серпентины дают многие переходные друг к другу разновидности, отличающиеся различными свойствами по удельному весу, по твердости, по оптическим свойствам, по цвету и т. д.

Серпентины встречаются самых разнообразных цветов, чаще зеленые разных оттенков до черного. Окраска этих минералов зависит «не исключительно от присутствия железа». В данном случае, по словам В. И. Вернадского, приходится сталкиваться с «общим свойством, присущим всем продуктам присоединения: все они являются обыкновенно или телами окрашенными, или поглощают определенные участки спектра. Явление это обусловлено их структурой». В химическом и кристаллографическом отношениях существенной разницы между серпентинами чешуйчатого строения и волокнистым хризотилом не имеется, хризотил является сильно развившимся по

одной оси антигоритом. Однако существенным отличием между упомянутыми разновидностями является то, что хризотил-асбесту, благодаря его тонковолокнистому строению, присущи коллоидальные свойства.

По условиям образования серпентины в огромном большинстве случаев являются продуктами образования различных силикатов (главным образом оливина и пироксенов) под воздействием воды. Схема процессов образования серпентинов, по В. И. Вернадскому, такова:

- 1) метаморфизация оливинов и пироксенов;
- 2) водные растворы верхней метаморфической оболочки;
- 3) последние стадии магматических процессов.

Серпентин нередко образует колоссальные скопления, слагая горную породу (серпентинит, змеевик), образующуюся из ультраосновных пород, состоящих по преимуществу из оливинов и пироксенов (дуниты, перидотиты, гарцбургиты, пироксениты и т. п.).

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В своих исследованиях по изучению электрокинетических свойств силикатов мы взяли многие разновидности минералов группы серпентина, отличающиеся одна от другой по своему строению, по содержанию в них продуктов присоединения и по различному содержанию в этих минералах посторонних примесей.

Для проведения опытов служил следующий материал:<sup>1</sup>

- 1) антигорит — 5 разновидностей, 2) хризотил-асбест — 5 образцов,
- 3) змеевик — три образца, 4) серпентин — 3-образца, 5) кубанский асбест (змеевик), 6) кривский волокнистый асбест, 7) амфиболовые асбесты Южн. Африки, 8) тальк, 9) хлорит, 10) глинкит-оливин,
- 11) актинолит, 12) волластонит, 13) хондродит и 14) мусковит.

Ниже приводится краткое описание шлифов<sup>2</sup> некоторых минералов и пород серпентиновой группы, которые были использованы в наших опытах.

1. Серпентин. Месторождение Бистаг на Урале.

Микроскопически представляет собою плотную мономинеральную породу белого цвета, с занозистым изломом и с небольшими жилками тонковолокнистого хризотила.

Микроскопически (табл. I, рис. 1) была установлена аллотриоморфно-зернистая структура, местами сферолитовая. Основная масса представлена минералом антигоритом, который развит в виде неправильных зерен и в виде радиально-лучистого агрегата, образуя сферолит. В некоторых местах наблюдаются жилки, выполненные тонковолокнистым хризотилом. Местами имеются большие скопления кар-

<sup>1</sup> Образцы минералов и пород получены из Кабинета минералогии ЛГУ, из минералогических коллекций Кабинета почвоведения ЛГУ и из минералогического музея Горного института. Названия минералов и пород приводятся согласно их этикеточным обозначениям.

<sup>2</sup> Описание шлифов составлено Н. В. Яцок.

боната кальция; последний разъедает серпофит (офит) и заметно его замещает (табл. I, рис. 1).

2. Серпентинит из месторождения Бистаг на Урале. Одна часть образца этой породы состоит из минерала антигорита светлозеленого цвета, местами почти прозрачного. Имеются участки плотной массивной породы белого цвета. Последняя, по данным микроскопического анализа (табл. I, рис. 2), состоит из моноклинного пироксена-диопсида, по которому местами наблюдаются псевдоморфозы бастита.

3. Серпентин из уральских месторождений макроскопически отличается от образца № 1 только лишь светлокорицневой окраской. Микроскопически было установлено (табл. II, рис. 3), что основная масса его состоит из минерала антигорита. В небольшом количестве присутствует минерал хризотил в виде ясно выраженных широких и длинных волокон.

4. Серпентинит. Согласно данным микроскопического исследования, основная масса пород состоит из серпофита (офита), развитого участками в виде неправильной формы зерен и в виде жилок в бастите. В этом шлифе (табл. II, рис. 4) ясно наблюдается псевдоморфоза бастита по пироксену. В довольно большом количестве содержится рудный минерал.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАКА ЗАРЯДА МИНЕРАЛОВ

Определение знака заряда мы провели в приборе Umetsu (табл. III, рис. 5), видоизмененном Рабинерсоном (1). Этот прибор состоит из стеклянного сосуда с боковым ответвлением, к которому припаяна капиллярная трубка. Нижний конец сосуда оканчивается узкой трубкой, сечением 6—8 мм. Необходимые части к прибору Umetsu следующие: 2 стеклянные изогнутые трубки, наполненные агар-агаром, насыщенным KCl; одна из этих трубок имеет на одном из своих концов резиновую пробку, плотно входящую в верхнее отверстие сосуда. Требуется также два тигля, наполненные раствором медного купороса, и один маленький фарфоровый тигелек, диаметр доньшка которого примерно должен соответствовать диаметру нижнего конца сосуда. Опыты по определению электрокинетического заряда перечисленных выше силикатов ставились следующим образом.

6—10 г воздушно-сухого порошка минерала, приготовленного по указанному раньше способу, помещались нами в стеклянную банку на 150 куб. см с притертой пробкой, и к навеске минерала было прилито 100 куб. см дистиллированной воды. Полученная таким образом суспензия минерала взбалтывалась от руки время от времени, и банка с суспензией оставлялась стоять на одни сутки.<sup>1</sup>

По прошествии указанного времени суспензия минерала переносилась на воронку Бюхнера, и испытуемый порошок минерала отсасывался от раствора с помощью водоструйного насоса. После некото-

<sup>1</sup> Как выяснилось в процессе работы, оставление водной и подкисленной суспензии на одни сутки необязательно, так как можно ограничиться временем взаимодействия между минералом и приливаемым раствором в течение 1 часа при постоянном взбалтывании.

рого просушивания порошка минерала на воронке, следует еще подсушить его между листами фильтровальной бумаги.

Высушенным порошком минерала набивался нижний конец сосуда Umetsu, как можно плотнее, с помощью стеклянной палочки.

Плотно набитая масса минерала служит, как известно, неподвижной пористой перегородкой в приборе. Отфильтрованный в воронке Бюхнера раствор наливался поверх этой перегородки, после чего сосуд плотно закрывался резиновой пробкой со вставленной в нее стеклянной трубкой с агар-агаром. Следует проследить, чтобы под пробкой и в капилляре не было пузырьков воздуха. Другой конец этой трубки помещался в стаканчике с медным купоросом, прежде чем налить тот же раствор в тигелек; в него помещалась оставшаяся часть минерала, и в него слегка вдавливался нижний конец сосуда, чтобы предохранить пористую перегородку от осыпания, что впрочем бывает очень редко.

В тигелек помещалась одним концом стеклянная агар-агаровая трубка, другой конец которой помещался во второй стаканчик с медным купоросом.

В стаканчики с раствором купороса погружались медные электроды, которые присоединялись к источнику постоянного электрического тока около 80—100 вольт. Постоянный электрический ток можно брать от кенотронного выпрямителя. капиллярной трубке следует подвесить полоску миллиметровой бумаги для более удобного прослеживания за передвижением мениска жидкости в капилляре при действии прибора.

Отсчеты движения мениска жидкости в капилляре повторяются несколько раз при перемене полюсов. весьма существенным моментом в смысле удаchi эксперимента является приготовление плотной пористой перегородки из порошка минерала, что удается при тщательном уплотнении стеклянной палочкой прибавляемых небольших порций исследуемого порошка минерала.

Как известно, на границе соприкосновения частиц исследуемого порошка с раствором образуется двойной электрический слой. Ближайший к частицам слой воды содержит ионы с противоположным знаком заряда тем ионам, которые прикреплены к самим частицам. При пропускании постоянного электрического тока будут передвигаться к соответствующему полюсу ионы диффузного слоя. Так, например, если частицы минерала несут на себе положительно заряженные ионы, то расположенные против них отрицательно заряженные ионы жидкости будут передвигаться по направлению к положительному полюсу, заставляя передвигаться молекулы воды, и наоборот. По мере того как нами устанавливался знак заряда минерала или породы в водной среде, мы эту же самую навеску минерала собирали и обрабатывали 0.01—0.001 н. раствором NaOH, поступая в дальнейшем так же, как описано было при обработке навески минерала водою. Установленный нами положительный знак электрического заряда для водных суспензий силикатов магния группы серпентина и для некоторых серпентинитов при обработке упомянутыми растворами щелочи изменялся на отрицательный.

Навеска минерала в 10 г, обработанная щелочью и показывающая

отрицательный знак заряда, обрабатывалась далее 0.01—0.02 н. раствором HCl, отфильтровывалась и высушивалась. Определяя знак заряда упомянутым выше способом, нами было констатировано, что исследованные минералы перезаряжались, т. е. имели снова положительный знак электрического заряда. Данные определения знака заряда приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Данные определений знака заряда силикатов и пород при различных величинах pH в равновесных растворах

№ по пор.	Названия пород и минералов	H <sub>2</sub> O		0.01 н. NaOH		0.02 н. HCl	
		pH	Знак заряда	pH	Знак заряда	pH	Знак заряда
1	Кубанский асбест (змеевик) . . . .	6.32	++	8.90	—	3.60	+
2	Змеевик . . . . .	7.13	++	9.00	—	2.38	++
3	Серпентин (Fundort Hodritsh) . . . .	6.33	++	9.35	—	2.98	++
4	Кривский волокнистый асбест . . . .	5.84	++	—	—	—	++
5	Антигорит (Урал) . . . . .	7.45	++	9.30	—	3.04	++
6	Антигорит (Урал) . . . . .	6.94	++	9.20	—	3.50	++
7	Хризотил-асбест (Урал) . . . . .	7.22	++	9.20	—	3.90	++
8	Хризотил-асбест . . . . .	6.93	+	9.15	—	3.50	++
9	Амфибол (Южн. Африка) . . . . .	6.50	—	Не определ.		2.13	++
	Глинки-оливин . . . . .	6.88	—	"	"	1.48	++
	Оливин . . . . .	6.65	—	"	"	—	—
	Тальк . . . . .	6.52	—	"	"	1.79	—
	Хлорит (Fundort Hespenthal) . . . .	7.10	—	"	"	2.35	—
	Актинолит . . . . .	5.91	—	"	"	1.95	—
	Волластонит . . . . .	—	—	"	"	—	—
16	Мусковит . . . . .	5.97	—	"	"	1.98	—
17	Хондродит . . . . .	6.12	—	"	"	—	—

Согласно приведенным данным мы считаем, что силикаты группы серпентина являются типичными амфолитоидными соединениями, и знак их электрического заряда находится в зависимости от реакции окружающей среды.

Амфотерные свойства упомянутых выше серпентинов обуславливаются связями в этих соединениях гидроксильных и водородных ионов.

Неодинаковые величины pH в равновесных кислых растворах показывают, что серпентины содержат неодинаковые количества солей, и на нейтрализацию их расходуются неодинаковые количества взятой кислоты. На основании приведенных данных можно сказать, что изоэлектрический пункт большинства исследованных нами силикатов группы серпентина находится между pH=7.50—8.0.

Установить более точно изоэлектрический пункт не удалось по независящим от нас причинам: для этого требуются более чувствительные приборы.

При определении знака заряда у серпентинов и серпентинитов, естественно, может возникнуть вопрос, не обуславливаются ли амфотерные свойства указанных силикатов наличием в их составе гидроксидов Al и Fe, так как известно, что упомянутые гидроксиды являются типичными амфолитоидами. Мы считаем, что гидроксиды Al и Fe не являются причиной, обуславливающей знак заряда минералов, так как известно, что многие коллоиды, выделенные из почв Матсоном (13), и многие почвы (Антипов-Каратаев, 2) с большим содержанием  $R_2O_3$  не показывают тем не менее положительного знака заряда даже при подкислении. Подвергавшиеся нами исследованию многие силикаты, богатые  $R_2O_3$ , также не обнаруживали положительного знака заряда при подкислении, и только после нескольких обработок 0.02 н. раствором HCl нам удалось перезарядить амфибол, обогащенный  $Fe_2O_3$ , и глинокит-оливин.

Из работ других авторов нам известно, что Рабинерсону удавалось перезарядить тальк с помощью раствора  $Fe_2Cl_3$ . Однако в литературе не имеется указаний на то, что в водной среде силикаты, содержащие даже значительные количества  $R_2O_3$ , имели бы положительный знак заряда. Для того чтобы исключить возможность влияния железа в опытах, мы навески некоторых серпентинов промывали 0.05 н. раствором  $HNO_3$  до полного удаления железа, что устанавливалось отрицательной качественной реакцией с роданистым калием. После удаления железа однако был снова обнаружен положительный знак электрического заряда хризотил-асбеста.

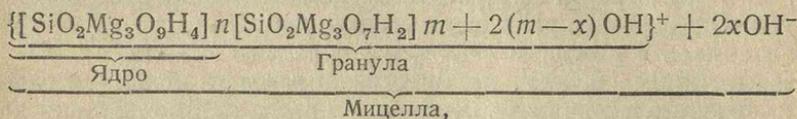
Таким образом с помощью описанного выше метода Umetsu нами установлен положительный знак электрического заряда силикатов магнез группы серпентина.

На основании этих исследований можно считать возможным изменить существующее в настоящее время общее предположение о том, что все силикаты несут отрицательный знак электрического заряда.

Результаты этих исследований убеждают нас в том, что знак заряда у силикатов не зависит от количественного содержания входящих в их состав химических компонентов, а зависит от размещения этих компонентов в кристаллических решетках силикатов, или, иначе говоря, знак заряда силикатов определяется структурно-химическими связями между их компонентами. Подтверждением сказанного может служить то, что положительный знак электрического заряда силикатов группы серпентина хорошо согласуется со структурной химической формулой В. И. Вернадского, которая была приведена выше.

Как видно из этой формулы, основное ядро силиката серпентина состоит из ортосиликата магнез, два атома которого имеют периферическую связь с OH-ионами, а в боковой цепи, состоящей из сложной кислой соли метасиликата магнез, имеется периферическая группа H-ионов, связанная с Si орто- и метасиликатов. Наличием основных и кислотных оксидов и их связями, имеющими упомянутую выше структуру минералов серпентина, и обуславливается неодинаковый знак заряда у этих минералов при различных условиях реакции среды.

Действительно, при рН ниже изоэлектрической точки у серпентинов будет положительный знак заряда, т. е. степень диссоциации ОН-ионов будет сильнее степени диссоциации Н-ионов. Рассматривая серпентин с коллоидно-химической точки зрения, можно сказать, что имеем перед собою огромный сложный катион магния силиката с отдиссоциированными ОН-ионами; другими словами, можно представить себе строение коллоидальной частицы серпентина в таком виде:



т. е. в диффузном слое будут находиться отрицательно заряженные ОН-ионы, а на внутренней обкладке ядра мицеллы будут прикреплены Mg-ионы.

При подкислении среды будет иметь место подавление диссоциации Н-ионов, а между ОН-ионами, связанными с Mg силиката и Cl-ионами раствора HCl, произойдет обмен местами, в силу чего диссоциация Cl-ионов сложного катиона Mg будет еще сильнее, так как в данном случае будет иметь место соединение слабого основания с сильной кислотой. В связи с этим можно ожидать увеличения степени выраженности положительного знака заряда, что в действительности нам удалось наблюдать.

Положительный электрокинетический заряд силикатов магния группы серпентина позволяет считать установленной за этими силикатами способность их к поглощению анионов из растворов солей при рН ниже их изоэлектрической точки.

Высказанное положение находит себе подтверждение в приводимых ниже опытах по изучению поглощения анионов.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПЕРЕЗАРЯДКЕ МИНЕРАЛОВ И СВЯЗЫВАНИЮ АНИОНОВ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Высказанные нами выше положения об адсорбционных свойствах силикатов группы серпентина получили полное подтверждение в произведенных нами экспериментальных исследованиях на образцах минералов антигорита и хризотил-асбеста.

С помощью сит волокнистый асбест отделялся от порошкообразной части антигорита, и в подготовленных таким образом минералах определена была гигроскопическая вода при высушивании навески минерала в сушильном шкафу при 105—110°С в течение 5 часов. Образцы минералов помещены были в банки с притертыми пробками, откуда и брались навески для последующих опытов, причем хризотил-асбест, применяемый в опытах, мы обрабатывали 0.05 н. раствором азотной кислоты, как указано было выше.

Для изучения адсорбционных свойств упомянутых минералов по отношению к анионам были взяты навески минералов по 2.5 г каждая из расчета на абсолютно-сухое вещество минерала.

Взятые навески были помещены во взвешенные банки с притертыми пробками, и каждая навеска минерала была обработана 50 куб. см исходного раствора соли известной концентрации; после этого банки снова взвешивались, содержимое их хорошенько взбалтывалось, и банки оставлялись стоять в течение трех суток при частом взбалтывании суспензии минерала.

По прошествии указанного времени суспензии отфильтровывались, и в фильтрах определялись количества интересующих нас анионов. Определение рН в равновесных растворах, т. е. фильтрах, производилось с помощью электрометрического метода.

Зная, таким образом, количества анионов в исходном растворе и их количества в фильтрате, полученном после взаимодействия исходного раствора с навеской минерала, можно было по разности определить количество анионов, поглощенных взятой навеской минерала. Количества поглощенных анионов выражены нами в милли-эквивалентах на 100 г абсолютно-сухого минерала.

Нами произведены исследования по поглощению упомянутыми выше силикатами магния анионов  $\text{Cl}$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  и  $\text{PO}_4$  из растворов их натриевых солей.

Исходные растворы хлористых солей, применяемые в опытах, приготовлены были неодинаковых концентраций и с расчетом создания различных условий их реакций среды. Таким образом навески минералов обрабатывались нейтральными, кислыми и щелочными растворами хлористого натрия с пятью различными концентрациями, а именно: 0.01 н., 0.015 н., 0.0225 н., 0.0338 н., 0,0506 н. концентрациями.

Данные исследования, показывающие количества поглощаемого  $\text{Cl}$ -иона, приводятся в табл. 2 и 3.

ТАБЛИЦА 2

Адсорбция  $\text{Cl}$ -ионов силикатами: антигоритом и хризотил-асбестом из растворов  $\text{NaCl}$   
(в м-экв. на 100 г, абсол.-сух. вещества)

Адсорбенты	Концентрации $\text{NaCl}$				
	0.010 н.	0.0115 н.	0.225 н.	0.0338 н.	0.0506 н.
Антигорит . . . . .	0.32	0.66	0.62	1.12	1.48
рН . . . . .	7.21	7.19	7.24	7.28	7.30
Хризотил-асбест . . . . .	1.34	2.82	1.66	2.70	3.15
рН . . . . .	7.18	7.11	7.28	7.35	7.38

Принимая количества  $\text{Cl}$ -ионов, поглощенные минералом антигоритом, за 100, находим, что при тех же условиях количества  $\text{Cl}$ -ионов, поглощенные хризотил-асбестом и выраженные в процентах от первых, будут представлены следующими цифрами (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3

Адсорбенты	Концентрации NaCl				
	0.010 н.	0.015 н.	0.0225 н.	0.0338 н.	0.506 н.
Антигорит . . . . .	100	100	100	100	100
Хризотил-асбест . . . . .	419	427	251	241	212

Из приведенных данных обращают на себя внимание количества  $\text{Cl}^-$ -ионов, поглощенные хризотил-асбестом, превышающие в 2—4 раза количества  $\text{Cl}^-$ -ионов, поглощенные минералом антигоритом. Такое сильное расхождение в поглощении  $\text{Cl}^-$ -ионов минералами объясняется прежде всего неодинаковой структурой этих двух минералов, одинаковых по своему химическому составу и резко отличающихся один от другого по физическим свойствам.

Отсутствие должной закономерности поглощения  $\text{Cl}^-$ -ионов с увеличением концентрации исходных растворов и наблюдаемые скачки в поглощении  $\text{Cl}^-$ -ионов мы склонны частично приписать недостаточной однородности применяемого в опытах материала, так как очень трудно было отделить полностью чешуйчатую разновидность минерала антигорита от спутанно-волоконистой массы хризотил-асбеста, а это и затем неодинаковая подготовка минералов могли сказаться на результатах поглощения; с другой стороны, порошки минерала антигорита содержали тончайшие волоконистые частицы хризотил-асбеста, которые могли быть неравномерно распределены по отдельным навескам, взятым для опытов, и тоже могли исказить результирующие количества поглощенных  $\text{Cl}^-$ -ионов.

Несмотря на неоднородность применяемого в опытах материала, все же можно сказать определенно, что с увеличением концентрации раствора соли поглощение  $\text{Cl}^-$ -ионов также возрастает.

Мы не имеем данных, которые характеризовали бы количества поглощенных анионов  $\text{NO}_3^-$ , тем не менее можно утверждать (на основании качественных реакций), что поглощение анионов  $\text{NO}_3^-$  будет иметь место и будет выражено примерно такими же величинами, как и для анионов хлора. В кислой же среде поглощение анионов сильно возрастает, что вполне согласуется с предположением об усилении положительного знака электрического заряда минералов группы серпентина. Это можно видеть из приводимой ниже табл. 4.

Приняв количество  $\text{Cl}^-$ -ионов, поглощенных антигоритом за 100, будем иметь следующие данные для хризотил-асбеста (табл. 5).

Данные этой таблицы показывают также высокую адсорбционную способность минерала хризотил-асбеста.

Таким образом в согласии с приведенными выше данными в табл. 3—5 можно констатировать случаи положительной адсорбции анионов хлора в условиях нейтральной среды и при подкислении.

Для условий же щелочной реакции среды данные поглощения

ТАБЛИЦА 4

Адсорбция  $\text{Cl}^-$ -ионов силикатами: антигоритом и хризотил-асбестом из раствора  $\text{HCl} + \text{NaCl}$  различных концентраций (в м-экв. на 100 г абс.-сух. вещества)

Адсорбенты	Концентрации $\text{HCl} + \text{NaCl}$				
	0.010 н.	0.015 н.	0.0225 н.	0.0338 н.	0.0506 н.
Антигорит . . . . .	0.84	1.03	1.13	1.36	2.54
pH . . . . .	7.25	7.19	7.09	7.16	7.02
Хризотил-асбест . . . . .	4.84	4.74	3.95	5.80	6.00
pH . . . . .	6.95	6.98	6.97	6.85	6.72

ТАБЛИЦА 5

Адсорбент	Концентрации $\text{HCl} + \text{NaCl}$				
	0.010 н.	0.015 н.	0.0225 н.	0.0338 н.	0.0506 н.
Хризотил-асбест (в %) . . . . .	533	461	950	426	236

$\text{Cl}^-$ -ионов будут иметь совсем иной характер, что видно при сравнении цифр в приводимой ниже табл. 6.

ТАБЛИЦА 6

Адсорбция  $\text{Cl}^-$ -ионов антигоритом из растворов  $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ ; 0.0606 н.  $\text{HCl} + \text{NaCl}$ ; 0.01 н.  $\text{NaOH} + \text{NaCl}$  (в м-экв. на 100 г абс.-сух. вещества)

Электролиты	Концентрации				
	0.010 н.	0.015 н.	0.0225 н.	0.0338 н.	0.0706 н.
$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ . . . . .	+ 0.32 <sup>1</sup>	+ 0.66	+ 0.62	+ 0.12	+ 1.48
pH . . . . .	7.21	7.19	7.24	7.28	7.30
0.0607 н. $\text{HCl} + \text{NaCl}$ . . . . .	+ 0.84	+ 1.03	+ 1.13	+ 1.36	+ 2.54
pH . . . . .	7.25	7.19	7.09	7.16	7.02
0.01 н. $\text{NaOH} + \text{NaCl}$ . . . . .	- 1.16	- 0.82	- 0.33	0.26	- 0.14
pH . . . . .	9.80	10.32	10.12	10.91	10.85

<sup>1</sup> Знаком + обозначена положительная адсорбция и знаком — отрицательная адсорбция.

Сравнивая данные, приведенные в табл. 6, можно видеть, что в щелочной среде имеет место явление отрицательной адсорбции, что вполне согласуется с переменной положительного знака заряда минерала антигорита на отрицательный.

Упомянутые выше явления отрицательной адсорбции  $\text{Cl}^-$ -ионов в условиях щелочной реакции среды, согласно исследованиям по этому вопросу Маттсона (13), могут быть объяснены уравнением Донана, указывающего на характер распределения ионов между мицелловым и внешним раствором.

Согласно данным, приведенным выше, минеральные коллоидные частицы антигорита в щелочной среде несут отрицательный электрический заряд и благодаря наличию электростатических сил притягивают к себе сильнее положительно заряженные катионы, задерживая наряду с этим молекулы воды и отталкивая от себя одновременно отрицательно заряженные ионы хлора. Таким образом поглощение катионов и притяжение молекул воды при данных условиях имеют решающее значение и влекут за собою увеличение концентрации  $\text{Cl}^-$ -ионов во внешнем растворе. Благодаря указанным выше причинам, в определенном объеме равновесного раствора могут быть определены количества  $\text{Cl}^-$ -ионов, превышающие количества их в таком же объеме исходного раствора, взятого для опытов.

Явления отрицательной адсорбции различных анионов почвами и почвенными коллоидами описаны в исследованиях Маттсона, И. Н. Антипова-Каратаева и др. Помимо изучения адсорбции  $\text{Cl}^-$ -ионов, в последующих опытах нами были изучены адсорбционные свойства хризотил-асбеста по отношению к двухзначным ( $\text{SO}_4$ ) и трехзначным ( $\text{PO}_4$ ) анионам.

С этой целью нами были взяты различные концентрации натриевых солей.

Условия опытов сохранялись те же, что и раньше. Результаты поглощения хризотил-асбестом  $\text{SO}_4$  и  $\text{PO}_4$  приведены в табл. 7.

ТАБЛИЦА 7

Адсорбция хризотил-асбестом  $\text{SO}_4$  и  $\text{PO}_4$  из водных растворов их натриевых солей различных концентраций  
(в м-экв. на 100 г абс.-сух. вещества)

Электролиты	Концентрации				
	0.01 н.	0.015 н.	0.0225 н.	0.0338 н.	0.0506 н.
$\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	2.80	3.25	4.00	3.86	4.76
$\text{NaH}_2\text{PO}_4$ .....	6.56	3.41	4.42	4.05	4.54
pH .....	7.50	7.47			

Приведенные выше цифры указывают на количества адсорбируемых хризотил-асбестом  $\text{SO}_4^-$  и  $\text{PO}_4^-$ -ионов из нейтральных растворов их.

натриевых солей и представляют собою величины значительно большие, чем количества  $\text{Cl}$ -ионов, адсорбируемые антигоритом в водной и даже кислой средах. Поглощенные количества  $\text{SO}_4$  и  $\text{PO}_4$  составляют величины примерно одинакового порядка с теми, которые были приведены выше для  $\text{Cl}$ -ионов, поглощенных хризотил-асбестом в кислой среде.

Поглощение анионов  $\text{SO}_4$  и  $\text{PO}_4$  хризотил-асбестом из растворов их кислот, согласно приведенным ниже данным, возрастает с понижением рН равновесных растворов.

Для иллюстрации этого положения приводим данные опытов в табл. 8.

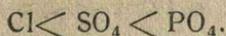
ТАБЛИЦА 8

Адсорбция  $\text{SO}_4$  и  $\text{PO}_4$  из растворов их кислот разных концентраций (в м-экв. на 100 г абс.-сух. вещества)

Электролиты	Концентрации		
	0.01 н.	0.015 н.	0.0225 н.
$\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	7.16	8.25	8.16
рН .....	6.45	6.30	6.25
$\text{H}_3\text{PO}_4$ .....	9.82	10.14	11.10
рН .....	5.46	6.12	5.98

Согласно приведенным данным табл. 8 следует отметить, с одной стороны, что количества анионов, адсорбированные хризотил-асбестом, находятся в тесной связи с реакцией среды и знаком заряда адсорбента, а с другой стороны, на адсорбируемых количествах сказывается влияние валентности аниона: чем выше его валентность, тем сильнее он адсорбируется, и наоборот.

На основании приведенных выше данных адсорбции анионов минералами группы серпентина можно составить следующий порядок их поглощения:



Помимо рассмотренных выше опытов с поглощением анионов минералами группы серпентина, мы провели предварительные опыты с поглощением органических веществ этими же минералами. Работа эта не доведена до конца, но, как и следовало ожидать, эти минералы поглощают значительно большие количества органических веществ, чем каолин и гор. В<sub>1</sub> подзолистой почвы, взятые нами для опытов.

На этом мы заканчиваем рассмотрение адсорбционных свойств минералов группы серпентина в отношении анионов, и на основании полученных данных находим возможным высказать некоторые положения.

Во-первых, при объяснении малой производительности почв, формирующихся на серпентиновых породах, необходимо принимать во

внимание физико-химические свойства этих пород. Необходимо считаться с поглощением этими почвами таких важных питательных веществ, как  $\text{PO}_4$  и  $\text{NO}_3$ .

Во-вторых, серпентиниты и их минералы в силу их физико-химических свойств могут оказаться быть может ценным удобрительным материалом для подзолистых почв в связи с потребностью увеличения их базоидной части и закрепления органических веществ в этих почвах. В литературе имеются указания Рапčić (10) на то, что он наблюдал накопление массы интенсивно темного цвета в гумусовом горизонте серпентиновой почвы.

В целях подтверждения экспериментальными данными высказанного нами предположения об амфотерной природе силикатов группы серпентина приведем данные исследований по этому вопросу других авторов. Эти исследования носили специфический характер и коснулись изучения адсорбционных свойств минерала асбеста, обладающего своеобразными качествами по сравнению с другими минералами этой группы.

Шелягин (22) имел в виду показать адсорбционные свойства асбеста в отношении поглощения им оснований. Так как эти исследования проведены автором применительно к вопросу о роли асбеста в асбо-цементных системах, то все поставленные им опыты были произведены в щелочной среде. При этом имела место положительная адсорбция катионов, так как в щелочной среде асбест имеет отрицательный заряд, согласно данным, полученным в наших опытах. В упомянутых опытах Шелягина асбест адсорбирывал значительные количества Са и Ва из их гидроокисей, и в значительном меньших количествах адсорбировались асбестом щелочи. Последнее обстоятельство можно объяснить большей энергией поглощения двухзначных катионов, чем однозначных. Интересные данные по адсорбции асбестами водяных паров были получены в опытах Тарасенко (18), который установил, что адсорбция асбестами паров воды колеблется от 2 до 8% и зависит, как этого и следовало ожидать, от степени дисперсности применяемого асбеста.

Нами произведены наблюдения за набуханием хризотил-асбеста в водной, щелочной и кислой средах. С этой целью было помещено по 5 г растертого асбеста в мерные цилиндры одинаковых размеров и прибавлено по одинаковому объему в первый цилиндр дистиллированной воды, во второй — 0.1 н. раствора NaOH и в третий — 0.1 н. HCl. Содержимое цилиндров тщательно перемешивалось. Наблюдения велись за быстротой осаждения частиц асбеста в каждом цилиндре.

Быстрее других осаждались частицы асбеста в цилиндре с водою и медленнее всего в третьем цилиндре с кислотой. Набухаемость асбеста можно отметить приращением объема, занимаемого им в щелочной и особенно в кислой среде по сравнению с объемом, занимаемым асбестом в первом цилиндре с водою. Это хорошо видно на прилагаемой ниже табл. III, рис. 6.

Увеличение объема частиц асбеста или набухание их тесно связано с сильным возрастанием активной поверхности твердого тела (асбеста) и вполне согласуется с увеличением электрического заряда асбеста.

Нами было обращено внимание на эластичность студнеобразной

массы частиц асбеста в цилиндре с раствором HCl. Эти внешние признаки, как известно, могут служить некоторым указанием на коллоидальную природу минерала.

Заканчивая рассмотрение исследований, касающихся изучения адсорбционных свойств асбеста, укажем еще на интересную работу проф. Швецова и инженера Танхилевича (20), изучавших адсорбционную способность асбеста по отношению к трем различным органическим краскам.

Упомянутыми авторами были взяты органические краски, неодинаковые по своему химическому характеру, а именно: нейтральная малахитовая зелень, основная — фуксин и кислая — метиловая фиолетовая.

Исследования эти проведены авторами на образцах асбестовых отбросов, содержащих некоторые количества пыли, почему нет никакой уверенности в том, что асбест не был загрязнен какими-либо примесями, затемняющими действительное проявление свойств асбеста в связи с его положительным электрическим зарядом и поглощением им разнородных по химическому составу органических красок. Этим именно и можно объяснить недостаточно резкую разницу данных по поглощению асбестом нейтральной, кислой и щелочной красок, полученных в упомянутых опытах.

Существенным недостатком проведенных авторами опытов является также отсутствие в опытах определений pH в равновесных растворах, что лишает возможности сравнить данные поглощения асбестом различных красок в зависимости от того или иного знака заряда асбеста.

И только некоторые полученные в описываемых опытах данные могут быть, по нашему мнению, объяснены проявлением асбестом присущих ему электрических свойств. Эти данные относятся к опытам по изучению адсорбционной способности непрокаленного и прокаленного асбеста.

Результаты этих опытов приводятся в следующей табл. 9.

ТАБЛИЦА 9

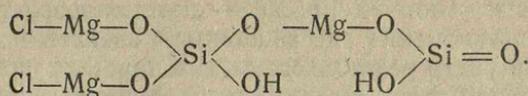
Названия красок	Начальная концентрация раствора	Для $\frac{x^1}{m}$ непрокаленного асбеста	Для $\frac{x^1}{m}$ прокаленного асбеста
Метиловая фиолетовая . . . . .	0.00008412	0.0057617	0.0036870
Малахитовая зелень . . . . .	0.00006605	0.0047973	0.0047573
Фуксин . . . . .	0.00170790	0.0748700	0.0629600

Сопоставляя приведенные выше данные по поглощению каждой в отдельности краски непрокаленным и прокаленным асбестом, можно видеть, что поглощение прокаленным асбестом кислой краски и метиловой фиолетовой сильно уменьшается по сравнению с количеством

<sup>1</sup>  $\frac{x}{m}$  — количество поглощенного вещества на единицу поглотителя.



хризотил-асбеста, вернее не хризотил-асбеста, а того соединения, какое получается после прокаливания хризотил-асбеста и после обработки его раствором HCl, будет иметь следующий вид:



После того как был восстановлен положительный знак заряда, та же самая навеска минерала была снова прокалена в муфельной печи в течение нескольких часов при температуре выше 600° С, и после этого снова был определен знак заряда. Прокаленная навеска обрабатывалась 100 куб. см дистиллированной воды, при этом рН в равновесном растворе = 2.87. Но в данном случае нами констатирован отрицательный знак заряда. После того как был определен отрицательный знак заряда, навеска снова была обработана 50 куб. см 0.01 н. раствора HCl, и, несмотря на это, минерал оставался отрицательно заряженным при рН = 5.90. Последующей многократной обработкой минерала 0.01 н. раствором HCl (рН = 2) перезарядить минерал не удалось.

ТАБЛИЦА 10

Влияние прокаливания на знак заряда хризотил-асбеста

	H <sub>2</sub> O		0.01 н. HCl		H <sub>2</sub> O %
	рН	Знак заряда	рН	Знак заряда	
До прокаливания . . . . .	6.72	+			
После прокаливания при 200°С .	6.77	+			4.44
” ” ” 350°С .	7.84				4.99
” ” ” от 500 до					
” 600°С . . . . .	Не определ.				13.76
После прокаливания при 600°С .	8.35	—	2.41	+	15.39
” ” ” выше					
” 600°С . . . . .	2.87	—	5.90	—	

Потеря положительного знака заряда минералом, по нашему мнению, связана с полным разрушением кристаллической решетки минерала, благодаря присутствию сконцентрированной при прокаливании HCl. Несколько парадоксальным, но вместе с тем любопытным явлением остается то, что после обработки минерала раствором HCl и повторного прокаливания обработанный водой минерал имел рН = 2.87 в равновесном растворе, а после прибавления 50 куб. см 0.01 н. раствора HCl рН = 5.90.

Чем объяснить повышение рН в щелочную сторону, ответить затрудняемся. Возможно, неустановившимся равновесным состоянием раствора, так как этот процесс, судя по данным Швецова (20), является процессом весьма длительным.

На основании полученных данных по изучению воздействия прокаливания на знак заряда минерала хризотил-асбеста мы нашли возможным дать теоретические объяснения тем явлениям, которые были обнаружены в опытах по поглощению фуксина прокаленным асбестом.

Адсорбционные свойства асбеста, проявляющиеся в условиях щелочной реакции среды по отношению к основаниям, что с достаточной ясностью показано данными исследований Наумова (14), Шелягина (21) и др., и адсорбционные свойства хризотил-асбеста и других магнезиальных силикатов группы серпентина, проявляющиеся в водной и кислой средах по отношению к различным анионам, что доказано экспериментальными данными наших исследований, — все это, вместе взятое, убеждает нас в том, что представители минерального царства — магнезиальные силикаты группы серпентина и их горные породы, являющиеся небольшой группой огромнейшего класса силикатов, представляют соединения, обладающие амфотерными свойствами, подобно тому как обладает такими же свойствами группа аминокислот, являющаяся представителем класса органических соединений.

Амфолитоидные свойства особенно рельефно выражены у минерала хризотил-асбеста. Благодаря его природным коллоидальным свойствам он имеет широкое применение в различных областях промышленности (6). Нам остается еще высказать несколько замечаний по поводу определений знака заряда у ряда других силикатов, проведенных нами попутно с упомянутыми выше исследованиями.

Нас интересовал такой вопрос: имеют ли в водной суспензии положительный знак заряда другие силикаты, помимо рассмотренных выше силикатов группы серпентина.

Определения электрокинетического заряда проведены нами, как было показано в табл. 1, у ряда других силикатов, и все перечисленные минералы в водной среде показывали отрицательный знак электрического заряда.

Из упомянутых минералов нам удалось в растворе HCl перезарядить только два минерала: один из них был амфибол, другой — глинок-оливин. Оба эти минерала содержали значительные количества окисного железа, и этим собственно и была обусловлена их перезарядка в кислой среде.

Электрокинетический заряд у остальных силикатов в присутствии HCl сильно понижался, что особенно было заметно у хлоритов, так как их электрокинетический заряд в растворе HCl был близок к изоэлектрическому пункту. К сожалению, более детальными исследованиями электрокинетических свойств этой группы минералов нам заняться не представилось возможным. Как известно, некоторые виднейшие минералоги (Чермак, Дэн и др.) объединяют между собою группу серпентинов и хлоритов, считая их довольно близкими по своим свойствам семействами минералов. В таком случае можно было бы ожидать у этих минералов сродства и электрокинетических свойств.

Однако, согласно данным наших исследований, можно утверждать, что по своим электрокинетическим свойствам серпентины и хлориты представляют собою совершенно различные группы минералов.

Заканчивая на этом экспериментальные исследования по изучению электрокинетического заряда у силикатов, главным образом группы

серпентина, и их адсорбционных свойств в связи с амфолитоидной природой этих минералов, мы должны указать, что нашими исследованиями, далеко еще не полными, охвачена лишь небольшая часть электрокинетических свойств упомянутых выше минералов и их горных пород.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Электрокинетический заряд почвообразующих силикатов можно определить по методу электроосмоса в приборе Umetsu.

2. Водная суспензия минералов и горных пород группы серпентина имеет  $pH = 6.94-7.45$ .

3. Частицы серпентинов и серпентинитов при указанном выше  $pH$  в водной среде обнаруживают положительный электрокинетический заряд.

4. Данное явление можно объяснить, если принять для серпентинов структурную химическую формулу Вернадского.

5. При подкислении суспензии названных минералов соляной или азотной кислотами положительный электрокинетический заряд частиц минералов сильно возрастает; а в щелочной среде все серпентины имеют отрицательный знак электрического заряда.

6. Минералы группы серпентина и серпентинита являются типичными амфолитоидными соединениями.

7. При сильном прокаливании хризотил-асбеста его положительный электрокинетический заряд изменяется на отрицательный в связи с образованием при прокаливании воднорастворимых щелочных соединений. Подкислением хризотил-асбеста, после его прокаливания, кислотами  $HCl$  и  $HNO_3$  можно восстановить его положительный электрокинетический заряд.

8. Прокаливание хризотил-асбеста в присутствии  $HCl$  приводит к разрушению кристаллической решетки минерала, и хризотил-асбест окончательно теряет свои природные свойства в отношении знака заряда.

9. Антигорит и хризотил-асбест при взаимодействии с растворами солей или кислот поглощают из растворов анионы молекул растворенного вещества. По величине поглощения анионы дают следующий ряд:  $PO_4 > SO_4 > Cl-NO_3$ .

10. В условиях щелочной реакции среды упомянутые минералы положительно поглощают катионы и отрицательно поглощают  $Cl$ -ионы, что вполне согласуется с их зарядом при этой реакции среды.

11. Поглотительная способность в отношении анионов и катионов сильнее всего проявлялась у хризотил-асбеста, что указывает на его высокую степень дисперсности.

12. Положительный электрокинетический заряд минералов группы серпентина обуславливается положением ионов  $Mg$  и  $Si$  в кристаллической решетке минерала и наличием у них групп  $OH$ - и  $H$ -ионов, которые могут легко замещаться другими анионами и катионами, а не полугорными окислами, которые присутствуют в составе минералов.

13. Общепринятое представление, что все силикаты электроотрицательны, на основании полученных нами данных, в отношении силикатов группы серпентина следует изменить.

14. Указанные выше физико-химические свойства силикатов группы серпентина необходимо принимать во внимание при объяснении малой производительной способности почв, формирующихся на серпентиновых породах. Необходимо считаться с поглощением этими почвами таких важных питательных веществ, как  $PO_4$  и  $NO_3$ , что несомненно имеет место в упомянутых почвах, у которых рН колеблется от 6.0 до 7.03.

15. Широкое применение асбеста в винодельной промышленности обуславливается не только его коллоидальной раздробленностью, но и его положительным электрокинетическим зарядом. Учитывая электрокинетический заряд асбеста, легко можно дать теоретическое объяснение приемам регенерации асбеста, использованного при очистке вина.

16. Электрокинетический заряд минералов — талька, хлоритов, амфиболов, актинолита и др. — в водной суспензии отрицателен.

17. При подкислении суспензии минералов глинкаит-оливина и амфибола удалось изменять их отрицательный знак на положительный, благодаря присутствию в их составе подвижных форм окисного железа. При подкислении суспензии минералов талька и хлорита выраженность их отрицательного знака заряда сильно понижалась.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов-Каратаев И. Н. и Рабинерсон А. И. Почвенные коллоиды и методы их изучения. 1930.
2. Антипов-Каратаев И. Н. и Рабинерсон А. И. Тр. ЛОВИУА, вып. 17, 1933.
3. Белякова Л. П. Сборник памяти К. Д. Глинки. 1928.
4. Болдырев А. К. Курс минералогии. 1936.
5. Вернадский В. И., Курбатов С. М. Земные силикаты, алломо- силикаты и их аналоги. 1937.
6. Дубровская В. П. Тр. Донск. оп. станции по виногр. и винодел., т. 2, 1934.
7. Gordon A. a. Lipman C. Soil Sc., v. 22, 4, 1926.
8. Joffe J., Cardos L. a. Mattson. Soil Sc., v. 40, 3, 1935.
9. Kellog E. Journ. Americ. Soc. Agron. v. 23, 6, 1931.
10. По: L ä m m e r m a y r L. Sitzb. Ak. Wissenschaften in Wien, Bd. 136, H. 2, 1927.
11. L ä m m e r m a y r L. Там же, Н. 1—2, 1928.
12. Лодочников В. Н. Серпентины и серпентиниты Ильчирские и др. 1936.
13. Маттсон С. Почвенные коллоиды. 1938.
14. Наумов В. А. Минер. сырье. № 1, 1931.
15. Полюнов Б. Б. Изв. Докуч. Почв. ком., № 2, 1915.
16. Robinson E., Edington S. a. Byers H. U. S. Dept. of Agric. Technic. Bull., 471, 1935.
17. Сыромятников Ф. В. Проблемы добычи и использования асбеста. 1934.
18. Тарасенко Д. Н. Мин. сырье. № 1, 1931.
19. Truog E. a. Drosdoff M. Trans. 3-d Intern. Congr. Soil Sc., v. 1, 1935.
20. Швецов Б. С. и Ганхилевич А. М. Адсорбционные свойства глин. стр. 76—85, 1934.
21. Шелягин В. В. Мин. сырье, № 9, 1928.
22. Шелягин В. В. Мин. сырье, № 1. 1931.
23. Яцюк П. А. Докл. АН СССР, т. 26, № 9, 1940.

## ОПИСАНИЕ ТАБЛИЦ I—III

## Т а б л и ц а I

Рис. 1. *a* — антигорит; *b* — хризотил; *в* — кальцит.

Рис. 2. *a* — антигорит; *b* — пироксен-диопсид.

## Т а б л и ц а II

Рис. 3. *a* — антигорит; *b* — серпентин; *в* — хризотил.

Рис. 4. *a* — серпофит; *b* — псевдоморфоза бастита по пироксену (бастит).

## Т а б л и ц а III

Рис. 5. Прибор Umetsu в собранном виде.

Рис. 6. Набухание асбеста при различных условиях реакции среды.

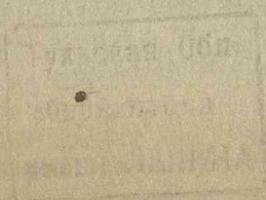


Таблица I

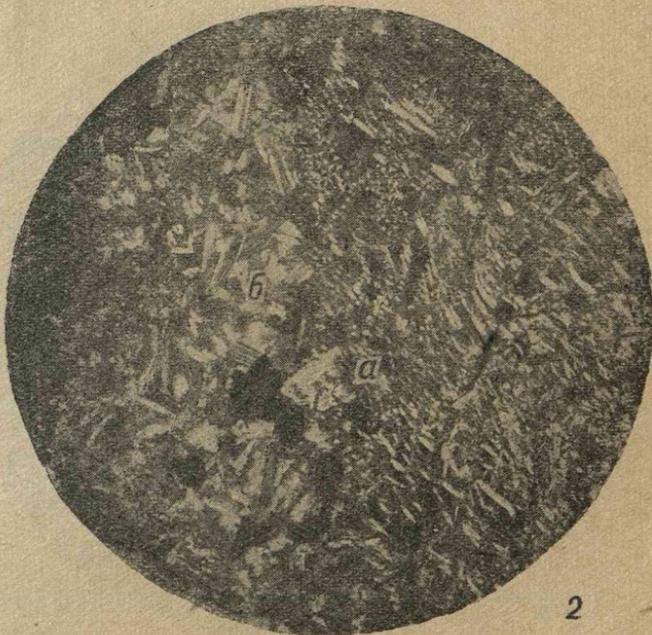
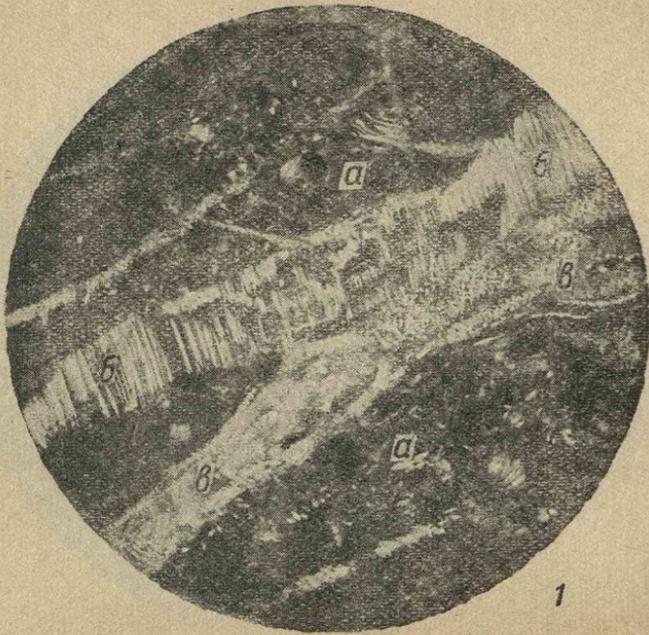
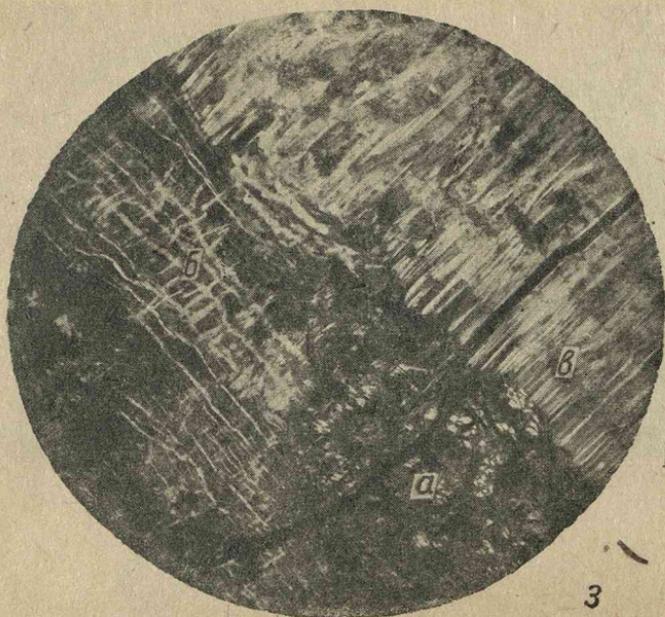




Таблица II



3



4

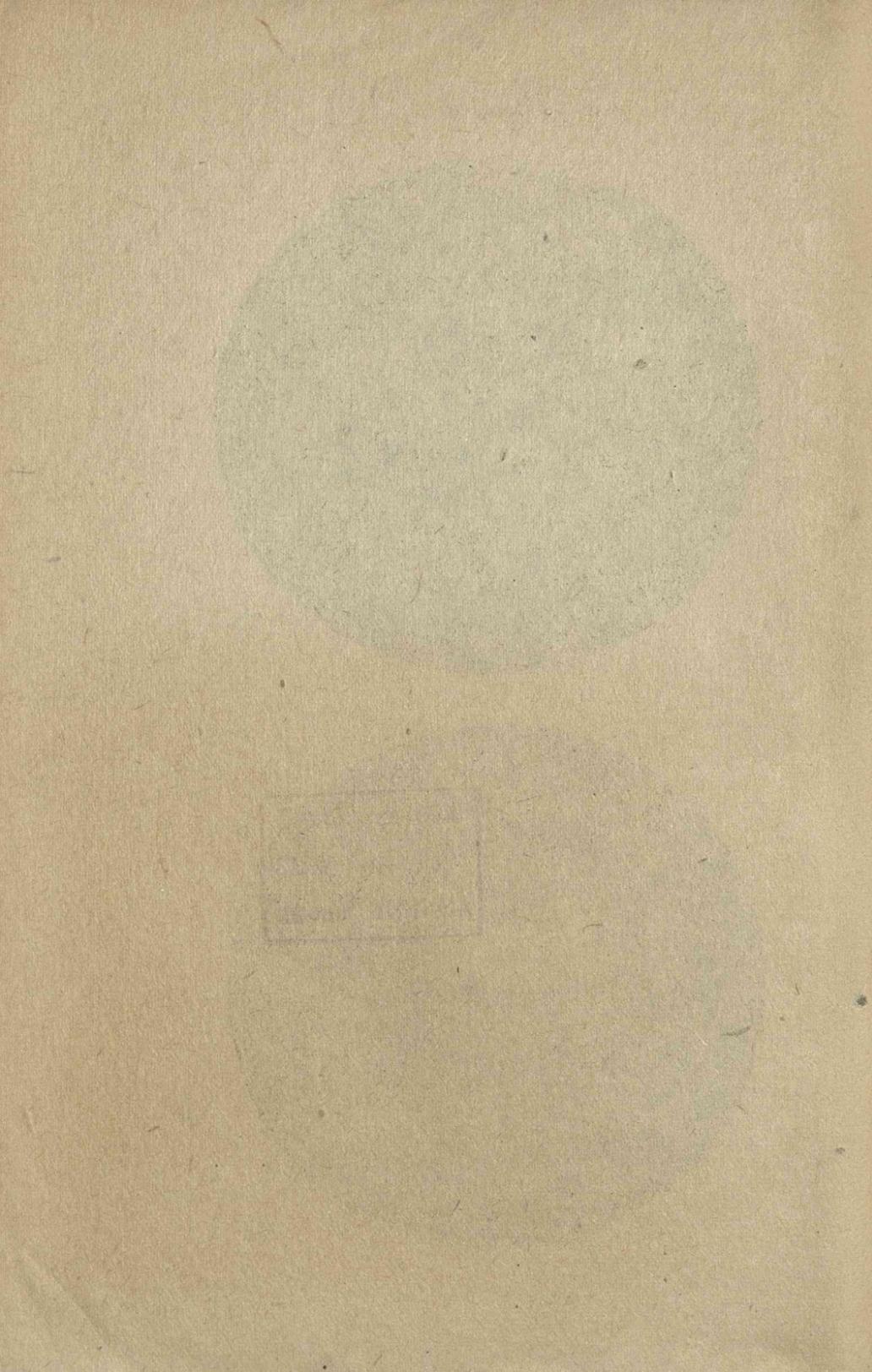
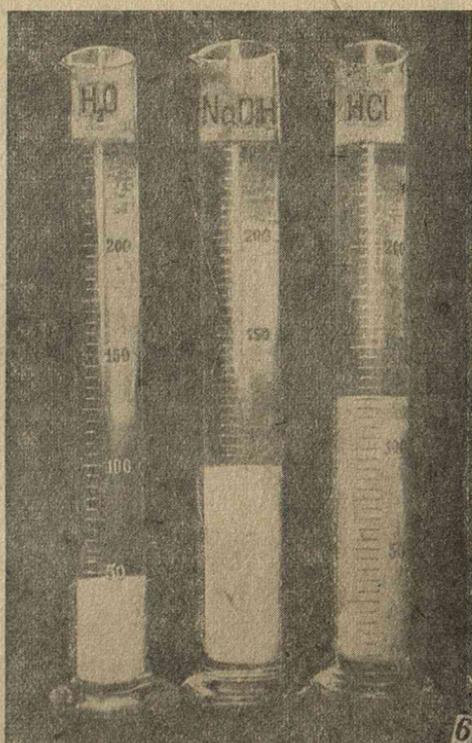
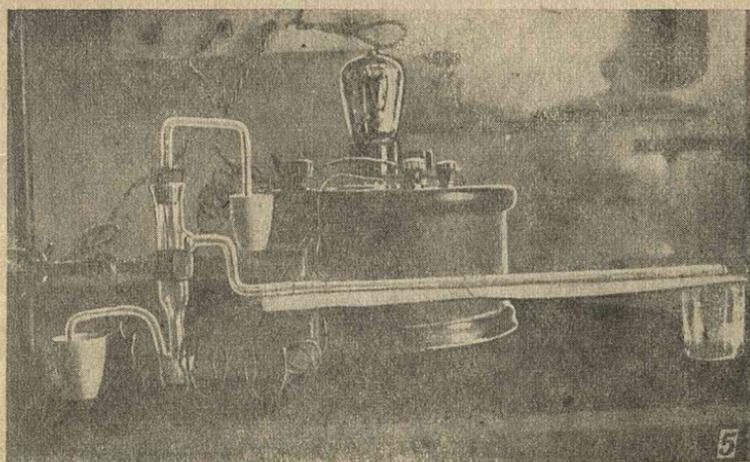


Таблица III



Губ. кн. б-ка  
С. ПЕТЕРБУРГ  
1880



2-50  
25 p.

501  
5M