

Э. ДЖОН РЭССЕЛЬ

**ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ  
И  
РОСТ РАСТЕНИЙ**

ОГИЗ — СЕЛЬХОЗГИЗ — 1936

631.4  
P. 96

Э. ДЖОН РЭССЕЛЬ

ДИРЕКТОР РОТАМСТЕДСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ

# ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ И РОСТ РАСТЕНИЙ

*Перевод с шестого английского издания (1932 г.)*

ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
ПРОФ. В. П. КОЧЕТКОВА

ӨЗДӨ-ХИ КҮТҮВХАНАСЬ  
БИБЛИОТЕКА УЗГС-ХИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
«СЕЛЬХОЗГИЗ»  
МОСКВА — 1936



631.4

P 96

SOIL CONDITIONS  
AND  
PLANT GROWTH

BY

Sir E. JOHN RUSSEL

DIRECTOR OF THE ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION

*SIXTH EDITION*

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА-ПЕРЕВОДЧИКА

Пятое издание этой книги, вышедшее в Англии в 1927 г. и в русском переводе в издании Сельхозгиза в 1931 г. и повторно в 1933 г., хорошо известно в наших агрономических кругах. Книга включена в число пособий по курсу агрохимии в с.-х. вузах и широко используется студентами.

Настоящее 6-е издание обильно дополнено автором новым материалом и значительно переработано по плану распределения материала по главам. Объем книги увеличился с 450 до свыше 600 страниц текста, но при этом автор выпустил часть материала 5-го издания, и фактически объем книги по содержанию увеличен больше чем в полтора раза. Исключение части материала 5-го издания сделано большей частью не по устарелости его, а лишь в виде уступки, чтобы дать место новому, не увеличивая особенно объема книги.

Таким образом, с выходом 6-го издания значение и предыдущего издания не аннулируется.

В результате посещения в 1930 г. Международного конгресса по почвоведению в Москве Рассель собрал и изучил обширный материал по почвам СССР. Очерку этих почв, в связи с теорией почвообразования школы СССР, в книге отведено видное место. Нельзя не отметить мастерского изложения в сжатой форме главных свойств и условий перехода одних типов почв в другие, особенно почв подзолистых и засоленных—солончаков, солонцов и солодей. Менее обстоятельно изложен раздел о черноземах и переходных лесных почвах. Из других почв очень обстоятельно сделан обзор по латеритным почвам, с исчерпывающими указаниями на современную литературу по ним.

К какой научной дисциплине нужно отнести книгу Расселя? В ней доминирует агрохимия, но это не только агрохимия в обычном узком смысле, связываемом у нас с этим словом.

Рассель трактует почвенные условия в широком смысле науки о почве, затрагивая вопросы почвоведения и процессы почвообразования, вопросы агрофизики, почвенной микробиологии, физиологии растений и т. д. Короче говоря, он касается всего комплекса почвенных условий, влияющих на рост растений, без увязки с которыми (комплексом) невозможно плодотворно рабо-

тать в области своих специализированных проблем ни агрохимику, ни почвоведу, ни микробиологу.

Рэссель является инициатором и творцом новой комплексной научной дисциплины, имя которой «Почвенные условия и рост растений».

Новый предмет является синтезом уже существующих научных дисциплин, на которых он базируется; целесообразность сохранения их не исключается, что необходимо для углубленной специализации, но без синтеза и координации их в форме нового предмета дальнейшее развитие их рисковало бы зайти в тупик. У нас, например, уже давно замечается, что почвоведы и агрохимики говорят на разных языках, и сознается необходимость перебросить мост между этими дисциплинами, но микробиология и агрофизика остаются еще значительно обособленными.

«Почвенные условия и рост растений» координируют эти разрозненные дисциплины.

Поводы, побудившие Рэсселя приступить к составлению книги, хорошо изложены им в предисловии к 1-му изданию 1912 г. в следующих словах:

«Я старался,—пишет он,—представить краткий отчет о нашем современном знании почвы, как среды для развития растений. На первый взгляд этот предмет кажется очень простым, на самом же деле он крайне сложен и затрагивает много различных предметов, относительно которых никто не может считать себя вполне осведомленным и что, может быть, представляет гораздо большее неудобство,—он развивается без всякой системы. Химики, ботаники, бактериологи, геологи и агрономы—все содействовали тут чем-нибудь, но обыкновенно в связи с интересующими их собственными специальными задачами, а не с мыслью о развитии нового предмета... В результате, этот предмет и до сих пор находится в каком-то смутном состоянии. Взгляды, выраженные людьми, выдающимися в какой-либо отрасли науки,—принимались без особенного серьезного рассмотрения; иллюстрации, применяемые на лекциях, чтобы запечатлеть какой-либо важный пункт перед аудиторией, приобретали силу установленных фактов; при этом некоторые положения, а иногда даже существенные стороны учения, начали приниматься на веру только потому, что о них очень много говорили».

Опасность недостаточно критического отношения ко многим ходячим взглядам только потому, что они были пущены в оборот авторитетами своего времени, которых никто не решается оспаривать, характерна для всех времен и чувствуется на каждом шагу, несмотря на переживаемую нами эпоху переоценки научных ценностей в связи с бурным развитием науки о почве за последние 25—30 лет. Подвергая шаг за шагом рассмотрению состояние современных знаний по разным разделам, Рэссель всегда старается отделить положения, твердо установленные от недо-



статочно обоснованных, и заостряет внимание читателя на спорных вопросах.

Нельзя не отметить весьма позитивный характер мышления автора. Он никогда не довольствуется умозрительными выводами, как бы заманчивы и логичны они ни казались, и всегда ищет подтверждения их на практике, путем эксперимента, не забывая при этом отмечать и возможные другие выводы из того же эксперимента или наблюдения. В этом чувствуются и традиции Ротамстедской станции, основатель которой Лооз, в свое время, немедленно по ознакомлении с теориями Либиха организовал в Ротамстедте опыты, которые, подтвердив в одной части доктрину Либиха, показали неправильность слишком поспешных умозрительных априорных выводов Либиха о достаточности азотистого питания за счет атмосферного аммиака и о диагностике потребности растений в тех или иных элементах питания по анализу золы. Из новейших поправок этого рода к ходячим умозрительным выводам отметим, например, указания Расселя (стр. 207), на основании учета калия в почве и в урожаях за 20 лет, на отсутствие влияния гипса в суперфосфате на мобилизацию усвояемого калия в почве и на отсутствие закисления почвы в результате длительного применения высоких доз калийных солей, априорные опасения чего, на основании явлений обменной кислотности, до сих пор можно встретить в руководствах.

Из крупных агрохимических гипотез, привлекавших к себе внимание в последнее десятилетие, нельзя обойти молчанием закон минимума в новой формулировке его Митчерлихом. Закон действия факторов роста вызвал обширную дискуссионную литературу в Западной Европе и у нас.

Не прошел мимо теории Митчерлиха и Рассель; в книге ей уделено достаточно много внимания.

Рассель скептически относится к попыткам Митчерлиха свести сложные явления роста растений к простым математическим формулам.

«Эти попытки найти математические выражения,—пишет он,—встречают возражения по двум основаниям: одни предполагают, что ничего, кроме кажущейся внешней согласованности, тут не может быть достигнуто; другие считают, что математическую формулу, если уж необходимо прибегать к ней, приходится составлять в таких общих выражениях, что она теряет всякое значение» и т. д. (стр. 33). И далее: «Слишком общая формула уравнения делает его слишком неопределенным, чтобы оно было особенно полезным для биолога и исследователя почвы... оно должно быть упрощено, а процесс упрощения заставляет делать гипотезы. Поэтому опасность математических уравнений заключается в скрывающихся в них гипотезах. Было бы нетрудно найти примеры в научной литературе, где в математическом уравнении были приняты такие гипотезы, которые вызвали бы не-

которое удивление, если бы были высказаны, как самостоятельное утверждение» (стр. 133).

Таким образом, далеко не считая убедительными теории математических выражений Митчерлиха и других авторов, Расселл отводит в своей книге место для дискуссии этих вопросов, поскольку вопросы эти продолжают разрабатываться.

Значительная перестройка 6-го издания позволила использовать из перевода 5-го издания, главным образом, главу I (историческая и вводная), частично факторы роста, хотя с многочисленными изменениями и вставками в новом тексте, и часть микробиологических условий почвы. Перевод остальной части книги сделан заново мною и частично (глава VIII) Н. Х. Абрикосовым, под моей общей редакцией.

Москва, 25 июля 1936 г.

*В. Кочетков*

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Как и в предыдущем издании, я должен принести свои извинения за запоздание с выпуском и настоящего издания: это произошло благодаря моему отсутствию из-за поездки в СССР, где я изучал почвы с русскими и другими коллегами и где получил массу материалов и новых сведений, в связи с чем потребовалось значительное время, чтобы разобраться в них и привести в порядок.

Продвижение вперед наших знаний о почве за последние годы отличалось быстротой и широтой, и практически все отрасли науки оказали этому содействие. Так как одному человеку совершенно непосильно овладеть всеми этими знаниями с надлежащей полнотой, мне приходилось обращаться за помощью и широко получать ее от своих коллег по Ротамстеду, Имперскому бюро науки о почве и от других лиц, главным образом по деталям плана и затем по критике отдельных разделов книги уже после того, как они были написаны. Считаю своим долгом в особенности выразить благодарность E. M. Crowther, G. V. Jacks и E. W. Russell за помощь в течение всего времени составления книги и W. E. Brenchley, F. G. Gregory, H. G. Thornton, W. G. Ogg, R. K. Schofield, E. J. Salisbury, G. W. Robinson и D. J. Watson за большую помощь в специальных главах; кроме того в составлении книги, исправлении ошибок и указаниями на важные упущения оказали помощь и многие другие. M. S. Aslin, A. M. Webster и J. N. Comb оказали большую помощь в кропотливой работе по систематизации библиографических и других указателей.

Книга насчитывает в настоящее время уже двадцать лет своего существования, со времени появления первого издания в 1912 г. в виде скромного тома в 168 страниц. В те времена не приходилось стесняться объемом и много задумываться над тем, что следовало и чего не следовало включать в книгу. Настоящее издание содержит свыше 600 страниц, и возможность уложиться в эти пределы представилась лишь после многократного и продолжительного обсуждения всего имевшегося материала, причем по необходимости приходилось оставлять в стороне многие из за-

служивающих внимания работ. К счастью, в настоящее время имеется исчерпывающее собрание всех сведений в большом издании д-ра Е. Бланка (Dr. E. Blank, Handbuch der Bodenlehre) выпуск которого начался в 1929 г., и в настоящее время уже вышло 10 больших томов.

Замечательные успехи Интернационального общества наук о почве (International Society for Soil Science) чрезвычайно способствовали в последнее время быстрому развитию знаний по этому предмету. Со времени выхода последнего нашего издания это общество имело две конференции—одну в Вашингтоне в 1927 г. и другую—в СССР в 1930 г., где исследователи почвы встречались и представляли доклады о своей работе. Каждая конференция продолжалась около 6 недель, из которых от 4 до 5 недель были проведены в поле; таким образом, представлялась широкая возможность для обмена взглядами и опытом. Работа общества и его комиссий оказалась в высшей степени ценной по своим вкладам в знания о почве и по подчинению человеку сложных и изменчивых факторов, определяющих рост растений.

Ротамстедская опытная станция,  
Харпенден, январь, 1932.

Э. Дж. Расселл



## Г Л А В А I

### ИСТОРИЧЕСКАЯ И ВВОДНАЯ

Во все времена человеческую мысль интересовал процесс роста растений. «Тайные» превращения кажущегося безжизненным семени в крепкое растение всегда сохраняет свою новизну, и в ней заключается значительная доля привлекательности труда земледельца.

Во времена Рима уже существовала обширная литература по земледелию, которая до сравнительно недавнего времени сохраняла еще видное положение. В ней мы находим много фактов, которые впоследствии были разъяснены и разбиты по рубрикам специалистами в сельском хозяйстве. Вся римская литература этого рода была собрана и изложена в сжатом виде в одном томе болонским сенатором Петрусом Кресцентинусом около 1240 г. Его книга была одним из самых популярных трактатов по земледелию, которые когда-либо существовали; она многократно переписывалась, а с введением книгопечатания вышла в нескольких изданиях, иногда выполненных чрезвычайно красиво. В результате книга Петруса Кресцентинуса положила начало образцовым трактатам, появившимся в Европе в XVI и XVII веках. В XV веке и в начале XVI века появилось в Италии, а потом и во Франции много и других трактатов по земледелию. В некоторых из них встречаются остроумные гипотезы, подтвержденные позднейшими исследованиями. Такова, например, следующая знаменитая мысль, высказанная Палисси (1563): «Вы должны согласиться, что когда вы вывозите в поле навоз и запахиваете его, то вы это делаете для того, чтобы вернуть почве нечто, извлеченное из нее раньше... Когда растение сгорает, оно превращается в солоноватую золу, называемую химиками и философами щелочью... Каждый вид растений, без исключения, содержит в себе какую-нибудь соль. Не видели ли вы, как земледельцы, засевая поле второй год подряд пшеницей, сжигают неиспользованную солому, которая была снята с поля? В золе, полученной после сжигания соломы, содержится соль, которая была извлечена из почвы. Если эта соль возвращается почве обратно, то почва улучшается. Сжигаемая в поле солома служит удобрением потому, что возвращает

почве вещества, которые были из нее извлечены». Но на каждую, подтвержденную позднее гипотезу приходится много таких, которые не были оправданы, и начало агрономической химии нужно искать позднее, когда люди поняли необходимость опытов.

### Поиски «основ» произрастания (1630—1750 гг.)

Первые исследователи искали основную причину произрастания, чтобы объяснить явления плодородия почвы и роста растений. Великий Франсис Бэкон, лорд Веруламский (1627), считал, что вода составляет «основную пищу» растений, земля должна поддерживать их в прямом положении и защищать от слишком сильных холодов и жары. Но он также считал, что каждое растение извлекает из почвы для поддержания своего существования «особый сок», истощая таким образом почву, делая ее бедной веществами, нужными именно этому и подобным ему видам растений; вещества эти, однако, не обязательны для питания других растений. Van Helmont считал воду единственным веществом, составляющим пищу растений, и его сыном так был записан его знаменитый брюссельский опыт (1577—1644): «Я взял глиняный сосуд, в который насыпал 200 фунтов земли, высушенной в печи; затем я полил ее дождевой водой и плотно всадил в нее побег ивы, весивший 5 фунтов. Ровно через пять лет выросшее дерево весило 169 фунтов и около 3 унций. В сосуд за это время ничего не вносилось, кроме дождевой или дистиллированной воды, чтобы увлажнять землю, когда это было нужно. Сосуд остался полным земли, которая еще больше уплотнилась, а для того, чтобы никакая пыль не могла проникнуть в землю, сосуд был закрыт листом белой жести, в котором было пробито много отверстий. Я не взвешивал листьев, опадавших осенью. По окончании опыта я снова высушил землю и получил те же 200 фунтов, с которыми начал опыт, за вычетом около 2 унций. Таким образом, 164 фунта дерева, коры и корней образовались из воды».

Опыт прост и убедителен. Он вполне удовлетворил Бойля (1661), который повторил его с особым родом индейской тыквы (squash) и получил сходные результаты. Потом Бойль произвел перегонку полученного растения и сделал совершенно логичный на основании своих предпосылок вывод, что полученные продукты—«соль, спирт, землю и даже масло (хотя последнее по своим свойствам считается наиболее противоположным воде из всех остальных тел)—можно получить из воды». Однако заключение было неправильным, потому что два фактора ускользнули от внимания Ван Хельмонта: роль воздуха и потеря двух унций земли. История этого опыта чрезвычайно характерна для экспериментов по агрономической химии вообще: нет ни одной другой области, где так легко просмотреть важный фактор и вывести

из хорошего опыта заключение, кажущееся абсолютно верным, но в действительности совершенно ошибочное.

Несколько лет спустя Глаубер (1656) высказал гипотезу, что «основой» произрастания растений является селитра. Получив селитру из земли, взятой из хлева, он утверждал, что селитра получилась из мочи или помета животных, а следовательно должна содержаться в пище, потребляемой скотом, т. е. в растениях. Он нашел также, что вносимая в почву селитра вызывает громадное повышение урожайности. Сопоставляя результаты этих двух наблюдений, он высказал предположение, что селитра и является основой произрастания растений. Плодородие почвы и ценность удобрений (он упоминает навоз, перья, волосы, рога и кости) зависят исключительно от селитры.

Это мнение было подкреплено опытами Мауов (1674). Он определял количество селитры, находящееся в почве в разное время года, и доказал, что весной, когда рост растений еще только начинается, селитры в почве больше всего и что ее почти нет «в почвах, в которых растения растут в изобилии, причиной чего является то обстоятельство, что вся содержащаяся в почве селитра высасывается растениями». С другой стороны, Ж. А. Кюльбель<sup>1</sup> (J. A. Kùlbel) считал, что «основой» произрастания является *magma unguinosum*, которую можно получить из гумуса.

Наиболее точной работой этого времени была опубликованная Джоном Вудвордом (1699) его замечательная статья. Исходя из результатов опытов Ван Хельмонта и Бойля, но, очевидно, ничего не зная о работах Глаубера и Мейоу, он выращивал мяту в воде, взятой из разных источников, и получил следующие результаты (см. табл. на стр. 12).

Все растения, выращиваемые в воде из разных источников, получали воду в изобилии, и поэтому все они должны были бы расти совершенно одинаково, если бы им больше ничего не было нужно. Однако темп роста ускорялся по мере загрязнения воды. «Растения,—заключает он из этого,—образуются не из воды, а из особого землистого вещества. Было доказано, что это вещество содержится в значительном количестве в воде дождевой, ключевой и речной, что большая часть «флюидной» \* массы, проникающей в растения, не остается в них, а выходит через их поры и испаряется в атмосферу; что значительная часть землистого вещества, смешанного с водой, проникает в растение вместе с ней и что растение увеличивается в росте в зависимости от количества этих веществ, содержащихся в воде. Из всего этого мы можем заключить, что земля, а не вода, является веществом, из которого образуются растения».

<sup>1</sup> Cause de la fertilité des terres. Bordeaux, 1741.

\* Т. е. подвижных—жидких и газообразных веществ. Прим. пер. е в.



## Источники

|                                                            | Вес растений                         |                                      | Прирост за 77 дней                   | Расход воды (т. е. испарение) | Отношение прироста растения к расходу воды |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                            | При посадке                          | При уборке                           |                                      |                               |                                            |
| Дождевая вода . . . . .                                    | Граны 28 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> | Граны 45 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> | Граны 17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | Граны 3 004                   | 1:171 — 23                                 |
| Из р. Темзы . . . . .                                      | 28                                   | 54                                   | 26                                   | 2 493                         | 35                                         |
| Из водопровода Гайд-Парка . . . .                          | 110                                  | 249                                  | 139                                  | 131 140                       | 1:95 — 23                                  |
| То же + 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> унц. садовой земли . | 92                                   | 376                                  | 284                                  | 14 950                        | 26                                         |
|                                                            |                                      |                                      |                                      |                               | 1:94 — 74                                  |
|                                                            |                                      |                                      |                                      |                               | 1:52 — 139                                 |
|                                                            |                                      |                                      |                                      |                               | 182                                        |
|                                                            |                                      |                                      |                                      |                               | 284                                        |

Он обсуждает применение удобрения и плодородие этой точки зрения, приписывая всем известное явление урожайности при засеивании несколько лет в изобилии, после чего почва истощается, а растения, произведенные в почве в значительной степени истощены... Земля сможет снова производить те же количества, подобного тому, которое она содержала в начале, только в том случае, если будет снабжена новым же количеством питательных веществ, или сам земледельец может внести удобрения, продолжая его, являются частью удобрений, которые в конце концов также произошли от растений.

В своем знаменитом учебнике химии Бурхав (Boerhaave, 1727) что растения берут из земли соки, которые они используют себе в пищу. Сырой материал, первичный продукт, состоит из трех царств природы, а именно — животного, растительного и минерального. Мы сможем рассмотреть их в первом порядке сосудов, т. е. в корнях, где они соответствуют желудку и кишечному каналу и где они производят сок растения, так как он находится в нем. Многие годы не появлялось ни одного труда, посвященного производству, как работы Глаубера и Вудворда, так и «Vegetable Staticks» (1731), Хейльса (Hales), который





нованное в 1755 г. для содействия искусствам и промышленности, побудило Фрэнсиса Хома (Francis Home, 1757) «попытаться выяснить, насколько далеко может идти химия в установлении принципов земледелия». Все искусство земледелия, говорит он, сосредоточивается в одной точке—питании растений. Исследования плодородных почв показали, что все они содержат в себе масло, которое, следовательно, является пищей растений. Но когда почва уже истощена урожаями, ее плодородие восстанавливают, подвергая ее действию воздуха<sup>1</sup>, который, очевидно, доставляет другие питательные вещества. Хом (Home) производил опыты в сосудах, чтобы установить эффект разных веществ на рост растений. «Чем больше они (т. е. фермеры) будут знать о действии разных веществ на растения, тем больше вероятности будут они иметь, чтобы открыть вещества, нужные для питания растений. Во всяком случае это—единственный путь». Селитра, английская соль\*, обработанный серной кислотой винный камень (т. е. сульфат калия), хотя и являются тремя разнородными солями, все же способствуют увеличению роста растений. Оливковое масло тоже оказалось полезным веществом. Ясно, что пища растений не является каким-то однородным веществом, а состоит из нескольких. Хом перечисляет шесть таких веществ: воздух, вода, земля, различные соли, масло и огонь в «закрепленном» состоянии. В подтверждение он приводит тот довод, что «все растения и растительные соки обнаруживают эти настоящие основные вещества, и никаких иных, при всех химических экспериментах, произведенных над ними с применением огня и без него».

Книга Хома является большим шагом вперед по сравнению со всем тем, что предшествовало ей, и не только потому, что она признает, что пища растений состоит из нескольких веществ, но и потому, что в ней ясно указываются два метода, которыми нужно идти при изучении данной проблемы: культуры в сосудах и анализ растений. Последующие исследователи—Валлериус (1761), Дэндоналд (1795) и Кирван (1796)—прибавили некоторые новые детали, но не внесли никаких новых принципов. Проблема, действительно, была проработана настолько, насколько это было возможно, пока не были сделаны дальнейшие открытия в области физиологии растений и в химии. Тем не менее упомянутые ученые имеют слишком большое значение, чтобы их можно было обойти молчанием. Валлериус, профессор химии в Упсале, в 1761 г., производя анализ растений с целью найти вещества, которыми они питаются, и защищая положение, что

<sup>1</sup> Эта мысль отмечается самыми ранними писателями, например Evelyn (Терра, 1674).

\* Эпсомская соль или английская — сернокислый магний. П р и м. п е р е в.

«пища не может состоять из неоднородных веществ, а должна состоять только из веществ однородных» (*Nutritio non fieri potest a rebus heterogeneis, sed homogenis*), делает вывод, что гумус, будучи однородным, является источником питания растений (*nutritiva*), в то время как другие вещества, входящие в состав почвы, являются подсобными (*instrumentalia*), способствуя подготовке питательной смеси, растворяя и размягчая ее, чтобы она могла быть впитана корнями растений. Так мед, а возможно и соль, помогают растворению жирных веществ гумуса. Глина задерживает эти жирные вещества и предохраняет их от вымывания дождями. Песок поддерживает почву открытой и доступной для воздуха. Дэндоналд в 1795 г. прибавляет к числу питательных солей еще щелочные фосфаты, но приписывает, в качестве пищи растений, главное значение гумусу. Процесс «окисления» (*oxugenation*), происходящий в почве, делает органические вещества нерастворимыми, а поэтому и бесполезными для растений. Известь, «щелочи и другие соляные вещества» растворяют их и превращают в пищу растений. Из этого следует, что эти вещества нужно применять в качестве удобрения попеременно с навозом. Таким образом, как и по Валлериусу, удобрения были разделены на две группы: удобрения, содержащие питательные вещества, идущие непосредственно в пищу растений, и такие, которые оказывают некоторое косвенное влияние.

В этот период считалось, что растения могут образовать щелочные соли. «Щелочи,—писал в 1796 г. Кирван,—являются очевидно продуктом, вырабатываемым в процессе произрастания растений, потому, что их нет или почти нет в почве и дождевой воде». Подобным же образом Лампадиус думал, что ему удалось доказать, будто растения могут вырабатывать кремнезем. Многие ученые еще придерживались теории, что в существенных чертах растительный и животный миры сходны. Некоторые интересные открытия были сделаны Эразмом Дарвином (1800).

В период 1700—1800 гг. производились исследования действия растений на состав воздуха; этим исследованиям предстояло произвести целый переворот в представлении о роли растений в общей системе природы, но значение этих исследований для земледелия было, однако, признано значительно позднее. Пристли (1775), зная, что воздух отравляется при дыхании животных, при сгорании, гниении и т. д., и признавая, что должно происходить некоторое естественное очищение его, иначе жизнь сделалась бы невозможной, попытался исследовать действие, оказываемое веткой мяты на отравленный дыханием воздух. Он нашел, что мята очистила воздух, и пришел к заключению, что «растения вместо того, чтобы оказывать на воздух такое же влияние, как животные при дыхании, производят эффект обратный и стремятся очистить и оздоровить воздух, когда он становится негодным в результате дыхания животных или гниения их раз-



лагающихся тел». Кислород тогда еще не был открыт им, и по-этому он еще не мог уточнить свое открытие. Когда же позднее он открыл кислород и научился определять его, то, к сожалению, не сумел подтвердить своих первых результатов, так как просмотрел чрезвычайно существенный фактор, а именно—необходимость света. Поэтому он не смог ответить Шеле, который настаивал на том, что растения так же, как и животные, отравляют воздух. Инген-Гус (Ingen-Housz) (1779) примирил оба взгляда, показав, что очищение воздуха происходит только при свете, тогда как отравление его имеет место в темноте. Жан Сенебье в Женеве пришел к тому же заключению. Он тоже изучал этот вопрос, но только в обратном порядке: он исследовал действие воздуха на растения и в 1782 г. пришел к выводу, что прирост веса дерева в опыте Ван Хельмонта произошел от «закрепленного» воздуха. «Если, следовательно, закрепленный воздух, растворенный в атмосферной влаге, соединится в паренхиме со светом и всеми другими элементами растения; если флогистическое вещество этого закрепленного воздуха прочно осело в органах растения; если этот осадок остается, как мы видим это, ибо этот закрепленный воздух выходит из растения в форме воздуха, лишенного флогистона, то ясно, что закрепленный воздух, в сочетании в растении со светом, оставляет там некоторое вещество, которого бы иначе там не было, и мои опыты над этиологированием достаточны, чтобы доказать это»<sup>1</sup>. Впоследствии Сенебье перевел свою работу на современные термины системы Лавуазье.

#### ПОСЛЕДУЮЩИЙ ПЕРИОД (1800—1860 гг.)

**Возникновение физиологии растений.** Мы видели, что Хом продвинул свои исследования в 1757 г. настолько, насколько это позволяли методы, известные в то время, почему в продолжение целых 40 последующих лет не было сделано никакого движения вперед. Необходимы были новые методы для того, чтобы можно было идти дальше и для того, чтобы новые идеи, вызванные Сенебье, могли получить новое развитие. К счастью, это скоро случилось. Теодору де-Соссюр (1804), сыну известного де-Соссюр из Женевы, обязаны мы открытием количественного экспериментального метода. Открытие это больше, чем какое бы то ни было другое, сделало возможным существование современной агрономической химии. Метод этот положил основание всем работам

<sup>1</sup> «Si donc l'air fixe, dissous dans l'eau de l'atmosphère se combine dans la parenchyme avec la lumière et tous les autres élémens de la plante; si le phlogistique de cet air fixe est très-précipité dans les organes de la plante, si ce précipité reste comme on le voit, puisque cet air fixe sort des plantes sous la forme d'air déphlogistiqué, il est clair que l'air fixe, combiné dans la plante avec la lumière, y laisse une matière qui n'y seroit pas, et mes expériences sur l'étiollement suffisent pour le démontrer».



Буссенго, Либиха, Лооза и Гильберта и до сих пор остается нашим самым надежным методом исследований. Сенебье говорит, что де-Соссюр старший был хорошо знаком с его опытами. Поэтому неудивительно, что сын занялся разрешением двух проблем, которые изучал также и Сенебье: проблемы действия воздуха на растения и проблемы природы и происхождения солей в растениях. Де-Соссюр выращивал растения в воздухе или в известных смесях воздуха и углекислоты и измерял изменения в газах с помощью эвдиометрического анализа, а изменения, происходящие в растениях,—методом «карбонизации». Таким путем ему удалось доказать основные факты дыхания растений: поглощение кислорода и выделение углекислоты, и далее показать разложение углекислоты и выделение кислорода при свете. Углекислота в малых количествах оказалась совершенно необходимой для жизни растений, которые погибали, если она искусственно удалялась из воздуха. Она доставляла им не только углерод, но отчасти и кислород. Вода также разлагается и фиксируется растениями. Сравнивая количество сухого вещества, получаемого из этих источников, с количеством веществ, которые могут проникать через корни даже при наиболее благоприятных условиях, он пришел к заключению, что почва доставляет лишь очень малую часть пищи растениям. Однако какой бы незначительной эта часть ни была, она совершенно необходима: она дает азот—une partie essentielle des végétaux (существенную часть растения), который, как им было доказано, не поглощается прямо из воздуха, а также составные части золы, способствующие также, как и в животном мире, образованию твердых или костных веществ (qui peuvent contribuer à former, comme dans les animaux, leur parties solides ou osseuses). Далее де-Соссюр доказал, что корни не являются простым фильтром, пропускающим всякую жидкость внутрь растения. Корни выполняют специальную функцию и вбирают воду легче, чем растворенные в ней вещества, повышая концентрацию окружающего их раствора; разные соли поглощаются в разной степени. Переходя затем к составу золы растения, он показал, что состав ее не является постоянным, а меняется в зависимости от почвы и возраста растения. Зола главным образом состоит из щелочных солей и фосфатов. Все элементы золы встречаются в перегное. Если растение выращивается из семени в воде, то количество золы не увеличивается: количество, найденное по окончании роста, то же самое, что было в семени, за исключением небольшого количества попавшей в растение пыли. Таким путем он окончательно отвергает мысль, что растения создают поташ.

После несколько растянутых и зачастую скучных трактатов прежних авторов особенно приятно читать произведения де-Соссюра, где он в сжатой и логичной форме излагает свои аргументы, приводя для каждого из них убедительные доводы. Несмотря

на это, его учение не было признано в течение многих лет, и никто не следовал его методам.

Две популярных тогда больших книги по земледелию еще относятся к старому периоду. Тэер и Дэви, хотя и пошли значительно дальше Валлериуса, писавшего в 1761 г. свои учебники, однако, не усвоили новых принципов, введенных де-Соссюром. Тэер издал в 1809—1812 гг. свои «Основы рационального сельского хозяйства» (*Grundsätze der rationellen Landwirtschaft*). Как хорошая практическая книга она имела большой успех в Европе, но была переведена на английский язык Кетбертом Джонсоном только в 1844 г. В своей книге Тэер придерживался преобладавших в то время взглядов, что растения получают как свой углерод, так и другие питательные вещества из почвенного гумуса. «Die Fruchtbarkeit des Bodens, говорит он, hängt eigentlich ganz vom Humus ab. Denn ausser Wasser ist es allein, — der den Pflanzen Nahrung gibt. So wie der Humus eine Erzeugung des Lebens ist, so ist er auch eine Bedingung des Lebens. Er gibt den Organismen die Nahrung. Ohne ihn lässt sich, kein individuelles Leben denken».

Книга Дэви (1813) составила собственно из собрания отдельных лекций, которые он ежегодно читал в Королевском институте по агрономической химии в период с 1802 г. по 1812 г. Она является последним учебником старого периода. Хотя сам Дэви не сделал больших новых продвижений в науке, но он тщательно пересмотрел все факты и гипотезы предшествующих авторов и дает нам полное изложение (страдающее, правда, местами некоторыми недостатками) всех признанных научных данных того времени, написанное новым химическим языком. Крутое имя Дэви обеспечило его книге исключительный успех, которого она иначе не имела бы<sup>1</sup>. Дэви не принял заключения де-Соссюра, что растения берут нужный им углерод главным образом из углекислоты воздуха. Некоторые растения, — говорит он, — по видимому, получают углерод главным образом из этого источника, но вообще по его предположению углерод берется корнями из почвы. Масла являются хорошим удобрением благодаря содержащемуся в них углероду и водороду. Сажа ценна потому, что содержащийся в ней углерод «находится в таком состоянии, что может под влиянием кислорода и воды раствориться». Известь полезна тем, что растворяет твердые растительные вещества. Раз органическое вещество растворилось, то нет никакого преимущества давать ему разлагаться дальше: гниющая

<sup>1</sup> Так Charles Lamb в *Essays of Elia* (1820—1823) в книге «Old and new Master» пишет: «От современного учителя требуется, чтобы он понемногу знал обо всем, потому что от его ученика требуется, чтобы он не был невеждой ни в чем. Он должен знать кое-что о пневматике, о химии, о качестве почвы и т. д.»

моча—менее полезна как удобрение, чем свежая, поэтому совершенно неправильно подвергать навоз брожению перед вывозкой его в поле. Мысли эти никогда не были подтверждены опытом и давно уже всеми оставлены. Возникает даже вопрос, могли ли бы эти теории продержаться так долго, если бы Дэви не пользовался столь высокой репутацией. Его настоятельные указания на большое значение физических свойств почвы, в отношении ее к теплу и влажности, оказались более удачными, и они положили начало физике почвы, значительно развитой впоследствии Шюблером (1838). На континенте даже в большей степени, чем в Англии, поддерживалось мнение, будто растения берут углерод и другие питательные вещества из перегной почвы—взгляд, поддерживавшийся и высоким авторитетом Берцелиуса<sup>1</sup>.

**Начало научного земледелия.** До сих пор опыты производились или в лабораториях или в маленьких сосудах. Но около 1834 г. Буссенго, известный уже как предприимчивый путешественник по Южной Америке, начал производить ряд опытов на полях своей фермы Бешельбронн в Эльзасе. Это были первые опыты подобного рода, и, таким образом, Буссенго принадлежит честь введения метода, с помощью которого предстояло развиваться новому научному земледелию. Он возобновил количественные методы де-Соссюра, взвешивал, анализировал применяемое удобрение и полученные урожаи и в конце севооборота подводил баланс, показывающий, насколько удобрение удовлетворило потребности культур и какое влияние оказали другие источники питательных веществ—воздух, осадки и почва. Результаты этих опытов приведены в таблице 1. В конце севооборота почва вернулась к первоначальному состоянию плодородия, из чего следовало, что сухое вещество, углерод, водород и кислород, не учтенные в навозе, могли попасть в растения только из воздуха и дождевой воды, а не из почвы. С другой стороны, с навозом было дано больше минеральных веществ, чем было взято урожаем, разница же осталась в почве; при равенстве всех остальных условий он считал, что лучшим плодосменом является такой, который даст наибольшее количество органического вещества сверх того, что имелось в навозе. Было исследовано не менее пяти севооборотов; достаточно рассмотреть баланс по азоту, чтобы убедиться в том, что значительный прирост его в урожае наблюдался в этих севооборотах, а отнюдь не там, где выращивалась только пшеница (табл. 2).

Таким образом, севооборот не обеднял почву, откуда Буссенго заключил, что «азот может прямо поступать в организм растений, если их зеленые части способны его закрепить»<sup>2</sup>. Работы

<sup>1</sup> I. J. Berzelius. Lehrbuch d. Chemie, перевод E. Wöhler. 3 Aufl. Bd. 8, 1839.

<sup>2</sup> «L'azote peut entrer directement dans l'organisme des plantes, si leur parties vertes sont aptes à le fixer».



Таблица 1

Статика одного севооборота.

Буссенго (1841)

|                                                                        | Вес (в килограммах на гектар) |           |         |           |        |                      |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|---------|-----------|--------|----------------------|
|                                                                        | Сухое вещество                | Углерод   | Водород | Кислород  | Азот   | Минеральные вещества |
| 1. Свекла . . . . .                                                    | 3 172                         | 1 357,7   | 184,0   | 1 376,7   | 53,9   | 199,8                |
| 2. Пшеница . . . . .                                                   | 3 006                         | 1 431,6   | 164,4   | 1 214,9   | 31,3   | 163,8                |
| 3. Клеверное сено . . . . .                                            | 4 029                         | 1 909,7   | 201,5   | 1 523,0   | 84,6   | 310,2                |
| 4. Пшеница . . . . .                                                   | 4 208                         | 2 004,2   | 230,0   | 1 700,7   | 43,8   | 229,3                |
| 5. Турнепс (пожнив-<br>ной) . . . . .                                  | 716                           | 307,2     | 39,3    | 302,9     | 12,2   | 54,4                 |
| 6. Овес . . . . .                                                      | 2 347                         | 1 182,3   | 137,3   | 890,9     | 28,4   | 108,0                |
| Всего за сево-<br>оборот . . . . .                                     | 17 478                        | 8 192,7   | 956,5   | 7 009,0   | 254,2  | 1 065,5              |
| Внесено в навозе . . . . .                                             | 10 161                        | 3 637,6   | 426,8   | 2 621,5   | 203,2  | 3 271,9              |
| Разница неучтенная,<br>взятая из воздуха,<br>дождя или почвы . . . . . | + 7 317                       | + 4 555,1 | + 529,7 | + 4 387,5 | + 51,0 | - 2 206,4            |

Буссенго охватывают все области земледелия, касаясь химического состава растений в разные фазы их роста, почв и проблем питания животных. К сожалению, классическая ферма Бешель-бронн не сохранила своего значения центральной сельскохозяйственной исследовательской лаборатории, и опыты на ней прекратились. Часть произведенных на ней работ была подытожена в замечательном трактате Дюма и Буссенго (1841), который остался каким-то образом незамеченным агрохимиками своего времени.

В течение этого периода (1830—1840) Карл Штрентель (1832) изучал вещества, входящие в состав золы растения, которые, по его предположению, могли оказаться существенными для питания растений; Шюблер (1838) работал над изучением физических свойств почвы; немало производилось в этот период и других работ. Но никаких особенно важных открытий сделано не было, не происходило никаких особенных споров и разногласий, и данный предмет не возбуждал ни в ком особенного интереса.

Все это изменилось в 1840 г., когда, подобно удару грома, разразился над ученым миром знаменитый доклад Либиха Британской ассоциации<sup>1</sup> о состоянии органической химии, опубли-

<sup>1</sup> Никаких следов, был ли этот доклад когда либо представлен Ассоциации, не сохранилось.



Таблица 2

Баланс азота в различных севооборотах.

Буссенго (1841)

| Севооборот                                                                                              | Килограммов на гектар |                   |                                                        |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                                         | Азота<br>в навозе     | Азота<br>в урожае | Избыток в урожае<br>сверх доставленного<br>в Удобрении |                   |
|                                                                                                         |                       |                   | на севообо-<br>рот                                     | за год            |
| 1) Картофель, 2) пшеница, 3) клевер,<br>4) пшеница, турнепс <sup>1</sup> , 5) овес . . .                | 203,2                 | 250,7             | 47,5                                                   | 9,5               |
| 1) Свекла, 2) пшеница, 3) клевер,<br>4) пшеница, 5) турнепс, 6) овес . . .                              | 203,2                 | 254,2             | 51,0                                                   | 10,2              |
| 1) Картофель, 2) пшеница, 3) клевер,<br>4) пшеница, турнепс <sup>1</sup> 5) горох,<br>6) рожь . . . . . | 243,8                 | 353,6             | 109,8                                                  | 18,3              |
| Земляная груша, два года . . . . .                                                                      | 188,2                 | 274,2             | 86,0                                                   | 43,0 <sup>2</sup> |
| 1) Унавоженный пар, 2) пшеница,<br>3) пшеница . . . . .                                                 | 82,8                  | 87,4              | 4,6                                                    | 1,5               |
| Люцерна, пять лет . . . . .                                                                             | 224,0                 | 1 078,0           | 854,0                                                  | 170,8             |

кованный впоследствии под названием «Химия в ее применении к земледелию и физиологии» (1840). С тонким сарказмом высмеивает он физиологов своего времени, которые, вопреки накопив-

<sup>1</sup> Познанный, т. е. взятый осенью после пшеницы.

<sup>2</sup> Это растение не принадлежит к бобовым, но возможно, что азот извлечен из почвы за счет ее обеднения.

Примечание переводчика. Избыток азота, взятого урожаями из почвы за севооборот, по сравнению с внесенным в удобрении, повидимому, не всегда может быть отнесен на обеднение почвы, т. е. на уменьшение в ней содержания азота. Обычно, даже при самом интенсивном удобрении, при котором нельзя предполагать истощения почвы, последняя бывает способной систематически возмещать значительную разницу между азотом, вынесенным урожаями и данным в удобрении, даже без участия бобовых в севообороте. Так, например, на опытном поле в Lauchstädt в Германии при севообороте—свекла сахарная, ячмень, картофель, пшеница—при удобрении одним навозом (по 20 т под свеклу и картофель) вынос азота урожаями в среднем за 7 лет составлял 91 кг/га в год, а вносилось с навозом 74 кг/га: почва возмещала разницу в 17 кг/га в год. Даже при совместном удобрении навозом и полным минеральным удобрением, когда за 4 года севооборота давалось в общем 456 кг/га, или 114 кг/га в год, вынос урожаями составлял в среднем 129 кг/га N в год, т. е. и здесь почва возмещала из своих запасов разницу в 15 кг/га в год (Шнейдевинд, «Питание с.-х. растений», Сельхозгиз, 1933 г., стр. 193). Повидимому, весь объем фиксации азота в почве еще недостаточно известен.

шимся очевидным данным, продолжают придерживаться взгляда, будто растения берут углерод из почвы, а не из углекислоты, содержащейся в воздухе. «Все объяснения химиков должны остаться бесплодными и бесполезными потому, что даже для ведущих представителей физиологии углекислота, аммиак, кислород и основания являются пустыми звуками, словами, лишеными всякого смысла, терминами чужого языка, которые не вызывают ни мыслей, ни представлений». Опыты, на которые ссылаются физиологи в оправдание своих идей, «не имеют никакой ценности для разрешения каких бы то ни было вопросов». «Они считают эти опыты достаточно убедительным доказательством, тогда как они вызывают только жалость». Высмеивания физиологов Либихом сделали то, чего не могла сделать логика де-Соссюра и Буссенго: Либих окончательно разбил существовавшую теорию перегноя. Только самые смелые решились бы после этого утверждать, что растения берут нужный им углерод не из углекислоты, а из другого источника. Однако, нужно признаться, у нас нет доказательств того, что растения получают все нужное им количество углерода именно этим путем: 30 лет спустя Грандо (1872) привел доводы, доказывающие, что перегной может отчасти способствовать доставлению растениям углерода, и его мнение было до некоторой степени признано во Франции<sup>1</sup>.

Хотя и этому положению недостает еще убедительных доказательств, но в то время углекислота была признана единственным источником углерода для растений. Водород и кислород получают ими из воды, а азот—из аммиака. Совершенно необходимыми были признаны некоторые минеральные вещества; щелочи нужны для нейтрализации кислот, вырабатываемых растениями при происходящих в них физиологических процессах; фосфаты необходимы для образования семян, а калийные силикаты—для развития трав и злаков. Очевидность этого усматривалась в составе золы. Растения могут поглощать все, что находится в почве в растворенном состоянии, но они потом выбрасывают через корни все вещества, не являющиеся для них существенными. Самый факт присутствия какого-либо вещества в растении считался уже достаточно убедительным доказательством его необходимости.

Растения, говорит Либих, имеют неисчерпаемый источник углекислоты в воздухе. Если углекислота содержится и в почве, то благодаря этому на ранней стадии развития достигается значительная экономия во времени, так как углекислота поглощается корнями растения, получающими таким образом добавочное количество питательных веществ сверх того, что берется небольшими еще листьями. Отсюда вытекает преимущество перегноя

<sup>1</sup> См., например, L. Cailletet (Compt. Rend., 1911, 152, 1215—1217), Jules Lefevre (Compt. Rend., 1905, 141, 211—213) и J. Laurent. Rev. gén. bot. 1904, 16, 14.

постоянно доставляющего углекислоту. Далее углекислота реагирует с щелочными компонентами почвы и растворяет часть их, усиливая этим снабжение минеральными питательными веществами. Главной функцией перегноя является образование углекислоты.

Щелочные компоненты неодинаково растворимы. В почве происходит процесс выветривания, которому помогают известкование и обработка почвы и благодаря которому сравнительно нерастворимые соединения разлагаются и переходят в более растворимое состояние. Соединения эти растворяются окончательно под влиянием угольной кислоты, выделяемой корнями растений. После этого уже вполне растворенные вещества проникают в корни.

Азот берется в виде аммиака, который может поступать из почвы, из внесенного навоза или из воздуха. Для того, чтобы почва сохраняла плодородие, необходимо и достаточно возвращать ей те минеральные вещества и азот, которые из нее были извлечены. Если произвести достаточное количество анализов с.-х. растений, то можно составить таблицы, точно показывающие земледельцу, какие вещества он должен вносить в почву в каждом отдельном случае.

На основании этого принципа Либихом было приготовлено искусственное удобрение, известное как патентованное удобрение Либиха, которое продавалось на рынке.

Книга Либиха имела целью привлечь внимание к затронутому им предмету, и она достигла своей цели: за короткое время вышло несколько изданий ее. С течением времени Либих продолжал развивать свои тезисы и придал им количественную форму. «Урожай,—говорит он,—понижается или повышается в точной пропорции с уменьшением или увеличением количества минеральных веществ, вносимых в почву с удобрением». Далее он делает следующее дополнение, получившее потом известность под именем «закона минимума»: «В случае недостатка или отсутствия одного необходимого элемента, при наличии всех остальных, почва становится бесплодной для всех тех растений, для жизни которых этот один элемент является необходимым».

Это и другие обобщения в третьем издании 1843 г. дали повод ко многим возражениям.

Либих много настаивал, и совершенно справедливо, на необходимости щелочей и фосфатов, и на него произвел такое сильное впечатление прирост азота в лугах, снабжавшихся только щелочами и фосфатами, а также постоянное плодородие некоторых полей в Виргинии и Венгрии и лугов Голландии, что он все больше и больше стал рассматривать атмосферу как источник азота для растений. Некоторые абзацы первого и второго изданий, в которых настаивалось на необходимости аммиачного удо-



брения, были изъяты из третьего и последующих изданий. «Если почва подходяща (suitable), если она содержит достаточно щелочей, фосфатов и сульфатов, то ничего больше не требуется. Растения будут извлекать нужный им аммиак из атмосферы так же, как они берут углекислоту», пишет он в «Farmer's Magazine»<sup>1</sup>. Анализ золы привел его к взгляду на турнепс, как на одно из растений, содержащее наименьшее количество фосфатов, а потому «требующее наименьших количеств их для своего развития». Этот и другие практические выводы были подхвачены и найдены ошибочными Лоозом и Гильбертом (1847), которые уже в течение нескольких лет производили вегетационные опыты. Лооз не обсуждает теорию саму по себе, но исследует выводы, сделанные самим Либихом, и находит их неверными. Либиха ждали еще новые неудачи: его патентованное удобрение после испытания на практике потерпело провал. Это была большая неудача, и во всяком случае в Англии создалось такое впечатление, по словам Филиппа Пьюзи, что «минеральная теория, слишком поспешно принятая Либихом, а именно, что урожай возрастает и падает прямо пропорционально количеству минеральных веществ, имеющих в почве, или увеличению и уменьшению количества этих веществ, вносимых с удобрением, потерпела от опытов Лооза смертельный удар».

И все же провал патентованного удобрения не был целиком следствием ошибочности теории, а только явился лишним доказательством многочисленных ловушек в данном предмете. Удобрение было составлено правильно в отношении содержавшихся в нем соединений калия и фосфатов (оно должно было бы, конечно, содержать и азотистые соединения), но оно было, к сожалению, сделано нерастворимым благодаря сплавлению с известью и фосфатом кальция с целью препятствовать слишком скорому вымыванию вносимых питательных веществ. Только после того, как Уэй в 1850 г. доказал, что почва осаждает растворимые соли аммония, калия и фосфатов, выяснилась бесполезность сплавления, и Либих (1851) увидел допущенную им ошибку.

Между тем в 1843 г. Лоозом и Гильбертом были начаты в Ротамстеде большие полевые опыты. Эти опыты проводились в том же общем направлении, как и начатые еще раньше Буссенго, но преимуществом их явилось то, что они продолжают до сих пор из года в год без перерыва с 1852 г., на той же самой почве без всяких изменений, за исключением некоторых второстепенных деталей. Накопленный массовый материал опытных данных теперь уже велик, и они начинают обрабатываться по современным статистическим методам. Некоторые выводы, однако, настолько очевидны, что их можно сделать на основании

<sup>1</sup> Farmer's Magazine, 1847, 16, 511. Хорошее резюме позиции Либиха дано в его Letters of Chemistry, 34-е письмо, 3-е издание, стр. 519, 1851.

простого обзора данных. Около 1855 г. были окончательно установлены следующие положения<sup>1</sup>.

1. Растения требуют фосфатов и щелочных солей, но состав золы не дает надежных указаний относительно требующихся количеств каждого элемента; так, например, турнепс требует большого количества фосфатов, хотя в его золе их содержится очень мало. Некоторые результаты таковы:

Состав золы (урожай 1860 г.)  
в процентах

Урожай турнепса (1843 г.)  
тонн<sub>4</sub> на акр

K<sub>2</sub>O . . . . . 44,8  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> . . . . . 7,9

Без удобрения . . . . . 4,5  
Суперфосфат : . . . . . 12,8  
Суперфосфат и соли калия . . 11,9

2. Небобовые растения требуют некоторого количества азотистых соединений, причем нитраты и соли аммония для этого почти одинаково хороши. Без надлежащего снабжения ими не получается никакого усиления роста даже при внесении составных частей золы. Количество аммиака, получаемого из воздуха, для растений недостаточно. Бобовые вели себя ненормально.

3. Плодородие почвы может поддерживаться по крайней мере в течение нескольких лет посредством искусственных удобрений.

4. Благоприятное действие оставления земли под паром заключается в вызываемом этим увеличении усвояемых азотистых соединений в почве.

Хотя впоследствии многие положения Либиха оказались ошибочными, но главные основания его теории, высказанные им впервые, удержались. Значение этой теории не умаляется тем, что де-Соссюр опубликовал раньше сходные, но менее определенные положения о питании растений: Либих связал все в одно целое и заставил людей пересмотреть свои излюбленные, но не проверенные убеждения. Значение импульса, данного Либихом, едва ли можно переоценить, и еще при жизни его были установлены основные факты питания растений и намечены пути, по которым должно было развиваться на научной основе удобрение. Водные культуры Кнопа и других ботаников-физиологов окончательно доказали, что калий, магний, кальций, железо и фосфор, наряду с серой, углеродом, азотом, водородом и кислородом, — все необходимы для жизни растения. Этот список отличается от списка Либиха только тем, что было добавлено железо и устранен кремний, но даже и кремний действует благоприятно на злаки, хотя и не является абсолютно необходимым.

Тем не менее разногласия продолжались в двух направлениях в течение многих лет. Сельские хозяева долго не верили

<sup>1</sup> Труды Lawes и Gilbert собраны в 10 томах Rothamsted Memoirs, и общие результаты их опытов суммированы Hall'ом, в The Book of the Rothamsted Experiments.

в то, чтобы «химические удобрения» могли оказывать иное действие помимо стимулирования роста растений, и заявляли, что они должны в результате истощать почву. Опыты на участках Ротамстеда опровергли эти предсказания: удобряемые из года в год одними и теми же веществами и всегда засеваемые одними и теми же растениями эти участки даже теперь, после 80 лет химического удобрения, продолжают давать хорошие урожаи, хотя иногда здесь и замешивались вторичные влияния. Во Франции распространителем этих идей был Жорж Вильль (1879), который читал лекции на опытной ферме в Венсенне в 1867 г. и 1874—1875 гг. Он пошел даже дальше, чем Лооз и Гильберт, и утверждал, что искусственные удобрения не только более выгодны, чем навоз, но являются единственным средством для поддержания плодородия. Рекомендую для удобрения смеси солей, он руководствовался не анализом золы, а полевыми опытами. Посредством опытов было найдено, что для каждого растения была более необходимой, чем остальные, какая либо одна из четырех составных частей: азотистые соединения, фосфаты, известь и соединения калия (он не считал нужным прибавлять к своим удобрениям что-либо другое), и поэтому эта составная часть была названа им «доминирующей». Так для пшеницы он получил нижеприведенные результаты и заключил, что на его почве пшеница требовала больше всего азота, меньше фосфатов и еще меньше калия.

|                                 | Урожай на<br>акр в бушелях | То же, на гек-<br>тар в центне-<br>рах |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| Нормальное удобрение . . . . .  | 43                         | 28,8                                   |
| Удобрение без извести . . . . . | 41                         | 27,4                                   |
| » калия . . . . .               | 31                         | 20,4                                   |
| » фосфатов . . . . .            | 26 $\frac{1}{2}$           | 17,8                                   |
| » азота . . . . .               | 14                         | 9,4                                    |
| Неудобренная почва . . . . .    | 12                         | 8,05                                   |

Другие подобного же рода опыты показали, что азот был доминирующим для всех злаков и свеклы, калий—для картофеля и винограда, фосфаты—для сахарного тростника. Некоторый избыток доминирующего вещества всегда прибавлялся к удобрению, вносимому под данное растение. Нужно принимать во внимание также и состав почвы, но анализ почвы не годился для этой цели. Вместо этого Жорж Вильль составил простую схему полевых опытов, чтобы дать возможность самим сельским хозяевам определять, какого именно питательного вещества не хватает в их почве. Таким образом, его метод был по существу чисто эмпирическим, но он до сих пор остается лучшим из всех, какие у нас имеются; его мнение, что химические удобрения всегда лучше и дешевле навоза, является, однако, слишком узким и не удержалось.



Второе разногласие касалось источника азота в растениях. Пристли (Priestley) установил, что растение *Epilobium hirsutum*, помещенное в небольшом сосуде, поглотило в течение месяца  $\frac{7}{8}$  находящегося там воздуха. Де-Соссюр, однако, отрицал ассимиляцию растениями газообразного азота. Опытами в сосудах Буссенго доказал (1838), что горох и клевер могут извлекать азот из воздуха, тогда как пшеница лишена этой возможности, и его опыты с севооборотами подчеркнули это различие.

Либих, как мы видели, утверждал, что растениями берется аммиак, но не газообразный азот, и взгляд этот был подтвержден Лоозом, Гильбертом и Пу (Pugh) (1861) посредством наиболее строгих доказательств, какие только были когда-либо испытываны. Растения различных видов и семейств, включая бобовые, выращивались в среде, свободной от аммиака или какого-либо другого азотистого соединения. Землю прокаливали, чтобы устранить всякие следы азотистых соединений, причем растения в продолжение всего опыта держались под стеклянными колпаками, но снабжались промытым и очищенным воздухом и чистой водой. Несмотря на то, что им в избытке доставлялась минеральная пища, растения чахли и прекращали свою жизнь: неопровержимым казался вывод, что растения не могут использовать газообразный азот. Для всех небобовых растений этот вывод совпадал с результатами полевых опытов. Но оставался невыясненным сильно смущавший факт: бобовые растения, не требуя азотистых удобрений, тем не менее содержали в себе большое количество азота и обогащали в значительной степени почву этим элементом. Откуда явился азот? Было найдено, что количество связанного азота, доставляемого дождем, слишком мало для того, чтобы объяснить это явление. В продолжение многих лет производились опыты, но вопрос оставался неразрешенным. Просматривая литературу<sup>1</sup> по этому вопросу, можно видеть, как близки были некоторые из более ранних исследователей к разгадке причины этой «тайны»; в частности, Лахман (1858) тщательно исследовал строение клубеньков, которые он связывал с питанием растения, и показал, что они содержат «vibrionenartige» организмы. Но его статья была напечатана в мало известном журнале и привлекла к себе мало внимания. В 1881 и 1882 гг. В. О. Атватер (W. O. Atwater) показал, что горох усваивал большие количества азота из воздуха, а позднее высказал мысль, что он (горох) мог «благоприятствовать деятельности азотофиксирующих организмов»<sup>2</sup>. Но он был слишком занят, чтобы проследить это глубже, и снова исследования в области агрономической химии приостановились вследствие отсутствия новых методов для новых открытий.

<sup>1</sup> Краткое изложение обширной литературы по этому вопросу дано у Löhnis, в Handbuch der Landw. Bakteriologie, стр. 646 и последующие.

<sup>2</sup> Amer Chem. Journ., 1885, 6, 365 и 8, стр. 327.

## Начало почвенной бактериологии

У старых агрохимиков существовала поговорка: «гниение—мать растительности». Давно было известно, что при разложении животных и растительных веществ образуются нитраты; действительно, селитряные кучи, приготовлявшиеся из гниющих материалов, служили общепризнанным источником нитратов для производства пороха во время европейских войн XVII и XVIII веков<sup>1</sup>. Для объяснения этого процесса не было представлено никаких удовлетворительных теорий, несмотря на то, что обсуждение соперничающих гипотез продолжалось до 1860 г., хотя условия, при которых этот процесс происходил, были известны и в общем очень точно описаны.

Сначала не было замечено никакой связи между образованием нитратов и производительностью почвы. Считая аммиак основной азотистой пищей растений, Либих (1855) скорее отвлекал внимание от возможности проследить эту связь, кажущуюся теперь совершенно очевидной, хотя он и допускал возможность пригодности нитратов. Уэй подошел гораздо ближе к истине. В 1856 г. он доказал, что нитраты образовывались в почвах, в которые вносились азотистые удобрения. К сожалению, он не сумел реализовать значение этого открытия. Им все еще владела мысль, что именно аммиак необходим для растения, и он был убежден, что аммиак, в противоположность другим азотистым соединениям, не мог превращаться в почве в нитраты, а поглощался почвой путем тех изменений, которые он описал раньше. Все же он был уже крайне близок к тому, чтобы сделать важный шаг вперед в этой области, так как, указав на сходство нитратов как удобрения с солями аммония, он пишет: «Действительно французские химики идут далее и некоторые из них уже защищают взгляд, что растения используют азотистые соединения именно в форме азотной кислоты. Я сейчас с этим мнением не согласен: достаточно допустить, что азотная кислота в форме нитратов имеет по крайней мере очень высокую ценность как удобрение».

Только через десять лет в результате работы ботаников-физиологов восторжествовало мнение французских исследователей над мнением Либиха, и исследователи-агрономы признали значение нитратов для растений и нитрификации для плодородия почвы. После этого оставалось необходимым только открыть причины нитрификации.

В течение 60-х и 70-х годов были сделаны большие успехи в бактериологии, и было окончательно установлено, что бактерии вызывают гниение, разложение и другие изменения. Поэтому

<sup>1</sup> «Instructions sur l'établissement des nitrières, publiées par les Régisurs généraux des Poudres et Salpêtre», Paris, 1777.

стало допустимым признать, что они были активными агентами в почве и что процесс разложения, происходящий в ней, не был чисто химическим «*eumetacausis*», как утверждал Либих. Сам Пастер высказывал мнение, что нитрификация является бактериальным процессом. Новые открытия были впервые применены в области с.-х. вопросов Шлезингом и Мюнцем (1877) при изучении очистки канализационных вод посредством земляных фильтров. Непрерывная струя сточной воды пропусклась через колонну, наполненную песком и известняком, так медленно, что ей потребовалось для прохождения 8 дней. В течение 20 дней аммиак в воде оставался неизменным, затем он начал превращаться в нитраты, в конце концов весь аммиак в продолжение просачивания через колонну песка превращался в нитраты, и в вытекающей жидкости оказывались одни нитраты. Исследователи поставили себе вопрос: почему нитрификация началась только через 20 дней? Если бы процесс был просто химическим, то окисление могло начаться сразу. Поэтому они исследовали возможность деятельности бактерий и нашли, что процесс совершенно останавливался небольшим количеством паров хлороформа, но мог быть снова возобновлен, после удаления хлороформа, посредством внесения небольшого количества мутного экстракта из сухой земли. Таким образом было доказано, что нитрификация вызывается микроорганизмами—«организованными ферментами», по их собственному выражению.

Уорингтон (1878) занимался исследованием нитратов в почвах Ротамстеда и сразу применил новое открытие к почвенным процессам. Он показал, что нитрификация в почве останавливается хлороформом и сероуглеродом; далее, что растворы солей аммония могут быть нитрифицированы внесением следов почвы. Рядом тщательных опытов, описанных им в его четырех докладах Химическому обществу, он показал, что процесс состоял из двух стадий и в нем участвовали организмы двух различных видов: аммиак сначала превращается в нитриты, а потом в нитраты. Ему, однако, не удалось найти эти организмы, несмотря на изучение данного предмета в течение нескольких лет, при помощи метода желатиновой пластинки, бывшего тогда в ходу. Причина этого была найдена позднее: эти организмы не развиваются в присутствии азотистого органического вещества. Только в 1890 г. удался Виноградскому (1890) изолировать их и, таким образом, завершить доказательство.

Уорингтон окончательно установил тот факт, что азотистые соединения быстро превращаются в почве в нитраты, так что, какое бы соединение ни вносилось в виде удобрения, растения фактически получают в пищу только нитраты. Этим завершился долгий спор относительно азотистой пищи небобовых растений; в естественном состоянии они берут только нитраты (или во всяком случае преимущественно), потому что деятельность нитрифи-



цирующих организмов не оставляет им выбора. Предположение, что растения ассимилируют газообразный азот, время от времени снова возрождалось<sup>1</sup>, но не получало общего признания.

Казавшейся безнадежной проблеме азотистого питания бобовых растений скоро предстояло быть разрешенной. В разительной наглядной серии песчаных культур Hellriegel и Wilfarth (1880) показали, что рост небобовых растений—ячменя, овса и др.—был прямо пропорционален количеству вносимого азота, и повторные сосуды давали удовлетворительное совпадение, тогда как у бобовых растений не было замечено никакого сходства в этом отношении, и повторные сосуды отказывались давать совпадения. По прошествии стадии проростков бобовые растения, выращиваемые без нитратов, на время прекращали свой рост, но затем некоторые из них начинали расти хорошо, тогда как другие погибали. Этот период зстоя не наблюдался там, где вносились нитраты. Два из этих опытов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Отношение между снабжением азотом и ростом растений.  
Гельригель и Вильфарт (1888)

| В г р а м м а х                                          |                           |                              |                              |         |                      |         |
|----------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|---------|----------------------|---------|
| Внесено азота в нитрате калция на сосуд . . . . .        | 0                         | 0,056                        | 0,112                        | 0,168   | 0,224                | 0,336   |
| Вес полученного урожая овса (зерно и солома) . . . . .   | 0,3605                    | { 5,9024<br>5,8510<br>5,2867 | { 10,9814<br>10,9413         | 15,9974 | { 21,2732<br>21,4409 | 30,1750 |
| Вес полученного урожая гороха (зерно и солома) . . . . . | { 0,551<br>3,496<br>5,233 | { 0,9776<br>1,3037<br>4,1283 | { 4,9146<br>9,7671<br>8,4969 | 5,6185  | { 9,7252<br>6,6458   | 11,3520 |

Анализ показал, что количество азота, содержащегося в урожае овса и в песке, в конце опыта всегда было несколько меньше, чем количество, внесенное в начале, но было явным образом выше в опытах с горохом; прирост доходил в трех случаях соответственно до 0,910; 1,242 и 0,789 г на сосуд. Указанные исследователи вывели два заключения: 1) горох брал азот из воздуха; 2) процесс ассимиляции азота обуславливался каким-то факто-

<sup>1</sup> Например, Th. Pfeiffer und E. Franke, Landw. Versuchs-Stat., 1896. 46, 117, Thos. Jamieson, Aberdeen Research Assoc. Repts, 1905—1908. C. B. Lipman and I. K. Taylor, Journ. Franklin Inst. Calif, 1924, 475—506.

ром, который попадался в их опытах только случайно. Стремясь формулировать объяснение этому, они объединили два уже известных факта. Бертелло (1885) произвел опыты с целью показать, что некоторые микроорганизмы почвы могут ассимилировать газообразный азот. Ботаникам было известно, что клубеньки на корнях бобовых содержат в себе бактерии<sup>1</sup>. Поэтому Гельригель и Вильфарт предположили, что бактерии в клубеньках корней ассимилировали газообразный азот и потом отдавали растению некоторую часть образующихся азотистых соединений. Что гипотеза была хорошо обоснована, доказывали следующие факты.

1. В отсутствии нитратов горох рос слабо и не развивал на корнях клубеньков в стерилизованном песке; когда же вносился нитрат кальция, он начинал расти так же, как овес и ячмень, давая регулярное увеличение урожая при каждом повышении дозы нитратов (расходящиеся с этим результаты опытов, указанных в таблице 3, были получены в песке нестерилизованном).

2. Горох хорошо рос и развивал клубеньки на корнях в стерилизованном песке, увлажненном экстрактом пахотной почвы.

3. Горох иногда рос хорошо, а иногда погибал при выращивании его без экстракта почвы и без нитратов на нестерильном песке, в котором могли находиться, но могли и отсутствовать необходимые бактерии. Экстракт, хорошо действующий на горох, может не оказывать действия на люпин и сераделлу. Другими словами, организмы обладают специфическими свойствами.

Гельригель и Вильфарт прочли свой доклад и выставили некоторые из своих растений на собрании естествоиспытателей в Берлине в 1886 г. Гильберт присутствовал на собрании и, вернувшись в Ротамстед, повторил и подтвердил их опыты. Позднее Нилезинг-сын и Лоран (1892) показали, что вес азота, поглощаемого из воздуха, приблизительно равен приросту его в растении и почве и, таким образом, окончательно закрепили очевидность данного положения.

|                                                     | Контроль | Горох | Горчица | Кресс-салат | Молочай |
|-----------------------------------------------------|----------|-------|---------|-------------|---------|
| Азот, утраченный из воздуха (в мг) . . . . .        | 1,0      | 134,6 | — 2,6   | — 3,8       | — 2,4   |
| Прирост азота в растении и в песке (в мг) . . . . . | 4,0      | 142,4 | — 2,5   | 2,0         | 3,2     |

Организмы были изолированы Бейеринком и названы *Bacillus radiclecola*.

<sup>1</sup> Это было доказано Лахманом (1858) (стр. 21) и Ворониным (1866). Эрикссон в 1874 г. (Докторская диссертация в Botan. Ztg, 1874, 32, 381—384) продолжил эти исследования, тогда как Брунхорст в 1885 г. назвал эти бактерии «бактериодами» (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 111, 241—257).

Так был кончен второй большой спор и выяснены расхождения между полевыми опытами и лабораторными экспериментами Лооза, Гильберта и Пу (Pugh). Лабораторные опыты привели к правильному заключению, что бобовые растения, подобно небобовым, не обладают сами способностью ассимилировать газообразный азот; эта способность принадлежит бактериям, живущим на них; но всякое органическое вещество так тщательно удалялось из почвы, аппарата и воздуха с целью устранить даже всякие следы аммиака, что не было никакой возможности заражения растений необходимыми бактериями, поэтому не могло происходить и никакой ассимиляции. В полевых же опытах бактерии были активны, и там получался прирост азота.

Общее заключение, что бактерии действительно готовят в почве пищу для растений и являются, следовательно, необходимыми для роста растений, поддерживалось Вольни (1884) и Бертелло (1888). Предполагалось, что это было доказано опытами Лорана (1886)<sup>1</sup>. Он выращивал гречиху на гумусе, полученном из хорошо перепревшего навоза, и нашел, что растения росли хорошо на необработанном гумусе, но плохо на стерилизованном посредством нагревания. Когда, однако, в стерилизованный гумус были внесены почвенные бактерии (посредством экстракта нестерилизованной почвы), начался хороший рост. Опыт кажется убедительным, но в действительности необоснован. При нагревании богатой почвы в ней образуются некоторые ядовитые для растений вещества. Неудачное выращивание растений на стерилизованном гумусе было поэтому не следствием отсутствия бактерий, а следствием присутствия токсинов. Никому еще не удавалось произвести основного опыта на двух почвах, которые бы отличались друг от друга только тем, что в одной были бы бактерии, а в другой нет. Подобным же образом Карон (Caron)<sup>2</sup> думал, что имеет прямое доказательство благоприятного действия бактерий на рост растений, а в действительности доказательство это неудовлетворительно.

Тесная связь между деятельностью бактерий и питанием растений, однако, полностью подтверждена многими опытами и составляет значительную часть нашего современного представления о почве, как это будет видно в следующих главах.

### **Возникновение современных знаний о почве: поиски новых факторов и математических выражений**

Дальнейшее исследование почвенных проблем показало, что они более сложны, чем это предполагалось вначале. Прежние ученые представляли себе плодородие почвы как простую химическую проблему; первые бактериологи считали ее бактериологи-

<sup>1</sup> См. также E. Duclaux. *Compt. Rend.*, 1885, 100, 66.

<sup>2</sup> *Landw. Versuchs-Stat.*, 1895, 45, 401—418.



ческой проблемой. Кинг (1889) в Висконсине подчеркивал, что физические свойства должны быть также приняты в расчет. Ван-Беммелен показал, что почва обладает коллоидальными свойствами, а ученые настоящего времени наблюдали в почве много явлений, исследованных в лабораториях, посвященных изучению коллоидов. Уитни (Whitney) и Камерон в Вашингтоне значительно расширили данную область, открыв значение раствора почвы и введя методы и принципы физической химии. Рассель и Хэтчинсон в Ротамстеде показали, что работой только бактерий нельзя объяснить всех биологических явлений, происходящих в почве, но что дело идет тут и о других организмах, и последующая работа в ротамстедских лабораториях выявила присутствие в почве сложного населения, разнородные представители которого воздействуют друг на друга и на растущее растение. Все время делаются новые открытия на опытных станциях в США, Британской империи, в странах Европы и в Японии.

Происходят главным образом аналитическая работа и поиски новых факторов; синтезировать до сих пор едва лишь пытаются. По мере выявления факторов делаются попытки дать им математическую формулировку. Так закон минимума Либиха и «Ограничивающие факторы» Блэкмана (Blackman)<sup>1</sup> были математически сформулированы Митчерлихом (Mitscherlich); Блэкман выразил рост растений «законом сложных процентов». Maskell и ротамстедские работники дают более сложные выражения, современные же агрохимики имеют пристрастие к математическим формулам и константам, не известным прежним поколениям работников.

Эти попытки найти математические выражения встречают возражения по двум основаниям: одни предполагают, что явления, связанные с жизнью, ни в коем случае не могут быть выражены математически и что ничего, кроме кажущейся внешней согласованности, тут не может быть достигнуто; другие считают, что математическую формулу, если уж необходимо прибегать к ней, приходится составлять в таких общих выражениях, что она теряет всякое значение. Так, например, многие из явлений, происходящих в природе, могут быть выражены экспонентным уравнением, если выражения подобраны с достаточной находчивостью. Однако исследователь почвы должен быть достаточно благоразумным, чтобы обеспечить себя помощью всех, каких только возможно, средств, так как данный предмет очень сложен и выходит за границы деления науки на условные дисциплины.

На современных опытных станциях существует тенденция к коллективной комплексной работе. На Ротамстедской опытной станции, которую мы берем в качестве примера, так как она луч-

<sup>1</sup> Annals of Botany, 1919, 33, 353.

ше всего известна автору, вместо целого ряда изолированных индивидуальных исследователей существует коллектив научных работников, исследующих данный предмет каждый со своей специальной точки зрения, но каждый при этом полностью осведомлен о работе остальных и периодически ставит результаты своей работы на обсуждение. Отдельные работники исследуют соответственно бактерии, протозоя, грибы, водоросли, червей и насекомых, живущих в почве; кроме того специалисты по физической и органической химии исследуют почвенные условия, в то время как другие заняты изучением произрастающих растений. Коллектив научных работников может благодаря гармоническому сотрудничеству делать успехи, которых не может достичь отдельный работник, каким бы блестящим ученым он ни был.

Свойства предмета делают необходимыми дальнейшие отступления от обычных приемов. В чисто лабораторных исследованиях принято применять метод Бэкона (Baconian method), по которому в данное время изучается только один фактор, а все остальные факторы, кроме изучаемого, сохраняются в неизменном состоянии. Между тем при изучении почвы в естественных условиях невозможно действовать таким образом: климатические факторы нельзя удерживать в постоянном состоянии, и, как бы ни старались поддерживать одинаковые условия, всегда есть возможность, а иногда и уверенность, что изменяющийся исследуемый фактор сам подвергается влиянию климатических факторов и начинает оказывать косвенное действие, которое меняет или даже затушевывает прямые действия, которые желательно изучить.

В последние годы статистики разработали методы исследования для случаев, когда изменяются одновременно несколько факторов. Данные, полученные отдельными сотрудниками в Ротамстеде, исследуются затем статистиком, который старается расчленить действие различных факторов и установить некоторое количество вероятных взаимоотношений, которые могут быть далее изучены в лаборатории посредством обычного метода исследования одного фактора.

Современные методы, применяемые в Ротамстеде, включают три отдельных процесса.

1. Наблюдения и опыты на поле группы специалистов, работающих отдельно, но с полной осведомленностью относительно результатов работы других.

2. Исследование данных посредством современных статистических методов, для того чтобы установить вероятный эффект известных факторов и указать, где известных факторов недостаточно для объяснения полученных результатов и где поэтому нужно искать новые факторы.

3. Лабораторные исследования штатом специалистов соотношений, выявленных статистическим исследованием и приведенных к проблеме одного фактора.

## ГЛАВА II

### ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

На рост растений оказывают глубокое влияние следующие шесть почвенных факторов.

1. Снабжение водой.
2. Снабжение воздухом.
3. Температура.
4. Снабжение питательными веществами.
5. Разные вредные факторы.
6. Глубина почвы.

Влияние на растения может происходить в четырех различных направлениях: на темп роста, на характер или внешние формы (habit) роста, на состав в различные стадии и на количество полученного растительного вещества, или, по с.-х. терминологии, на урожай.

Из перечисленных факторов физиологами растений и агрономами наиболее полно исследовались вода, питательные вещества и разные вредные факторы; эти же факторы являются наиболее подчиняющимися контролю в сельском хозяйстве; методы этого контроля соединяются в искусство и науку управления почвой (Soil management). Другие факторы имеют одинаковую важность, и если они меньше изучались специалистами почвы, то главным образом потому, что снабжение корней воздухом и температура почвы тесно связаны с содержанием в почве воды.

Мы займемся сначала влиянием разных факторов на рост и состав растений и затем методами, которые были разработаны для количественного изучения отношений факторов к темпу роста и к урожаю.

#### Влияние снабжения водой<sup>1</sup>

Растения содержат во время роста обычно около 90% воды. С началом созревания они теряют большую часть ее. Однако потребляют воды растения гораздо больше, чем то количество, кото-

<sup>1</sup> Полное рассмотрение этого вопроса см. N. A. Maximov, *The Plant in Relation to Water*, изд. Allen and Unwin, London, 1929.



рое содержится в них. Через растения постоянно проходит ток воды от корней до листьев, где вода испаряется; этот ток связан охлаждением растений в жаркую погоду, с поддержанием тургора (благодаря которому мягкие стебли и листья остаются в стоячем положении) и—в менее ясной степени—с поступлением питательных веществ из почвы в растения.

### Эффект изменения снабжения водой на рост растений

#### *Регулируемое снабжение водой*

Отношение между ростом растений и снабжением водой показано было Гельригелем в его опытах в Dahme (1883, табл. 4) с ячменем, выращиваемым при благоприятных условиях в песчаных культурах.

Таблица 4

*Рост ячменя при разном снабжении водой.  
Гельригель (1883)*

| Количество воды (в % от полной влагоемкости песка) . . . . . | 5    | 10   | 20   | 30   | 40    | 60    | 80  |
|--------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-----|
| Сухое вещество в зерне (в г) . . . . .                       | 0    | 0,72 | 7,75 | 9,73 | 10,51 | 9,96  | 8,7 |
| Сухое вещество в соломе (в г) . . . . .                      | 0,12 | 1,80 | 5,50 | 8,20 | 9,64  | 11,00 | 9,4 |
| Вес 1 зерна (в мг) . . . . .                                 | —    | 23   | 35   | 36   | 34    | 32    | 32  |

Урожай как зерна, так и соломы возрастает по мере возрастания снабжения водой до известной точки, за пределами которой урожай снижается. Прирост соломы продолжается до более высокого предела снабжения водой, чем прирост зерна (рис. 1). Митчерлих находит, что указанная зависимость до точки оптимума может быть выражена его общим уравнением (стр. 120)<sup>1</sup>.

Подобные же результаты были получены в поле. Измерения Widtsøe на экспериментальной ферме Гринвиль, в штате Юта (1912) приведены в таблице 5: урожай возрастает с увеличением снабжения водой, причем соломы в большей степени, чем зерна.

<sup>1</sup> Reitrage zur Erforschung des bodenkundlichen Wachstumsfaktors Wasser Land u. Jahrb. 1917, 65, 437; подтверждается также К. Л. Чекаловым «Mitt. Abt. Ackerbau», Ленинград, 1930, № 28.

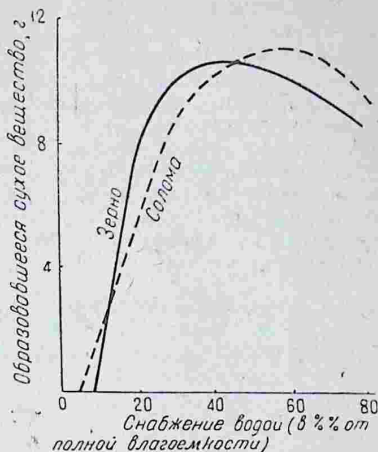


Рис. 1. Отношение между урожаем ячменя и снабжением водой (Гельригель, 1883).

Таблица 5

Урожай пшеницы с увеличением количества ирригационной воды на ферме Гринвиль, Юта. Widtsoe (1912)

|                                                                           |       |       |       |         |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------------|
| Ирригационная вода (в дюймах) . . . . .                                   | 5,0   | 7,5   | 15,0  | 25—30   | 40—60       |
| То же (в мм) . . . . .                                                    | 125   | 187   | 375   | 625—750 | 1 000—1 500 |
| Урожай пшеницы (в фунт/акр) . . . . .                                     | 4 969 | 5 545 | 6 279 | 6 672   | 7 999       |
| Зерно (% от общего веса) .                                                | 44,4  | 43,2  | 40,8  | 38,6    | 32,9        |
| Солома (% от общего веса) . . . . .                                       | 55,5  | 56,8  | 59,2  | 61,3    | 67,1        |
| Отношение зерно/солома .                                                  | 0,80  | 0,76  | 0,69  | 0,63    | 0,49        |
| Фунтов воды, доставленной на 1 фунт полученного сухого вещества . . . . . | 856   | 869   | 1 038 | 1 317   | 1 809       |

Осадки—13,74 дюйма (344 мм)

Снабжение водой в естественных условиях

Отношения между снабжением водой и ростом растений являются наиболее простыми в полужасушливых условиях, где темп роста главным образом определяется дождевыми осадками и почти пропорционален им. Метод исследования состоит в измерении ко-

личества воды в почве через регулярные интервалы времени в течение роста и в записи осадков; после этого составляется баланс показывающий снабжение водой в начале и в конце роста; разница дает количество воды, испаряемой растениями, плюс количество, потерянное через испарение и дренаж из почвы, если только последний имеет место. J. S. Cole и O. K. Matthews (1923) нашли, что в течение периода роста яровой пшеницы на Великой Равнине западных штатов в США известное количество воды испаряется из почвы безразлично от того—растет растение или нет. Но сверх этого количества добавочная вода, удаляемая из почвы через транспирацию, пропорциональна урожаю независимо от особенностей сезона; эти данные довольно хорошо соответствуют уравне-

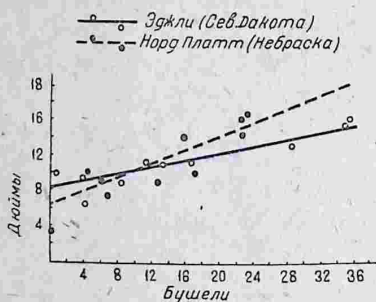


Рис. 2. Потери воды из почвы во время роста яровой пшеницы.

ниям линейной регрессии. Исключения обычно имеют место в случае какой-либо катастрофы, как, например, полосы жарких ветров, которые чрезвычайно сильно снижают урожай. Основное потребление воды колебалось на разных станциях от 4 дюймов (100 мм) на севере до 10 дюймов (250 мм) на юге; уклон кривой также изменялся; это постоянство соотношений является, по видимому, функцией окружающих климатических условий (рис. 2).

Из кривой ясно виден факт, что большие урожаи потребляют относительно меньше воды, чем малые, и всякие меры, способствующие повышению урожая, как, например, улучшение сортов, обработки или удобрения, способствуют лучшему использованию воды; таким образом, эффект их сходен с эффектом добавочных осадков. Кроме того определение уравнения регрессии для какой-либо отдельной станции дает возможность делать предсказания и о вероятном эффекте на урожай дополнительных осадков.

Во влажных условиях отношения между снабжением влагой и урожаем часто являются более сложными вследствие доминирующего влияния других факторов. Верхняя часть кривой Гельригеля (рис. 1) дает приблизительное представление об этом; дополнительное снабжение водой является иногда благоприятным, но иногда не оказывает эффекта и даже становится вредным. До настоя-



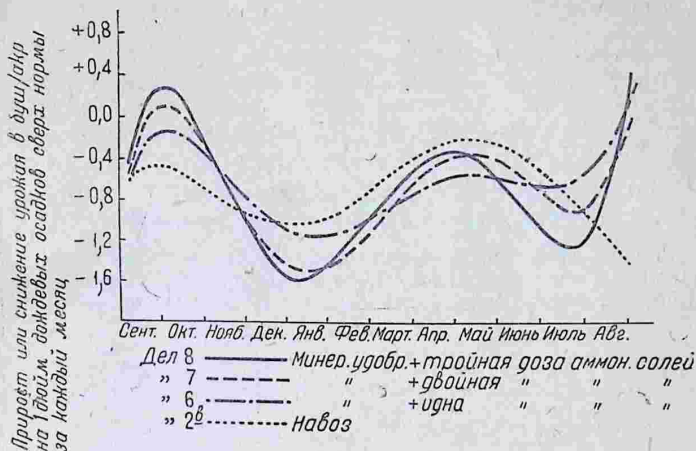


Рис. 3. Влияние дождевых осадков на урожай пшеницы, получавшей разные дозы азотных удобрений при постоянстве калийных и фосфатных. Поле Бродбюк, Ротамстед (Р. А. Фишер, 1924).

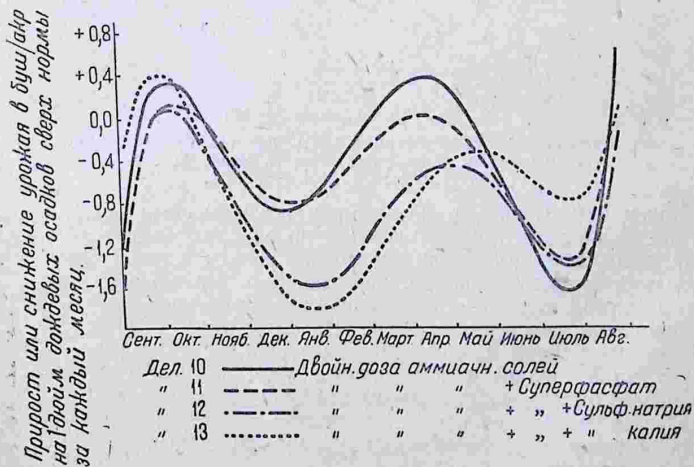


Рис. 4. Эффект дождевых осадков на урожай пшеницы, получавшей различные количества минеральных удобрений при постоянной дозе азота. Поле Бродбюк, Ротамстед (Р. А. Фишер, 1924).

щего времени не имеется достаточных данных, которые позволили бы детально изучить взаимоотношение между почвенной влагой и ростом растений, но Р. А. Фишер в Ротамстеде изучал эффект осадков на урожай пшеницы и показал, что он зависит от времени выпадения дождя и от снабжения растений питательными веществами почвы (рис. 3 и 4). Эти результаты более подробно будут рассмотрены ниже.

### КОЛИЧЕСТВО ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ РАСТЕНИЯМИ; ОТНОШЕНИЕ К ТЕМПУ РОСТА РАСТЕНИЙ

Тесная зависимость между темпом роста и количеством доставляемой воды показывает, что при равных условиях существует довольно однообразная зависимость между количеством воды, ис-

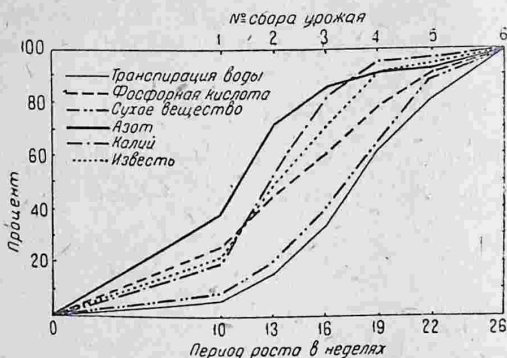


Рис. 5. Темп транспирации воды, поглощение питательных веществ и продукция сухого вещества ячменя (Ричардсон и Тромбль, 1928).

паряемой растением, и количеством образующегося сухого вещества. Эти отношения непостоянны, но они являются более тесными, чем отношения между испарением воды и потреблением питательных веществ из почвы; последний процесс протекает различным темпом для различных элементов. Эти точки хорошо иллюстрируются измерениями А. Э. В. Ричардсона и Н. С. Trumble (1928) на ячмене, в институте Вейта (Waite), в Аделаиде, приведенными в таблице 6 и на рисунке 5<sup>1</sup>. Азот поступает в корни наиболее быстро, следующим идет фосфорная кислота и затем калий и кальций; в общем же, количество образующегося сухого вещества более тесно связано с величиной транспирации, чем с этими элементами.

<sup>1</sup> Исследования над другими растениями см. А. Э. В. Ричардсон, Н. С. Trumble и Р. Э. Шаптер, C. S. I. R. Bull., Australia, № 49, 1931.

Количество воды, испаряемой на единицу образующегося сухого вещества, называется коэффициентом или отношением испаре-

Суммарные потери через испарения, количество полученного сухого вещества, площадь испаряющей поверхности и коэффициент испарения ячменя в разные периоды роста.

A. E. V. Richardson и Trumbl (1928)

| Сборы урожая  | Дата        | Испарение воды на каждый сбор (в кг) | Полученное сухое вещество (в г) |       | Испаряющая поверхность на сосуд (в см <sup>2</sup> ) | Коэффициент испарения |
|---------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------|------------------------------------------------------|-----------------------|
|               |             |                                      | наземная часть                  | корни |                                                      |                       |
| 1-й . . . . . | 19 июля     | 3,33                                 | 13,41                           | 4,36  | 7 507                                                | 248                   |
| 2-й . . . . . | 9 августа   | 7,58                                 | 33,21                           | 7,46  | 14 800                                               | 229                   |
| 3-й . . . . . | 30 »        | 15,11                                | 65,78                           | 11,01 | 14 022                                               | 230                   |
| 4-й . . . . . | 20 сентября | 27,28                                | 106,25                          | 12,76 | 6 637                                                | 257                   |
| 5-й . . . . . | 11 октября  | 38,98                                | 148,70                          | 11,79 | 5 938                                                | 262                   |
| 6-й . . . . . | 9 ноября    | 44,68                                | 165,53                          | 11,39 | 0                                                    | 270                   |

Ассимилированные питательные вещества, количество испаряемой воды и полученное сухое вещество в разные периоды роста личицы

[illegible]



ния (транспирации). Эти выражения представляют большое практическое удобство в засушливых районах и особенно при орошении. В исследованиях, однако, нужно помнить, что отношения испарения не являются постоянными. На количественное выражение их глубоко влияют окружающие условия, но вместе с этим коэффициенты испарения (транспирации) имеют тенденцию оставаться более низкими для одних растений и даже для некоторых сортов, чем для других. Поэтому они являются полезными также и для селекционеров, ищущих сорта, наиболее соответствующие засушливым условиям. К сожалению, неизвестно никаких корреляций между потребностью в воде и морфологическим характером различных сортов, так что селекционеру при его работах по селекции не остается иного руководства кроме прямых и притом кропотливых опытов<sup>1</sup>.

Лооз в 1850 г. выявил пределы испарения для разных сортов у разных культур и нашел, что для некоторых из них по меньшей мере коэффициент испарения понижался с увеличением снабжения пищей.

Более новые определения Бриттса и Шанца (табл. 7) охватывают более широкий ряд культур и позволяют сгруппировать их следующим образом.

1. Наиболее экономные: просо, кукуруза.
2. Менее экономные: ячмень, овес, картофель, горох.
3. Наименее экономные: люцерна, травы (злаковые), лен.

Опыты Н. Тулайкова (1929) в Безенчуке, Куйбышевского края, дают приблизительно такой же порядок:

1. Наиболее экономные: просо, кукуруза, овес, картофель, озимая пшеница.
2. Менее экономные: ячмень, овес, яровая пшеница, люцерна, подсолнечник.
3. Наименее экономные: лен, тыква, чечевица. Cicer\*.

Наиболее экономными растениями являются вообще имеющие короткий период вегетации, а наименее экономными—с вегетационным периодом более продолжительным.

Растения различаются также по времени, в течение которого они нуждаются в воде. Яровые злаки, например, нуждаются в ней особенно в первые недели своей жизни: если они не получают ее, то погибают. Озимые хлеба, с другой стороны, менее зависят от весенних осадков, так же как и некоторые кормовые культуры.

<sup>1</sup> По изучению «засухоустойчивости» растений см. Н. А. Максимов, «The Plant in Relation to Water», гл. 12 и F. M. Haines, *Annales of Botany*, 1928, 42, 823.

\* Род гороха, *Cicer arictinum* (Chick—pea, Pois chiche). П р и м. п е р е в.

Таблица 7

Коэффициент испарения, т. е. вес воды, испаряемой в течение вегетационного периода на единицу веса сухого вещества. Бригге и Шанц (1912)

| Культуры             | Крайние величины для различных сортов | Средние величины для культур | Культуры                            | Крайние величины для различных сортов | Средние величины для культур |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Просо . . . . .      | 268—341                               | 293                          | Сахарная свекла . .                 | —                                     | 397                          |
| Просо (германское) . | 261—344                               | 310                          | Картофель . . . . .                 | —                                     | 636                          |
| Сорго . . . . .      | 285—467                               | 322                          | Коровий горох . . .                 | —                                     | 571                          |
| Кукуруза . . . . .   | 315—413                               | 368                          | Клевер . . . . .                    | 789—805                               | 797                          |
| Пшеница . . . . .    | 473—559                               | 513                          | Люцерна . . . . .                   | 651—963                               | 831                          |
| Ячмень . . . . .     | 502—556                               | 534                          | Травы . . . . .                     | —                                     | 861                          |
| Овес . . . . .       | 559—622                               | 597                          | Разные местные растения (сорняки) . | 277—1 076                             | —                            |
| Лен . . . . .        | —                                     | 905                          |                                     |                                       |                              |

#### ПОТРЕБНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ВОДЕ; ВЛИЯНИЕ ДРУГИХ ФАКТОРОВ

**Температура и осадки.** Для одного и того же сорта данной культуры количество воды, потребное для производства единицы веса сухого вещества, возрастает с температурой и снабжением водой; отношение к осадкам осложняется тем фактом, что высокие осадки, увеличивая потребление воды, могут в то же время понижать температуру, а последнее понижает количество потребной воды. В опытах Тулайкова в Безенчуке, близ Куйбышева, коэффициент испарения был низок во влажные годы и высок — в сухие<sup>1</sup>.

|                             | 1911 г.     | 1912 г. | 1913 г.       | 1914 г.            |
|-----------------------------|-------------|---------|---------------|--------------------|
| Характер года . . . . .     | Очень сухой | Средний | Очень влажный | Относительно сухой |
| Пшеница Полтавка . . . . .  | 628,4       | 444,5   | 338,6         | 387,6              |
| Пшеница Белотурка . . . . . | 576,3       | 475,9   | 316,5         | 397,1              |
| Овес Гигант . . . . .       | 655,1       | 510,3   | 347,4         | 369,9              |
| Ячмень Моравский . . . . .  | 617,9       | 461,6   | 230,3         | 413,3              |

<sup>1</sup> Журн. Опытной агрономии 1915, 16, 36, 37. Реферат в Int. Inst., Rome, Bull. Agric. Intell. and Plant Diseases, 1915, 6, 813. См. также «Потребность во влаге культурных растений», Саратов, 1921 г. и в Journ. Agric. Sci., 19. 9, 19, 1. Об эффекте света см. W. W. Garner, C. W. Bacon and H. A. Allard, Journ. Agric. Res. 1924, 27, 119—156.

**Снабжение пищей.** Увеличение снабжения пищей уменьшает потребность в воде. Это было показано для злаковых культур Зеельхорстом в Геттингене и для сахарной свеклы—в Бернбурге на станции, основанной в 1882 г. под руководством Гельригеля, специально для изучения этой культуры. Результаты вегетационных опытов Вильфарта<sup>1</sup> со снабжением различными количествами нитратов приводятся в таблице 8. В Виктории и южной Австралии Ричардсон (1923) нашел, что суперфосфат понижает потребность в воде луговых растений. Некоторые из результатов в штате Юта приводятся в таблице 9 и на рисунке 5.

Таблица 8

*Эффект различного снабжения пищей на потребность в воде сахарной свеклы. Вильфарт*

|                                                              |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Дозы внесенного азота (в г) . . . . .                        | 0,42   | 1,26   | 2,10   | 2,94   | 3,36   | 3,78   |
| Вес полученного сухого вещества (в г)                        | 23,0   | 73,9   | 96,5   | 132,4  | 167,6  | 189,8  |
| Испарившаяся вода (в г) . . . . .                            | 10 100 | 34 570 | 39 420 | 55 190 | 62 600 | 72 280 |
| В переводе на дюймы осадков . . . . .                        | 3,6    | 9,4    | 10,7   | 15,8   | 17,0   | 19,6   |
| То же (в мм) . . . . .                                       | 90     | 235    | 268    | 393    | 425    | 490    |
| Расход воды на 1 г образовавшегося сухого вещества . . . . . | 569    | 468    | 409    | 417    | 374    | 383    |

Таблица 9

*Средний урожай сухого вещества и азота на опытных деланках фермы Гринвилль, в Юта. По Гривсу, Стюарту и Херсту<sup>2</sup>. В англ. фунт/акр*

| Оросительная вода |     | Люцерна |       | Картофель |      | Овес  |        |      | Кукуруза |        |      |
|-------------------|-----|---------|-------|-----------|------|-------|--------|------|----------|--------|------|
| Дюймы             | Мм  | Сено    | Азот  | Клубни    | Азот | Зерно | Солома | Азот | Зерно    | Стебли | Азот |
| 37,5              | 940 | 10 464  | 282,5 | 1 464     | 20,4 | 2,373 | 2,989  | 89,5 | 2,080    | 3,316  | 66,3 |
| 25,0              | 625 | 9 963   | 465,0 | 1 540     | 24,8 | 2,093 | 2,581  | 83,9 | 1,095    | 3,332  | 69,6 |
| 15,0              | 375 | 9 779   | 259,1 | 1 759     | 33,2 | 1,885 | 1,821  | 71,7 | 2,179    | 3,605  | 76,6 |
| 0                 | 0   | 6 808   | 170,1 | 1 075     | 19,1 | 1,560 | 1,928  | 64,0 | 1,600    | 3,280  | 62,3 |

**Значение коэффициента транспирации при орошении.** Исследования в области коэффициентов транспирации нашли полезное приложение в сухих районах и особенно при орошении. При этом существенным является вопрос экономного использования воды:

<sup>1</sup> Biederm., Zentr., 1905, 34, 167.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Res. (1917), 9, 293—341.



чрезмерное потребление воды при ирригации не только приводит к излишнему расходу того ее количества, которое могло бы быть с пользой употреблено в другом месте, но кроме того оказывает также и вредный эффект на почву, причиняя разрушение ее физических свойств, накопление растворимых солей и образование токсических продуктов (стр. 235).

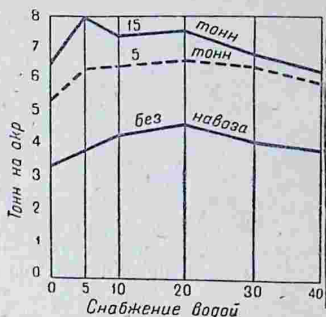


Рис. 6. Влияние снабжения водой на эффективность навоза. Урожай кукурузы (стебли и зерно) в тоннах на акр при снабжении от 0 до 40 дюймов воды. Utah, Harris и Butt (1917).

#### ЭФФЕКТ СНАБЖЕНИЯ ВОДОЙ НА ВНЕШНИЙ ВИД РОСТА И НА СОСТАВ РАСТЕНИЯ

Снабжение растений водой должно быть непрерывным. Всякое сокращение дачи воды даже на короткий период вызывает завядание, а при большой продолжительности хронически нарушает рост растения. Недостаток воды в первые дни обуславливает замедление роста, которое может продолжаться в течение всей жизни растения; более поздний недостаток может вызвать преждевременное созревание и обусловить недостаточное развитие и ненормальный характер зерна. Изменения в уровне снабжения, если уровень поддерживается довольно постоянный, вызывают в растении определенные изменения. Низкий уровень снабжения водой вызывает образование мелких листьев с серовато-синеватым налетом (glaucous) и тенденцию к раннему образованию семян; эти характерные черты ясно проявляются на растительности сухих песчаных почв.

С возрастанием снабжения водой увеличивается корневая система как по массе, так и по тонкости разветвлений, листья становятся крупнее и зеленее. При дальнейшем снабжении водой корневая система становится более ограниченной и менее разветвленной, тогда как листья продолжают увеличиваться: эта разница в развитии корней и листьев усиливается при увеличении снабжения водой, так что в результате вся корневая система сводится только к нескольким толстым корням. Экспериментальное изучение изменений в характере корневой системы производилось Зеельхор-

стом (1898—1911), тогда как более обширные полевые наблюдения были зарегистрированы Вивером (J. E. Weaver)<sup>1</sup>.

Эффект снабжения водой на созревание очень заметен. С возрастанием количества воды масса листьев увеличивается в большей пропорции, чем семена; таким образом, отношение соломы к зерну для зерновых злаков, с увеличением снабжения водой, увеличивается (табл. 4, стр. 36). Это отношение имеет большое значение в сельском хозяйстве; так, например, в засушливых условиях созревание наступает быстро, что понижает урожай и влияет на его химический состав, как будет указано ниже. Действительно, снабжение водой имеет более глубокое влияние на созревание, чем всякий другой фактор, за исключением температуры.

Эффект различного снабжения водой на химический состав растения много изучался свекловодами в Европе и работниками по орошению в Британской империи и США. Концентрация клеточного сока, измеряемая осмотическим давлением его, понижается по мере возрастания снабжения водой (табл. 10), и это влияет на поступление в растение из почвы различных питательных веществ, хотя и не для всех растений одинаково.

Таблица 10

*Изменения осмотического давления в клетке растений с изменением содержания влаги в почве.*  
Ильин, Назарова и Островская<sup>2</sup>

| Отношение почвенной влаги к полной влагоемкости почвы | Осмотическое давление, принимая давление нормального раствора NaCl=1 <sup>3</sup> |          |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                                       | Подсолнечник                                                                      | Кукуруза |
| 80% . . . . .                                         | 0,14—0,16                                                                         | 0,17     |
| 60% . . . . .                                         | 0,25—0,28                                                                         | 0,19     |
| 30% . . . . .                                         | 0,41—0,45                                                                         | 0,49     |

Общее количество азота, потребленного растением, мало зависит от изменения снабжения водой.

С другой стороны, количество ассимилированной углекислоты и общей массы образовавшегося сухого вещества, с возрастанием снабжения водой, возрастает значительно. Таким образом, содержание азота при этом падает. Это хорошо видно на полевых опытах с орошением в Юта (табл. 11) и в вегетационных опытах с сахарной свеклой в Бернбурге (табл. 12).

<sup>1</sup> Root Development of Field Crops, Mc Graw—Hill, 1926.

<sup>2</sup> Journ. Ecology, 1916, 4, 160.

<sup>3</sup> 0,1% NaCl имеет осмотическое давление около 4 атмосфер.

Таблица 11

Процентное содержание азота, золы, фосфора, калия, кальция и магния в зерне пшеницы, выращенной при орошении. J. E. Greaves and E. G. Carter.<sup>1</sup>

| Количество<br>приращивающей<br>воды | Кальций |              | Магний |              | Азот |              | Зола |              | Фосфор |              | Калий |              |
|-------------------------------------|---------|--------------|--------|--------------|------|--------------|------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|
|                                     | %       | фунт/<br>акр | %      | фунт/<br>акр | %    | фунт/<br>акр | %    | фунт/<br>акр | %      | фунт/<br>акр | %     | фунт/<br>акр |
| 0 . . . . .                         | 0,103   | 2,31         | 0,170  | 3,82         | 2,39 | 53,82        | 1,56 | 35,12        | 0,295  | 6,64         | 0,396 | 8,92         |
| 5 дюймов . . . . .                  | 0,107   | 2,02         | 0,171  | 3,54         | 2,16 | 44,88        | 1,56 | 34,17        | 0,301  | 6,38         | 0,414 | 8,97         |
| 10 » . . . . .                      | 0,122   | 2,63         | 0,172  | 3,65         | 2,18 | 47,14        | 1,57 | 35,90        | 0,306  | 6,38         | 0,439 | 9,49         |
| 15 » . . . . .                      | 0,165   | 3,53         | 0,172  | 3,23         | 1,99 | 42,38        | 1,71 | 36,38        | 0,323  | 6,87         | 0,491 | 10,47        |
| 20 » . . . . .                      | 0,195   | 3,78         | 0,198  | 3,17         | 1,98 | 37,75        | 2,01 | 38,45        | 0,371  | 7,08         | 0,490 | 9,35         |
| 35 » . . . . .                      | 0,211   | 4,72         | 0,207  | 4,64         | 2,01 | 45,12        | 2,28 | 51,13        | 0,458  | 10,24        | 0,534 | 11,95        |
| 65,5 » . . . . .                    | 0,262   | 5,64         | 0,224  | 4,80         | 2,06 | 44,70        | 2,19 | 47,13        | 0,424  | 9,12         | 0,535 | 11,50        |

Азот и зола с зерне и соломе пшеницы, выращенной при ирригации.  
Видтсо и Стюарт.<sup>2</sup>

|                                                         |       |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Глубина слоя приращивающей<br>воды (в дюймах) . . . . . | 5,0   | 7,5    | 10,0   | 15,0   | 25,0   | 35,0   | 50,0   |
| То же (в мм) . . . . .                                  | 125   | 182    | 250    | 375    | 625    | 875    | 1250   |
| Азот в зерне (в %) . . . . .                            | 3,167 | 2,995  | 2,967  | 2,886  | 2,846  | 2,788  | 2,804  |
| Азот в соломе (в %) . . . . .                           | 0,858 | 0,910  | 0,893  | 0,845  | 0,840  | 0,802  | 0,923  |
| Азот в зерне (в фунт/акр) . . . . .                     | 70,00 | 71,75  | 72,28  | 74,04  | 73,33  | 75,61  | 73,68  |
| Азот в соломе (в фунт/акр) . . . . .                    | 23,84 | 28,64  | 28,96  | 31,36  | 34,40  | 36,16  | 49,60  |
| Всего (в фунт/акр) . . . . .                            | 93,84 | 100,39 | 101,24 | 105,40 | 107,73 | 111,77 | 123,28 |
| Зола в зерне (в фунт/акр) . . . . .                     | 57    | 48     | —      | 53     | 63     | 75     | 68     |
| Зола в соломе (в фунт/акр) . . . . .                    | 244   | 318    | 316    | 397    | 455    | 612    | 597    |
| Всего (в фунт/акр) . . . . .                            | 301   | 366    | —      | 450    | 518    | 687    | 665    |

**Зерновые культуры.** Снабжение водой влияет на состав зерна, вызывая изменения в составе растений в течение времени транслкации (перемещения) и в продолжительности процесса

<sup>1</sup> Journ Biol. Chem. (1923), 58, 531—541. См. также J. E. Greaves and D. H. Nelson. Journ Agric. Res. (1925) 31, 183—189.

<sup>2</sup> Utah, Agric., Expt. Sta., 1912, Bull. 120.

транслокации от первоначального образования клетки эндосперма до завершения созревания<sup>1</sup>. В засушливых условиях более высокое содержание азота в растении влияет повышающим образом и на содержание азота в зерне. Транслокация протеина происходит одновременно с углеводами<sup>2</sup>, но засуха мало влияет на нее, так что в сухие годы период созревания укорачивается, транслокация прекращается рано и урожай зерна получается низкий. Но так как передвижение протеина затрагивается меньше, то порция его по отношению к другим материалам возрастает. Таким образом, оба фактора содействуют повышению процента азота в зерне<sup>3</sup>.

Такой результат имеет особый интерес в отношении пшеницы и ячменя, содержание азота в которых влияет на их рыночные достоинства: для пшеницы желательнее более высокое содержание азота<sup>4</sup>, а для ячменя—более низкое. Полевые опыты показывают как общее правило, что пшеница, выращенная в сухих местностях богаче азотом, чем во влажных районах; так, например, результаты исследований Бейли (С. Н. Bailey) на основании данных для яровой пшеницы, собранных в 16 районах \* Миннесоты<sup>5</sup>, были следующие.

|                                                         |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Осадки с 1 апреля по 1 сентября<br>(в дюймах) . . . . . | 12—14 | 14—16 | 16—18 | 18—20 | 20—22 | 22—24 |
| То же (в мм) . . . . .                                  | 30—35 | 35—40 | 40—45 | 45—50 | 50—55 | 55—60 |
| Процент азота в зерне . . . . .                         | 2,62  | 2,41  | 2,14  | 2,35  | 2,26  | 2,0   |

Процент азота в ячмене равным образом уменьшается с выпадением дождей в период роста.

<sup>1</sup> Агрономы ограничивают выражение «созревание» периодом 15—20 дней развития зерна, что является главным образом периодом высыхания.

<sup>2</sup> W. E. Brenchley and A. D. Hall, Journ. Agric. Sci., 1909, 3, 195—217 (пшеница); W. E. Brenchley, Annal of Botany, 1912, 26, 903—928 (ячмень); H. E. Woodman and F. L. Engledow, Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 533—585 (пшеница).

<sup>3</sup> Это является важным фактором в определении разницы рыночной цены между канадской и английской пшеницами. Некоторые из новейших анализов показали:

|                               | Канадские           | Английские          |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| Процент влажности . . . . .   | 10—14               | 16—18               |
| » азота в свежем зерне        | 1,8—2,4             | 1,45—2,2            |
| (протеин исчисл. как N × 5,7) | Модальн. велич. 2,1 | Модальн. велич. 1,6 |
|                               | На сухое зерно 2,4  | На сухое зерно 1,9  |

<sup>4</sup> Необходимо принимать во внимание также и «качество» глютена: пшеница может содержать высокий процент азота и быть низкого качества для хлебопечения, если глютен ее—плохого качества.

\* Районы (county)—мелкие административные единицы, на которые разбивается штат. П р и м е р е в.

<sup>5</sup> Minn. Exp. Sta. Bull. 131, 1913.



В отличие от азота количество зольных составных частей, поступающих в растение, с увеличением снабжения водой увеличивается. Это особенно резко заметно на кальции, поступление которого настолько велико, что хорошо орошаемые культуры содержат его значительно более высокий процент, чем растущие в более сухих условиях<sup>1</sup>. Однако поступление калия и магния возрастает в меньшей степени, чем поступление воды, так что процент этих веществ в золе растений, хорошо орошаемых, может быть пониженным по сравнению с растущими в более сухих условиях (табл. 11). Общие наблюдения показывают, что на некоторые активные компоненты в растении, как, например, на запах и др., изменения в снабжении водой оказывают очень большое влияние.

Таблица 12

Отношение к воде сахарной свеклы. Вегетационные опыты в Бернбурге, 1924 г.<sup>2</sup>

| Снабжение водой  | Урожай (в г) |                                  | Расход<br>воды<br>на еди-<br>ницу<br>сухого<br>веще-<br>ства | Взятые растением питательные вещества |       |      |                                 |      |      |
|------------------|--------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|------|---------------------------------|------|------|
|                  | сахара       | всего<br>сухого<br>веще-<br>ства |                                                              | граммов на растение                   |       |      | % от внесенного<br>с удобрением |      |      |
|                  |              |                                  |                                                              | Н                                     | Р     | К    | Н                               | Р    | К    |
| Недостаточное .  | 53,3         | 119,5                            | 313                                                          | 2,07                                  | 0,515 | 4,00 | 82,3                            | 48,4 | 77,6 |
| Нормальное . .   | 96,9         | 188,7                            | 290                                                          | 2,11                                  | 0,714 | 4,29 | 83,7                            | 67,0 | 86,7 |
| Обильное . . . . | 109,2        | 206,0                            | 304                                                          | 2,08                                  | 0,739 | 4,24 | 82,4                            | 69,4 | 85,4 |

Сухое вещество в граммах, полученное на единицу усвоенных питательных веществ

| Н  | Р   | К  |
|----|-----|----|
| 58 | 232 | 30 |
| 89 | 264 | 44 |
| 99 | 279 | 49 |

### Снабжение воздухом<sup>3</sup>

Фермерам и садоводам хорошо известно, что аэрация почвы является очень существенной для плодородия. Но прямые измерения ее трудно получить. Эти явления более сложны, чем кажутся на первый взгляд в виду участия в них двух совершенно различных факторов:

1. Необходимость снабжения корней растений кислородом.

<sup>1</sup> Люцерна является, повидимому, исключением: В. W. Doak (New Zealand Journ. Sci. and Tech., 1929, II, 108) находил в ней более низкий процент кальция во влажные годы, чем в сухие.

<sup>2</sup> Mitt. Anhalt Versuch-Stat., Bernburg, № 63, 1927, стр. 70.

<sup>3</sup> Более обширную библиографию см. Aeration and Air Content, F. E. Clements, Carnegie Pub., 315, 1921.

<sup>4</sup> Почвенные условия. 5021

2. Токсический эффект углекислоты, которая неизбежно накапливается в почве или иной среде без аэрации.

Растения сильно различаются по своей чувствительности к этим факторам. Они неодинаково нуждаются в кислороде для своих корней. Э. Э. Фри<sup>1</sup> выращивал гречиху в водных культурах, продувая воздух через один ряд сосудов, и азот, кислород и углекислоту соответственно—через другие. Растения, снабжавшиеся азотом, не отличались от получавших воздух или кислород: все они до созревания росли нормально. Таким образом, повидимому корни гречихи мало нуждаются в газообразном кислороде. Однако, когда давалась углекислота, растения заболели и завядали через несколько часов, а через несколько дней умирали. С другой стороны, ячмень более чувствителен к недостатку снабжения кислородом.

Стайлс и Йоргенсен (Stiles и Jorgensen)<sup>2</sup> подтвердили указанное различие между ячменем и гречихой.

Опыты в почвах привели к подобному же результату, хотя их более трудно было проводить. Ливингстон и Фри (B. E. Livingstone and E. E. Free)<sup>3</sup> показали, что разные растения значительно различались по своей чувствительности к исключению кислорода; *Coleus blumei* и *Heliotropium peruvianum* оказались наиболее чувствительными: поступление воды в их корни прекращалось через 12—24 часа благодаря отмиранию корней, и в результате растение умирало, если кислород заменяли азотом.

Обширные исследования Кэннона (Cannon) (1925) показали две «основные концентрации» кислорода в почвенном воздухе: низшую, за пределами которой корни перестают расти, и высшую, при которой рост совершается нормально и за пределами которой дальнейшее снабжение кислородом не оказывает эффекта; действительно, слишком большой избыток кислорода может причинить вред<sup>4</sup>. Концентрации эти различны для разных растений; у одних, как, например, у риса и некоторых представителей семейства *Salix*, рост корней может продолжаться при столь низком проценте кислорода, как, например, 0,5; другие же, как кукуруза и горох, нуждаются в кислороде гораздо больше для полного роста: 20,97% его в обыкновенном воздухе является недостаточным.

Даже для одного и того же растения количество необходимого кислорода непостоянно, а меняется с температурой, будучи при низких температурах ниже, чем при более высоких, повидимому, потому, что вода обладает большей силой поглощения кислорода при низких температурах. Количество потребного кислорода зави-

<sup>1</sup> John Hopkins Univ. Circular, 198, 1917.

<sup>2</sup> Now Phytologist. 1917, 16, 181.

<sup>3</sup> John Hopkins Univ. Contributions to Plant Physiology, 1917, 182.

<sup>4</sup> Даже нормальная концентрация кислорода лежит выше оптимума для прорастания некоторых семян (T. Morinaga, Contributions from Boyce Thompson Institute, 1926, 1, 100).

сит также от разжижающего его газа, значительно понижаясь при замене азота гелием, так как кислород быстрее диффундирует через гелий.

Растения также отличаются по своему отношению к углекислоте; действие ее зависит от фазы роста. Прорастание всех семян замедляется или прекращается до тех пор, пока присутствует достаточно большое количество углекислоты, но некоторые семена, как, например, горох, бобы, капуста, ячмень и лук, начинают прорастать вскоре после ее удаления, тогда как в этих условиях другие, например, полевая горчица (*Brassica alba*), не прорастают. Kidd (1914—1917) показал, что семена последней группы как бы находятся под влиянием наркоза углекислотой и не прорастают до тех пор, пока они хорошо не просушены и не смочены снова. Этим он объясняет поразительное появление полевой горчицы на хлебных полях в Англии по более глубокой, чем обычно производимой, вспашке, что заставляет предполагать, что семена ее пролежали в земле много лет, не потеряв своей жизнеспособности<sup>1</sup>.

На растущие растения избыток в почве углекислоты сверх нормальных количеств оказывает большое влияние. Стокласа и Эрнест (1905) и Lundegardh (1927) нашли, что 1%  $\text{CO}_2$  в воздухе почвы на глубине 15 см от поверхности задерживал рост и был иногда очень вредным.

Эти условия резко отличаются от условий для листьев, которые благоприятно относятся к избытку  $\text{CO}_2$  в атмосфере, до известного предела.

В полевых условиях обычно невозможно различать влияние недостатка кислорода и отравления углекислотой. Общее действие на растущее растение показано в опытах Хола (Hall), Бренчли и Ундервуда (1913) с люпином, выращиваемым в разной среде. Развитие корней происходило хорошо в среде, позволяющей воздуху свободно проникать вглубь; оно шло хуже там, где доступ воздуха был более трудным. Урожаи были такие:

| Вещества, допускающие диффузию воздуха:              | Вес образовавшегося сухого вещества (в г) |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                      |                                           |
| Крупный песок . . . . .                              | 2,474                                     |
| Каолин . . . . .                                     | 1,833                                     |
| Вещества, допускающие меньшее проникновение воздуха: |                                           |
| Мелкий песок . . . . .                               | 1,131                                     |
| Пыль . . . . .                                       | 1,393                                     |
| Вода . . . . .                                       | 1,942                                     |

<sup>1</sup> Прямые опыты W. E. Brenchley показали присутствие жизнеспособных семян *Atriplex patula*, *Polygonum aviculare*, *Veronica Tournefortii* и других сорняков почв пахотных земель, но не горчицы, на глубине 5 дюймов (12,5 см) ниже поверхности почвы, которая была под залежью 60 лет (Journ. Agric. Sci., 1918, 9, 1—31).



Результаты показаны на рисунке 7<sup>1</sup>. Вредное действие от незначительного притока воздуха к корням проявляется очень сильно, когда почва заболочена; это может повести к прекращению роста к болезни и даже смерти растения. Почти 50 лет назад Зорау (Soraue)<sup>2</sup> показал, как недостаточный доступ воздуха к корням может вызвать заболевания растений; Уорминг (Warming, 1900) обсуждал экологическое значение этого явления. Lawrens Ball показал, что рост хлопка в Египте приостанавливается, а корни гибнут с повышением уровня воды в почве; однако по мере того как вода спадает, снова образуются новые корни. А. и G. L. Howard в Индии (1916) показали, что недостаток воздуха в почве ведет к серьезной болезни—«увяданию» (Indigo wilt). Улучшение аэрации устраняло болезнь и повышало урожай. Некоторые полученные ими результаты даны в таблице 13.

Таблица 13

*Влияние улучшенного дренажа на повышение урожая.*

А. и G. L. G. Howard, Индия<sup>4</sup>

| Дренаж делянок                       | Урожай<br>хлопка (в<br>фунт/акр) | Пшеница<br>(в фунт/<br>акр) |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Очень плохой . . . . .               | 145                              | 370                         |
| Довольно хороший и хороший . . . . . | 366                              | 600                         |
| Очень хороший . . . . .              | 510                              | 1005                        |

### Температура

Эффект почвенной температуры трудно отделить от общего эффекта температуры, но для практических целей это разделение не является необходимым, так как температура воздуха в значительной степени определяется температурой почвы.

<sup>1</sup> Из других работ см. C. A. Shull, Bot. Gaz., 1911, 52, 453—477, W. A. Cannon and E. E. Free, Science, 1917, 45, 178—180.

<sup>2</sup> Handbuch d. Pflanzenkrankheiten последовательные издания с 1879 до настоящего времени. U. Brizi (Ann. Inst. Agrar., Milan, 1905, 6, 84) приписал болезнь Брусона на рисе недостаточному притоку воздуха к корням и доказал, что этого не случается, если присутствуют algae (водоросли).

<sup>3</sup> The spacing Experiment with Egyptian Cotton, Phil. Trans. B., 1911, 206, 103. The Sowing date Experiment with Egyptian Cotton, Phil. Trans. B., 1915, 206, 403; The Influence of Natural Environmental factors upon the Yield of Cotton, Phil. Trans. B., 1918, 208, 157. См. также J. Templeton, Some Observations on the Behaviour of Cotton Roots in Deep Soil, Proc. Fifth Intern. Bot. Congress, Cambridge, 1930, стр. 433.

<sup>4</sup> Application of Science to Crop. Production, 1929, стр. 35.



Влияние температуры проявляется несколькими путями.

1. Температура во время посева глубоко влияет на последующее развитие хлебных злаков. Эти растения существуют в двух формах—озимых и яровых: яровые высеваются весной, а озимые—осенью. Если время посева переменить обратно и озимые сорта

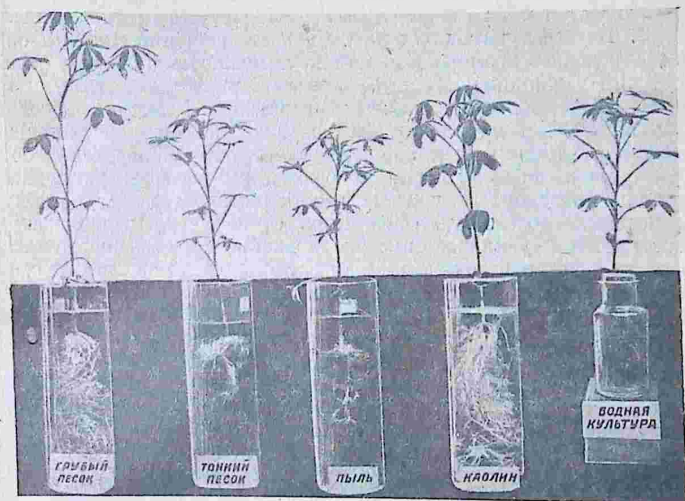


Рис. 7. Влияние среды на развитие корней люпина. А. D. Hall (1913).

высевать весной, когда уже морозы прекратились, то они не образуют колосьев в текущем сезоне, а только в следующем. Эти явления детально изучались Гаснером<sup>1</sup> и Максимовым<sup>2</sup>. Гаснер показал, что этот результат можно приписать температуре прорастания. Для озимых злаков оптимум температуры прорастания для продукции колосьев есть  $0^{\circ}\text{C}$ ; предел же лежит приблизительно около  $5^{\circ}\text{C}$ ; растения, выросшие из семян, прораставших при температуре выше  $5^{\circ}\text{C}$ , если ей не давали спускаться ниже этого уровня, не образуют колосьев, а только одни вегетативные органы. Если же, однако, в какое-нибудь время в течение роста они подвергнутся охлаждению до  $0^{\circ}\text{C}$  и держатся в охлаждении достаточно долго, то они образуют колосья нормально.

<sup>1</sup> G. Gassner, Zeit. Bot. 1918, 417—430.

<sup>2</sup> N. A. Maximov, Biol. Zentralbl., 1929, 49, 513—543.

Яровые сорта ведут себя иначе. Они образуют колосья, какова бы ни была температура проращивания, лишь бы она не была слишком высокой.

Максимов получили промежуточные формы, которые являются яровыми сортами в том смысле, что они производят колосья в текущем же году, если высеваются весной, но образуют их раньше, если проращивание происходило при низкой температуре.

Мохнатая вика (*Vicia villosa*) проявляет сходное поведение.

2. Температура влияет на темп роста растений и таким образом определяет возможность или невозможность культуры разных растений в данной местности.

В случае слишком низкой температуры на листьях может появиться желтая или пурпурная окраска, и растение растет так медленно, что в раннем периоде своего роста становится в большой степени подверженным повреждениям насекомыми, как, например, проволочным червем, а в дальнейшем может погибнуть от осенних морозов до созревания. С повышением температуры рост растений усиливается; при дальнейшем повышении температуры до некоторой точки, которая зависит от интенсивности света, растение становится менее крепким, и если одновременно происходит хорошее снабжение водой, то становится подверженным грибным болезням, которые причиняют особенно много хлопот в оранжереях. Только в пределах сравнительно узкого диапазона температур представляется возможным получить компактную, крепкую внешность растений. Корреляции этих благоприятных пределов температуры с другими свойствами растений еще не были установлены и их приходится находить эмпирически. Эти пределы в общем более узки для проростков, чем для взрослых растений, и являются наиболее широкими в период созревания. Они различны для разных культур; пшеница требует прохладного времени для посева, но жаркого для созревания; ячмень требует прохладного, овес—еще более прохладного времени в течение всего роста. Эти пределы колеблются и для различных сортов одной и той же культуры; сортоводы постоянно заняты поисками линий, приспособленных к разным пределам. Так, например, в Оттаве выводилась пшеница, способная созреть в северных частях Канады.

3. Температура влияет на продолжительность периода роста и созревания и поэтому вызывает некоторые изменения и в самом растении.

Повышение температуры ускоряет наступление фазы репродукции и таким образом укорачивает период роста, понижая в то же время урожай злаков; так, например, урожай ячменя показывает определенно отрицательную корреляцию с температурой в течение мая и июня<sup>1</sup>. Имеется также отрицательная корреляция с температурой в июле и августе, но менее ясно выраженная.

<sup>1</sup> R. H. Hooker, Quar. Journ. Roy. Met. Soc., 1922, 48, 115.

Турнепс на юге Англии не только растет хуже, чем на севере, но имеет несколько иной состав. Овсяная солома в Шотландии отличается по своему составу от английской; повидимому, транслокация материала к зерну происходит здесь менее полно.

4. Температура во время созревания оказывает глубокое влияние на способность семени к прорастанию<sup>1</sup>.

Вообще говоря, корни развиваются лучше при более низкой температуре, чем стебли, и значительно страдают, если температура слишком высока. Бренчли<sup>2</sup> зарегистрировал некоторые разительные примеры повреждений и даже смерти от высокой температуры среди корней в водных культурах. Высокие температуры могут переноситься в случае, если они продолжаются не слишком долго и сопровождаются вслед достаточно низкими температурами. Найдено было, что колебания температуры более благоприятны для растений, чем постоянство ее<sup>3</sup>.

L. R. Jones, J. Johnson и J. G. Dickson (1926) дают несколько ярких картин, показывающих эффект температуры на рост корней пшеницы и кукурузы, устанавливая факт, что оптимальная температура для роста корней пшеницы лежит около 16° C, а для кукурузы — 28° C; при последней температуре корни пшеницы резко укорачиваются. Исследования касались главным образом отношений почвенной температуры к заболеваниям растений. Оптимальный уровень температуры для развития болезни не является таковым же и для растения-хозяина, так что растение может быть гораздо более восприимчивым при одних температурных условиях, чем при других.

Почвенные наблюдения осложняются тем, что наряду с прямым эффектом на рост корней температура изменяет также эффект других факторов. Так, например, повышение температуры понижает растворимость кислорода в воде и нарушает, таким образом, условия аэрации; как максимальная, так и оптимальная температуры для роста корней понижаются при уменьшении парциального давления кислорода в почвенном воздухе. Поэтому нельзя ожидать каких-либо количественных выражений для этой зависимости роста растений от почвенной температуры, и качественные

<sup>1</sup> Обзор физиологических эффектов температуры см. Darwin, Francis, «On the Growth of the Fruit of Cucurbita» (Annals of Botany, 1893, 7, 459—487). Livingstone, B. E. and Livingstone, Grace J., Temperature Coefficients in «Plant Geography and Climatology» (Bot. Gaz., 1913, 56, 349—375). Lehenbauer, P. A., Growth of Maize Seedlings in Relation to Temperature Physiol. Researches, 1914, 1, 247—288. Leitch, I., «Some Experiments on the Influence of Temperature on the Rate of Growth in Pisum sativum», Annals of Botany, 1916, 30, 25—46. Groves, J. F., Temperature and Life Duration of Seeds (Bot. Gazette, 1917, 63, 169—189). Gregory, F. G., Annals of Botany, 1921, 35, 93—123; 1926, 40, 1—26; 1928, 42, 469—507. Ball, W. L., Phil. Trans. B. 1912, 206, 103 и 403.

<sup>2</sup> W. E. Brenchley, Ann. Applied. Biol., 1920, 6, 211—244; W. E. Brenchley and Kharak Singh, ibid., 1922, 9, 197—209.

<sup>3</sup> F. G. Gregory, Annal. Bot., 1926, 40, 17.



наблюдения трудно было бы резюмировать. Кэннон<sup>1</sup> изучал влияние почвенной температуры на корни растений пустыни и, суммируя свои общие наблюдения, высказывает мысль, что корни, проникающие глубоко и растущие обычно в почвах с мелкозернистой структурой, менее отзывчивы на колебания температуры и аэрации, чем корни поверхностные.

### Климатические факторы

Снабжение водой и температура являются двумя главными факторами, определяющими географическое распределение растений. В теплых сухих восточных районах Великобритании растения возделываются на семена; большое количество пшеницы и ячменя выращивается в Норфольке и Суффольке и на острове Танет; семена кормовой свеклы и турнепса получают в восточном Кенте. Более влажные районы благоприятнее для брюквы и овса; очень сырые районы—для трав. Условия теплой влажной юго-западной части Корнуола весьма благоприятны для ранних овощей, кочанной капусты, цветной капусты и т. д., тогда как более прохладный Линкольншир и Чешир хорошо подходят для картофеля. Посредством соответствующей обработки можно до некоторой степени изменить как температуру, так и содержание влаги в почве, и, таким образом, сделать почвенные условия гораздо более благоприятными для отдельных культур.

Интересные результаты получены в тепличной практике. Огородники, культивирующие томаты, научились регулировать приток воды и температуру таким образом, чтобы получались компактные кустистые растения, которые, как они знают по опыту, дают больше плодов, чем более рыхлые и крупные растения, выращиваемые при других условиях. Поэтому до тех пор, пока цветок не оплодотворен, они не способствуют сильному росту, и во многих случаях атмосфера увлажняется искусственным образом, тогда как вода отводится от корней, пока, по образному выражению растениеводов, «растения не начинают кричать от жажды». После оплодотворения вода дается в изобилии, и вносится самое большое количество удобрений. Начат анализ этих явлений. Р. А. Фишер и его коллеги изучили посредством статистических методов действие осадков и продолжительности солнечного сияния на урожай пшеницы и ячменя в Ротамстеде, а Грегори успешно пользовался темпом роста при изучении влияния климата на рост ячменя (1926). Грегори обнаружил важный момент, что на различные физиологические процессы, составляющие рост растения, различным образом действуют изменения, происходящие во внешних условиях, и таким образом стремятся компенсировать одни другие, так что общее изменение роста становится меньше, чем

<sup>1</sup> W. A. Cannon, Amer. Journ. Bot., 1915, 2, 211—224; Carnegie Inst. Year Book, 1917, 91—92, 1918, 83—85; см. также Science, 1923, 58, 331—332.



можно было бы ожидать. Так, например, ассимиляция на единицу площади листа (темп чистой ассимиляции, стр. 132) возрастает или находится в положительной корреляции до известного предела с повышением температуры и радиацией, тогда как темп роста площади листа находится с радиацией в отрицательной корреляции. При солнечной погоде ассимиляция происходит хорошо, но рост листа идет слабо; в плохую погоду ассимиляция идет хуже, а рост листа лучше; в результате, колебания температуры и интенсивности света оказывают меньшее влияние, чем можно было бы ожидать.

Сезонные колебания урожая, быть может, больше определяют осадками, чем температурой; это показано также в анализе Фишером урожая пшеницы в Бродбоке и ячменя на Хуз-Фильд в Ротамстеде<sup>1</sup>.

### Свет

Хотя свет и не является почвенным фактором, он тем не менее косвенно влияет на почву, изменяя растительность, которая, как мы увидим впоследствии, в значительной степени определяет природу и количество органического вещества почвы. Высокая растительность задерживает свет, не пропуская его к более низко растущим растениям, и более или менее заглушает их<sup>2</sup>. Так на ротамстедских лугах урожаи клевера сильно понижаются нитратом натрия, который вызывает развитие высоко растущих трав. С другой стороны, на чину (*Lathyrus*) вследствие высокого роста селитра вредного действия не оказывает, и она растет быстро. В *Journal of Ecology*<sup>3</sup> зарегистрировано много и других примеров. Крайний случай представляет собой лес, где очень мало подраста и где вследствие этого органическое вещество в почве не накапливается. Два смежных участка земли в Ротамстеде, оба остававшиеся все время необработанными и отличавшиеся лишь по своей растительности, показали различия в составе почвы (табл. 14, см. стр. 58).

Одним из самых действительных способов уничтожения сорных трав является выращивание густых посевов, которые, по выражению сельских хозяев, «сметают» их, отнимая свет и оказывая некоторый эффект на корни. С другой стороны, сильная радиация стремится препятствовать росту листа совершенно независимо от влияния высокой температуры, с которой она связана [Грегори, 1921 (1926)]. Это, может быть, является важным фактором в уменьшении растительности на открытых пространствах под тро-

<sup>1</sup> Другие примеры отношений между метеорологическими условиями и ростом растений, включая подверженность болезням, см. в Report of Conference of Empire Meteorologists, Ministry of Agriculture, 1929.

<sup>2</sup> Важность хорошего освещения для цветочной и семенной продукции заслуживает исследования.

<sup>3</sup> См., например, E. Farrow, *Journ. Ecology*, 1916, 4, 57 и E. J. Salisbury, *ibid.*, 1929, 17, 197.

Таблица 14

Влияние растительности на тип почвы

|                           | Существующие давно            |                       | Существующие 40 лет           |                       |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
|                           | Открытое поле. Травы и клевер | Лес. Зеленых трав нет | Открытое поле. Травы и клевер | Лес. Зеленых трав нет |
| Органическое вещество (%) |                               |                       |                               |                       |
| 0—9 дюймов . . . . .      | 8,5                           | 6,7                   | 7,9                           | 8,1                   |
| 9—18 " . . . . .          | 4,8                           | 4,8                   | 6,7                           | 5,2                   |
| Азот (%)                  |                               |                       |                               |                       |
| 0—9 дюймов . . . . .      | 0,256                         | 0,158                 | 0,182                         | 0,173                 |
| 9—18 " . . . . .          | 0,097                         | 0,093                 | 0,084                         | 0,081                 |

никами по сравнению с более обильной флорой лесистых и затененных площадей.

Резкое влияние продолжительности дня на время цветения и плодоношения впервые демонстрировалось Гарнером и Аллардом<sup>1</sup>. Они показали, что растения можно разделить на два класса—растения длинного дня, которые цветут при условии, если подвергаются долгим часам дневного освещения, и растения короткого дня, которые цветут, если часы дневного освещения укорочены.

Растения короткого дня цветут нормально весной или осенью; сюда относятся соя, табак, фасоль (*Phaseolus multiflorus*), многие декоративные растения, например, хризантемы, а также некоторые злаковые южных районов, как, например, просо, кукуруза и сорго.

Возрастание длины дня препятствует цветению этих растений; так, например, при добавлении искусственного электрического света растение достигает гигантских размеров, не зацветая. С другой стороны, сокращением дневного периода света может быть вызвано преждевременное зацветание. Удавалось получать два урожая сои в один и тот же сезон, сначала сокращая часы дневного освещения для ускорения первого урожая, а затем удлиняя их, чтобы еще раз вызвать вегетативный рост и получить второй урожай.

Степень интенсивности света, повидимому, не имеет большого значения, так как и сравнительно слабый электрический свет, не больше силы стандартной свечи на расстоянии 5—10 футов, являлся достаточным, чтобы вызвать эти явления.

Выставление на укороченный свет благоприятствует образованию клубней у растений из пасленовых и вызывает ненормальное образование клубней на главном корне и при основании кор-

<sup>1</sup> W. W. Garner and H. A. Allard, Journ. Agric. Res., 1920, 18, 533, 1923, 23, 871; 1925, 31, 555. Они называли это явление «фотопериодизмом».

невых разветвлений у фасоли<sup>1</sup> (*Phaseolus multiflorus*). Нет необходимости, чтобы сокращение числа часов освещения продолжалось в течение всей жизни растения. Максимов<sup>2</sup> и Разумов показали, что для проса эффект проявляется уже, если период сокращенного дневного освещения продолжался в течение нескольких первых дней после прорастания.

Растения длинного дня цветут нормально в длинные летние дни; к ним принадлежат большинство с.-х. растений умеренных широт—злаковые хлеба, травы, клевера и др. Если они подвергаются сокращению дневного света, то их вегетативный рост усиливается, а цветение замедляется. Однако цветение и плодоношение могут быть ускорены, как это показали Максимов и Бородин, если заставить растения голодать азотом. Таким образом, эффект фотопериодизма тесно связан с факторами питания. Эта точка зрения на проблему последовалась Найтингалем<sup>3</sup>, который изучал изменения в метаболизме\* азота и углеводов, вызываемые продолжительностью дня.

## Пища

Питание растений усложняется тем, что растения составляют свою пищу из различных веществ, которые они берут из воздуха и почвы. В лекциях для сельских хозяев принято говорить о последних как о действительной пище, но для изучающего должно быть ясно, что они являются лишь сырым материалом, из которого вырабатывается пища. Надлежит делать различие между элементами, необходимыми в больших количествах, и такими, одних следов которых уже достаточно; действие первых можно продемонстрировать в водных и песчаных культурах; последние изучать труднее, так как следы всегда присутствуют в семенн, а часто также и в питательной среде или в сосуде, где выращивается растение.

Веществами, нужными в большом количестве, являются: углекислота, вода, кислород и подходящие соединения азота, фосфора, серы, калия, кальция, магния и железа. Из них соединения азота, фосфора и калия требуются в таких больших количествах, что их обычно необходимо прибавлять к почве в качестве искусственных удобрений, чтобы в с.-х. практике получить максимальный урожай. Остальные питательные вещества обычно находятся в воздухе, почве или дождевой воде в достаточных количествах, чтобы проявить свое полное действие; тем не менее были отмечены случаи, когда урожай реагировал на дополнительные прибавки суль-

<sup>1</sup> М. А. Н. Tinkler, Ann.Bot., 1925, 39, 721.

<sup>2</sup> N. A. Maximov, Biol. Zentralbl. (1929) 49, 513—543.

<sup>3</sup> G. T. Nigtingale, Wisc. Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 74, 1927. Другие работы см. В. Redington, Biol. Rev., 1929, 4, 180.

\* Превращения в растении, связанные с обменом веществ. П р и м е р е в.



фатов, железа и магния. Функцией перечисленных питательных веществ является построение растительного вещества.

Вещества второй группы требуются лишь в малых количествах. Они изучались в Институте Пастера Бертраном (Gabrielle Bertrand) и Мазе, а также Бренчли в Ротамстеде и Mc Hargue и другими в США. Необходимыми элементами оказались железо, марганец и для некоторых растений бор. Другие, повидимому, всегда присутствующие в растении вещества—фтор, йод, хлор, медь, алюминий, цинк, кобальт и никель; неизвестно, служат ли они для какой-нибудь полезной цели или были просто поглощены с пищей. Существенные элементы этой группы, повидимому, служат для двух целей, которые, впрочем, часто могут тесно соприкасаться:

1) для катализа, способствуя окислению или другим существенным реакциям;

2) как стимуляторы, вызывающие начало дифференциации или другие жизненно необходимые для растения процессы.

К числу каталитических элементов, возможно, относится железо, которое необходимо для образования хлорофилла; марганец, повидимому, нужен для активирования оксидаз, или, иными словами, для окисления в растениях; кремний, который несколько повышает действие фосфатов, а может быть, также и калия. К числу стимулирующих элементов относится, вероятно, и бор, нужный для стимулирования образования системы разветвляющихся циркуляционных сосудов, связывающих клубеньки корней бобовых растений с главной системой.

Питательное и ядовитое действия стоят, повидимому, близко друг к другу, и почти все элементы, необходимые для питания растения, способны производить ядовитое действие при других условиях. В отношении большинства питательных элементов ядовитое действие встречается лишь в том случае, если имеется достаточно большой излишек вещества, чтобы изменить осмотические отношения или надлежащий физиологический баланс питательной среды; при этом переход от благоприятного действия к вредному очень постепенен. Для элементов, нужных лишь в малых количествах, переход этот более резок: границы легко переступаются, и токсическое действие начинается, как только количество вещества превосходит полезную микроскопическую дозу.

### **Элементы, нужные в сравнительно больших количествах для восстановления растительных тканей**

#### **УГЛЕРОД**

Обычно утверждают, что растения берут весь нужный им углерод из воздуха, но французские исследователи настойчиво придерживались того взгляда, что некоторая часть его может получаться из почвы (стр. 22). Физиологические опыты обычно произ-

водились в водных культурах. Knudsen<sup>1</sup> находит, что сахара, глюкоза, мальтоза и фруктоза непосредственно поглощаются и используются зеленой кукурузой, канадским полевым горохом, тимофеевкой, редиской, викой и т. д., вызывая образование характерной разветвленной корневой системы. Хотя эти вещества не встречаются в почве, но в ней находятся другие растворимые углеродистые составные вещества (в особенности в почве парников), и они могут оказать значительные действия.

Существуют, однако, веские доказательства того, что несравненно большая часть углерода, находящегося в растении, берется из атмосферы, а не из почвы, хотя явление это отчасти связано и с почвой. Количество углекислоты в атмосфере подвержено легким колебаниям, которые могут возникнуть вследствие изменения биохимической деятельности в почве и могут оказаться важным фактором по отношению к производству урожая. Браун и Эскомо<sup>2</sup> нашли, что количество углекислоты в Кью (близ Лондона) колеблется от 2,43 до 3,60<sup>3</sup> объемов на 10 000 объемов воздуха, в среднем же—2,94. Если взять, например, июль, то получаются следующие средние величины:

|                                          | 1898 г. | 1899 г. | 1900 г. | 1901 г. |
|------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| СО <sub>2</sub> в 10 000 объемах воздуха | 2,83    | 2,88    | 2,86    | 3,11    |

Возрастание количества углекислоты в воздухе усиливает рост растений<sup>4</sup>. Делались попытки использовать это в оранжерейной практике, с установкой специальных печей для производства углекислоты<sup>5</sup>.

### АЗОТНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Азотное питание растений осложняется тем, что азотистые соединения легко подвергаются изменениям как в почве, так и в растении. Большая часть азота усваивается корнями в виде простых соединений и в форму протеина превращается в растении; в этом процессе попутно получается много других сложных веществ<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Cornell Repts. (Ithaca, N. Y., Pt. 1), 1917, 747—813. (Memoir. 9 of 1916).

<sup>2</sup> Proc. Roy. Soc., 1902, 70, 118—121.

<sup>3</sup> Такая высокая цифра была получена только в одном случае.

<sup>4</sup> U. Kreusler, Landw. Jahrb. 1885, 14, 913; E. Demoussy, Compt. Rend., 1903, 136, 325; 1904, 139, 883, и многие последующие работники, из которых новейшие В. D. Bolas и F. Y. Henderson, Annals of Botany, 1928, 42, 509. Полное обсуждение у Н. Lundegårdh, Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur, Jena, 1924. Также Soil. Sci., 1927, 23, 417, где он показывает паразитный параллелизм между дыханием почвы и урожаем.

<sup>5</sup> O. Owen, T. Small and P. H. Williams, Ann. Appl. Biol., 1926, 13, 560; T. Small and H. L. White, ibid, 1930, 17, 81. Хороший общий обзор см. Int. Review Sci. and Practice of Agric., Rome, 1926, 39, 44.

<sup>6</sup> Изучение движения азотистых соединений в растении см. E. Maskell and T. G. Mason, Ann. of Botany, 1929, 43, 205, 615; 1930, 44, I, 233. 657; Walter Thomas (Pyrus malus), Plant. Physiol., 1927, 2245; Muriel E. Robinson трактует весь вопрос в New Physiologist, 1929, 28, 117.

Пфеффер и Шульце рассматривали аспарагин как начальную точку синтеза протеина в растении: затем Браун (H. T. Brown) показал, что он являлся наиболее эффективной азотистой пищей для отделенного зародыша ячменя, в то время как нитраты, глютаминовая и аспарагиновая кислоты и сульфат аммония были менее полезны<sup>1</sup>. С другой стороны, Прянишников рассматривает аммиак как начальную точку синтеза протеина; аспарагин, с его точки зрения, является только продуктом накопления временного избытка аммиака, который иначе оказался бы вредным. Однако вегетационные и полевые опыты показывают, что нитраты почти неизменно являются актуальной пищей. Они поглощаются растениями, восстанавливаются сначала до нитритов, затем до аммиака, который уже и перестраивается в аспарагин. Повидимому, это довольно запутанный процесс, и возникает вопрос—почему аммиак не лучше, чем нитраты? Прянишников высказывает мысль, что настоящей пищей является ион аммония, но к поступлению его в растение встречаются затруднения. Он может доставляться только в виде соли, но поглощается прямо, и кислотный ион (анион) делает среду кислой и поэтому токсической для растения. С другой стороны, нитраты кальция или натрия не оставляют после себя никакого токсического иона и поэтому не обнаруживают никакого вредного эффекта. Таким образом, на практике соль аммония оказывается пищей более низкого качества, чем нитраты, хотя она могла бы превосходить последние, если бы маскирующее влияние сопровождающего кислотного иона могло быть устранено. Опыты для осуществления этих условий производились в трех направлениях.

1. Вместе с солями аммония давалось достаточно карбоната кальция для постоянного поддержания среды нейтральной.

2. Применялась аммонийная соль с кислотным ионом (анионом), имеющим наименьшую токсичность, например, карбонат аммония, фосфат аммония<sup>2</sup>.

3. Раствор поддерживался в очень слабой концентрации<sup>3</sup> или непрерывно сменялся, что не давало ему возможности сделаться кислым.

При этих условиях ион аммония, повидимому, усваивается легче, чем ион нитратный. Так, например, из нитрата аммония аммиак удалится, оставляя кислоту в растворе. Однако на эффективность аммония по сравнению с ионом нитрата большое влияние оказывают присутствующие катионы: эффективность аммония уменьшается, если среда становится кислой или когда падает

<sup>1</sup> Trans. Guinness Lab., 1906, I, Pt. 2, 288—299.

<sup>2</sup> P. Mazè, Ann. Inst. Pasteur, 1900, 14, 26; Compt Rend. 1898, 127, 1031.

<sup>3</sup> H. Soderbaum, Stockholm, Kungl. Landt. Akad. Handlingar, 1917, 56, 536—560.



снабжение кальцием, калием и магнием—при этих обстоятельствах нитратный ион становится лучшей пищей<sup>1</sup>.

Легкость ассимиляции аммония зависит от темпа превращения его в аспарагин, и в свою очередь это зависит от количества углеводов, являющихся другой группой веществ, необходимых для синтеза протеина. Такие растения, как ячмень, кукуруза и тыква, относительно богаты углеводами и легко усваивают аммиак; горох и вика, которые содержат их меньше, усваивают аммиак только в присутствии карбоната кальция. Люпины в нормальных условиях совершенно отказываются усваивать его, за исключением случаев, когда снабжение углеводами усиливается искусственными средствами.

Нормальной азотистой пищей растений являются, однако, нитраты; имеется тесная зависимость между снабжением ими растений и ростом последних, что хорошо доказывается опытами Гельригеля и Вильфарта (1888) (стр. 30). Большая часть потребного азота поглощается в первые дни из почвы и накапливается в тканях меристемы (т. е. эмбриональных тканях, способных к дальнейшему росту).

#### ЭФФЕКТ АЗОТИСТОГО ПИТАНИЯ НА РАСТЕНИЯ

Азотистое голодание характеризуется хилым ростом и желтовато-зеленым или в некоторых случаях красновато-зеленым цветом листа, причем пожелтение и отмирание распространяются вообще на весь лист, в отличие от эффекта калийного голодания, когда отмирание распространяется от вершины и краев листа внутрь (стр. 81). На фруктовых деревьях листья рано отмирают, отмирают боковые почки, оставляя голые ветви, и плоды принимают необычную окраску: некоторые яблоки, нормально зеленые, становятся блестяще-красными, в то время как другие сильно желтеют; корневая система уменьшается и становится почти сплошь мочковатой<sup>2</sup>.

Прибавление нитрата натрия или кальция к растениям, голодающим азотом, вызывает быстрое улучшение в окраске, ускоренный рост в высоту и развитие листа. Грегори (1926), работая с ячменем, показал, что возрастает только поверхность листа, но не темп ассимиляции, в противоположность результатам прибавления калия, который увеличивает эффективность листа. Этот усиленный рост листа дает большие преимущества в сельском хозяйстве и ведет к большему использованию азотистых удобрений. В ротамстедских опытах прибавка урожая от 125 кг сульфата

<sup>1</sup> Д. Н. Прянишников, *Biochem. Zeit.*, 1929, 207, 341. Для общего обзора см. *Ergeb. d. Biol.*, 1926, 1, 407, а также *Vorträge Deut. Gesell. zum Studium Osteuropas*, 1927.

<sup>2</sup> T. Wallace, *Journ. Pomology*, 1925, 4, 117; 1930, 8, 23.

аммония на 1 га соответствует таким средним прибавкам на единицу веса внесенного азота:

|                              | Сырой вес | Сухой вес |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Картофель (клубни) . . . . . | 100       | 21        |
| Ячмень (зерно) . . . . .     | 15        | 13        |
| Ячмень (солома) . . . . .    | 18        | 15        |
| Пшеница (зерно) . . . . .    | 15        | 13        |
| Пшеница (солома) . . . . .   | 25        | 20        |

Эти приросты колеблются по годам, но в меньшей степени, чем приросты от калийных солей и фосфатов. Из внесенного азота используется приблизительно 40—50 %.

Более значительные количества нитратов вызывают пышное развитие темнозеленых листьев, которые, однако, нередко становятся сморщенными, мягкими, сочными и подверженными нападению насекомых и грибных болезней вследствие утончения стенок или изменения в тканях или в составе сока растений.

С. R. Hursch<sup>1</sup> показал, что у пшеницы количество склеренхимы уменьшается пропорционально коленихмие, благоприятствуя, таким образом, поражению ржавчиной (*Russinia graminis*), мицелий которой может развиваться только в коленихмие.

Дальнейший эффект обильного снабжения азотом по сравнению с другими питательными элементами выражается в замедлении созревания. Растения, получающие различное количество селитры, становятся, таким образом, неодинаковыми по фазам своего развития в данное время, хотя бы они были посеяны в один и тот же день. Получившие большие количества селитры продолжают свой вегетативный рост в течение более долгого периода; иногда замечаются пожелтение и отмирание листьев. Образование зерна не замедляется по крайней мере до тех пор, пока дается достаточно калия и фосфора, но растения остаются зелеными на более долгий период, создавая впечатление замедленного созревания. В агротехническом отношении это является недостатком для злаковых хлебов, так как задержанная в росте солома остается более влажной во время жатвы. Это затруднение могло бы быть обойдено, если бы было возможно дать злакам расти до завершения высыхания соломы, но в производственных условиях нет возможности отсрочить жатву из опасения вреда от осенних морозов. Зерновые хлеба, как, например, ячмень, которые убираются в совершенно зрелом состоянии, избегают удобрять большим количеством нитратов, но, например, овес, который убирается до полного созревания, может получать и большие количества их. Однако все злаковые хлеба, в случае избыточного снабжения нитратами, дают слишком много соломы, которая притом не отличается хорошей стойкостью и легко полегает от ветров и дождей. Брюква и картофель также производят много листьев, а урожай корней или клубней при возрастании азотистого удобрения дают в меньшей

<sup>1</sup> Journ. Agric. Res., 1924, 27, 381—411.

пропорции; возможно, что за этим последовало бы и дальнейшее возрастание урожая корней, но весь этот процесс в целом рано или поздно останавливается с наступающим холодным сезоном, и увеличение урожая корней, действительно, имеет место лишь в случае поздней кормовой свеклы. Также и томаты дают слишком много листьев и слишком мало плодов, если получают избыток нитратов. На опытной станции в Чесхунт<sup>1</sup> устранение азота из удобрительной смеси способствовало увеличению урожая плодов на 11%. С сортом Комета были получены следующие количества плодов:

|                             | Фунтов на растение |         |         |         | Тонн на акр <sup>2</sup> |         |         |         | Относит.<br>вес, средн.<br>за 1918—<br>1919 гг. |
|-----------------------------|--------------------|---------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|-------------------------------------------------|
|                             | 1916 г.            | 1917 г. | 1918 г. | 1919 г. | 1916 г.                  | 1917 г. | 1918 г. | 1919 г. |                                                 |
| Полное удо-<br>брение . . . | 4,9                | 5,11    | 3,32    | 5,57    | 38,7                     | 35,8    | 25,8    | 42,2    | 100                                             |
| Без азота : .               | 5,7                | 5,60    | 3,62    | 5,98    | 45,0                     | 39,2    | 28,2    | 47,4    | 111                                             |

С другой стороны, культуры, выращиваемые исключительно ради листьев, всецело улучшаются с увеличением нитратного удобрения. Выращивающие капусту хорошо знают, что при сильном удобрении нитратами можно улучшить не только размер кочнов, но и придать им нежность и яркозеленый цвет, предпочитаемый покупателями. К сожалению, благодаря мягкости тканей такая капуста не выдерживает грубых перегрузок на рынке.

Таблица 15 иллюстрирует три случая: с возрастанием азотистого удобрения пшеница обнаруживает большее возрастание соломы, чем зерна; белый турнепс показывает больший прирост листьев, чем корней, и кормовая свекла обнаруживает по существу одинаковое возрастание как листьев, так и корней, причиной чего является более долгий период роста ее, чем других культур, подлежащих до конца октября.

Отмеченные эффекты изменяются в зависимости от времени внесения азотистых удобрений.

Вейгерт и Фюрст в Мюнхене<sup>3</sup> произвели полное исследование над ячменем. Полученные ими урожаи зерна за 1924—1928 гг. приведены в таблице 16.

#### ЭФФЕКТ АЗОТИСТОГО ПИТАНИЯ НА СОСТАВ И КАЧЕСТВО РАСТЕНИЙ

До настоящего времени производилось еще мало работ по влиянию различных условий на состав растений, за исключением

<sup>1</sup> Annual Reports за 1917 и след.

<sup>2</sup> Тонны по 2 240 англ. фунтов.

<sup>3</sup> Zeit. f. Pflanz. Düng., 1929, 13, 8, 369.



Таблица 15

Эффект изменяющегося снабжения азотистыми удобрениями на рост растений  
Ротамстед

| Азот в удобрении<br>(в фунт/акр) | Пшеница<br>в 1 000<br>фунт/акр<br>(1852—1864) |        | Азот в удобрении<br>(в фунт/акр) | Белый тур-<br>непс<br>в фунт/акр<br>(1845—1848) |        | Азот в удобрении<br>(в фунт/акр) | Кормовая<br>свекла в 1 000<br>фунт/акр<br>(1906—1910) |        |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|--------|----------------------------------|-------------------------------------------------|--------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|
|                                  | Зерно                                         | Солома |                                  | Корни                                           | Листья |                                  | Корни                                                 | Листья |
| 0 . . . . .                      | 1,06                                          | 1,86   | 0                                | 18,37                                           | 6,05   | 0                                | 11,84                                                 | 2,55   |
| 43 . . . . .                     | 1,68                                          | 3,03   | 47                               | 22,18                                           | 9,63   | 86                               | 40,12                                                 | 8,51   |
| 86 . . . . .                     | 2,18                                          | 4,28   | 137                              | 22,96                                           | 13,78  | 134                              | 65,67                                                 | 13,88  |
| 129 . . . . .                    | 2,27                                          | 4,78   | —                                | —                                               | —      | —                                | —                                                     | —      |
| 172 . . . . .                    | 2,29                                          | 5,22   | —                                | —                                               | —      | —                                | —                                                     | —      |

Таблица 16

Урожаи и содержание протеина в ячмене, получавшем различные количества азотистых удобрений

Вейгерт и Фюрст

|                                                                                                 | Годы | Кг/га в удобрении |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                                 |      | 0                 | 25    | 40    | 55    | 75    |
| Урожай зерна в ц/га . . . . .                                                                   | 1924 | 15,61             | 18,75 | 21,04 | 23,74 | —     |
| » » » » . . . . .                                                                               | 1925 | 25,28             | 29,13 | 31,26 | 32,72 | 34,24 |
| » » » » . . . . .                                                                               | 1926 | 20,94             | 27,14 | 28,90 | 31,46 | 34,67 |
| » » » » . . . . .                                                                               | 1927 | 24,04             | 31,54 | 35,80 | 38,85 | 42,43 |
| » » » » . . . . .                                                                               | 1928 | 18,79             | 25,80 | 30,66 | 34,49 | 37,27 |
| Среднее . . . . .                                                                               | —    | 20,93             | 26,47 | 29,53 | 32,25 | 37,15 |
| «Сырой протеин» (N × 6,25), среднее<br>1925—1928 гг., в % в сухом веще-<br>стве зерна . . . . . | —    | 10,78             | 10,12 | 10,37 | —     | 10,93 |

определения конечных составных частей: азота, фосфора, калия и других минеральных элементов. Имеется, однако, среди практиков большое количество эмпирических наблюдений над зависимостью

между «качеством» и условиями роста. «Качество» вообще не может быть выражено в биохимических терминах; однако для ячменя было положено начало этому в виду его большого значения для пивоварения и винокурения, для сахарной свеклы—поскольку в этом заинтересованы заводы и в меньшей степени—для пшеницы и картофеля.

Химический анализ показывает, что изменения в снабжении растений азотом даже в больших пределах влияют только на размер растений, не особенно изменяя состав; небольшие дозы азота могут даже понизить его содержание в конечном продукте. Растение, повидимому, стремится удерживать равновесие между азотом и углеводами, изменяя площадь своих листьев и объем ассимиля-

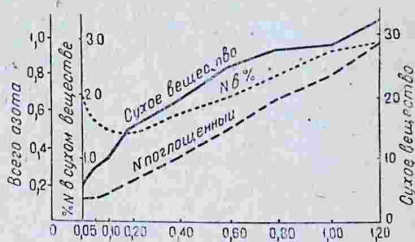


Рис. 8. Поглощение азота, образование и состав сухого вещества. Горчица (вегетационные опыты в Ротамстеде).

ции. Однако за пределами некоторого возрастания этот метод приспособления становится недостаточным. Эффективность листа как производителя углеводов может быть тогда повышена усилением калийного удобрения (стр. 80): в таком случае равновесие сохраняется. За пределами некоторой дальнейшей точки этот метод в свою очередь становится уже недостаточным, и тогда начинаются заметные нарушения в составе; соединения азота накапливаются в растении в избытке по сравнению с обычными количествами их (рис. 8, табл. 16). По мере возрастания пропорции азота растение изменяется: нормальное функционирование органов растения, повидимому, может происходить лишь в сравнительно узких пределах отношения углерод:азот; цветение, плодоношение и другие функции прекращаются или, по меньшей мере, изменяются, если величина этого отношения выходит за пределы<sup>1</sup>.

Вредный эффект, описанный на стр. 64, проявляется, если пропорция азота становится чрезмерно высокой. Прянишников указывает, что в животной клетке, подобно гому, как и в растительной клетке, избыток азотистых соединений наносит вред, но в то время, как у животных нежелательный избыток азота уда-

<sup>1</sup> E. J. Krauss and H. R. Kragbill (Oregon Expt. Sta. Bull. 149, 1918) первые обратили внимание на важность отношения N/C. Позднейшие работы см. M. A. N. Tinker, Annals of Botany, 1928, 42, 101.

Таблица 17

Эффект снабжения азотом на процентный состав сухого вещества

1. Пшеница, Ротамстед. Среднее за 16 лет, 1848—1863

|                                      | Урожай<br>(в фунт,<br>акр) | Процентный состав сухого вещества |       |                               |                  |       |       |                  |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|-------|------------------|
|                                      |                            | N                                 | Зола  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | MgO   | SiO <sub>2</sub> |
| Солома                               |                            |                                   |       |                               |                  |       |       |                  |
| 86 фунт/акр N <sup>1</sup> . . . . . | 2 663                      | 0,67                              | 5,320 | 0,163                         | 0,871            | 0,318 | 0,094 | 3,449            |
| Без азота . . . . .                  | 1 663                      | 0,50                              | 6,437 | 0,242                         | 0,930            | 0,248 | 0,135 | 4,500            |
| Зерно                                |                            |                                   |       |                               |                  |       |       |                  |
| 86 фунт/акр N <sup>1</sup> . . . . . | 1 525                      | 2,15                              | 1,80  | 0,854                         | 0,602            | 0,065 | 0,193 | —                |
| Без азота . . . . .                  | 990                        | 1,90                              | 2,01  | 1,003                         | 0,662            | 0,057 | 0,028 | —                |

2. Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) Aberistwyth<sup>2</sup>

|                                        | Процентный состав сухого вещества |       |                               |       |                  |
|----------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|-------|------------------|
|                                        | N                                 | Зола  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CaO   | SiO <sub>2</sub> |
| Листья                                 |                                   |       |                               |       |                  |
| 34,5 фунт/акр N <sup>3</sup> . . . . . | 3,21                              | 12,57 | 0,84                          | 0,770 | 4,05             |
| Без азота . . . . .                    | 2,92                              | 13,30 | 0,91                          | 0,847 | 4,92             |
| Стебли                                 |                                   |       |                               |       |                  |
| 34,5 фунт/акр N <sup>3</sup> . . . . . | 2,02                              | 11,57 | 0,86                          | 0,476 | 3,95             |
| Без азота . . . . .                    | 1,65                              | 12,05 | 0,98                          | 0,574 | 3,68             |

ляется в форме мочевины, у растений этого не происходит: как только растение перестает производить соответствующее количество углеводов, аммиак начинает приносить вред<sup>4</sup>.

Этот избыток азотистых соединений сокращает пропорцию всех составных частей, исследованных до сих пор<sup>5</sup>: процент углеводов, общего количества зольных компонентов, калия и фосфатов в сухом веществе уменьшается.

Неизвестно еще, является ли это уменьшение пропорций других компонентов просто арифметическим результатом увеличения

<sup>1</sup> В виде сульфата аммония.

<sup>2</sup> Fagan and R. E. Ewans, Welsh Journ. of Agric., 1926, 2, 113.

<sup>3</sup> В виде натриевой селитры (2 cwt/acre = 250 кг/га).

<sup>4</sup> Vorträge Deut. Gesell. zum Studium Osteuropas, 1927.

<sup>5</sup> Кальций может возрасти, если применяется сульфат аммония.



протеина, или же здесь происходит какое-нибудь важное перераспределение. Отношение  $K_2O:P_2O_5$  в сахарной свекле в опытах в Бернбурге<sup>1</sup> при увеличении снабжения азотом не показывает никаких существенных изменений.

Однако относительная пропорция азотистых компонентов изменяется. В зерне ячменя, по мере возрастания общего процента азота, возрастает относительная пропорция и гордеина, тогда как

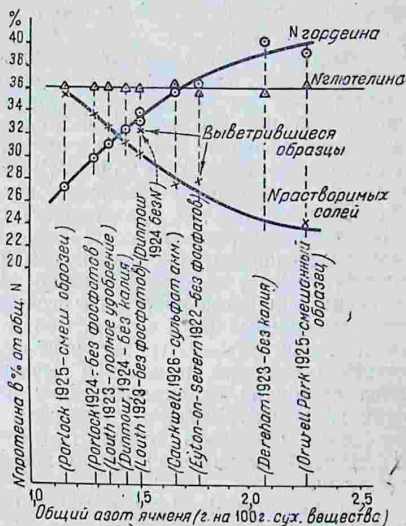


Рис. 9. Отношение между общим содержанием азота и количеством разных форм протеина в зерне ячменя.  
L. R. Bishop.

пропорция растворимых азотистых солей уменьшается; однако пропорция глютелина остается постоянной (рис. 9). Пропорции остаются те же независимо от того, являются ли изменения в количестве общего азота результатом климатических факторов или снабжения азотистыми удобрениями: они являются, по видимому, варьирующими константами<sup>2</sup>.

Повышенное содержание азота в ячменном зерне, свыше общего процента около 1,4, становится неблагоприятным для качества ячменя на солод, тогда как повышенный процент в пшенице обычно, но не всегда, является благоприятным для пекарных качеств ее<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> «Der Nährstoffbedarf der Zuckerrübe», W. Krüger, G. Wimmer и др., Mitt. Anhalt Versuchs-Stat, Bernburg, № 60, 1927, 1—33.

<sup>2</sup> L. R. Bishop, Journ. Inst. Brewing, 1928, 34, 101. Испытывался сорт Plumage Archer.

<sup>3</sup> Данные, касающиеся отношения азота в почве к проценту его в пшеничном зерне, см. Idago Res. Bull. № 5, 1926.

## ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Фосфаты являются наиболее эффективными из всех известных фосфорных питательных веществ для растений. Действие их не так бросается в глаза, как действие азотистых соединений, и распознать его можно лишь путем сравнения растений, получающих достаточно фосфатов с получающими их в малом количестве. Разные растения также различаются по своей чувствительности к фосфатному голоду.

Наиболее явный эффект проявляется на корневой системе, кушении злаков и производстве зерна. Еще в 1847 г. Лооз писал: «Обязано ли действие суперфосфата его химическому действию на почву или нет, но безусловно верно то, что он вызывает очень усиленное развитие подземного собирательного аппарата растения, в особенности боковых и мочковатых корней, распространяя целую сеть на значительное расстояние вокруг растения и выбрасывая бесчисленные рты на поверхность». Внесение фосфатов особенно эффективно там, где требуется более сильное развитие корней, чем могут дать почвенные условия нормально. Они неспешны на глинистых почвах, где корни обычно плохо развиваются; с другой стороны, они менее нужны на песчаных почвах, где обычно происходит сильный рост корней. Они применяются для всех корнеплодов, как брюква, турнепс, картофель и кормовая свекла; в отсутствии их корни брюквы или турнепса не увеличиваются, а остаются постоянно карликовыми, как редиска (на рис. 10 показан один из опытов Лооза и Гилберта); введение суперфосфата как удобрения произвело переворот в сельском хозяйстве — на некоторых наиболее тяжелых почвах позволив лучше выращивать эти растения.

Страдающие фосфатным голодом злаки имеют хилую корневую систему, в особенности в ранний период, и еще более хилые листья и стебель; когда вносятся фосфаты, то побеги растут скорее, чем корни, т. е. отношение веса корней к побегам уменьшается, а не увеличивается, как это случается с брюквой. Фосфатный голод ухудшает также кушение, вызывая уменьшение общего количества побегов и количества плодоносных стеблей. Подобное же захирение корня и листа наблюдается и на страдающих фосфатным голодом плодовых деревьях<sup>1</sup>. Корни при этом состоят главным образом из грубых бурых корешков (rootlets).

Влияние на окраску листьев проявляется неодинаково<sup>2</sup>. У страдающего от фосфатного голода ячменя в водных культурах становится красноватым стебель, а в почвенных культурах лист. в резких случаях голодания, приобретает болезненно пурпурный

<sup>1</sup> T. Wallace, Journ. Pomology, 1925, 4, 117 и 5, 1.

<sup>2</sup> Например, соя, выращенная без фосфатов, была нормальной по виду, но очень хилой (J. M. Ginsburg, Soil, Sci., 1925, 20, 1—13). Такой же была и горчица (C. T. Gimingham, см. след. примечание).

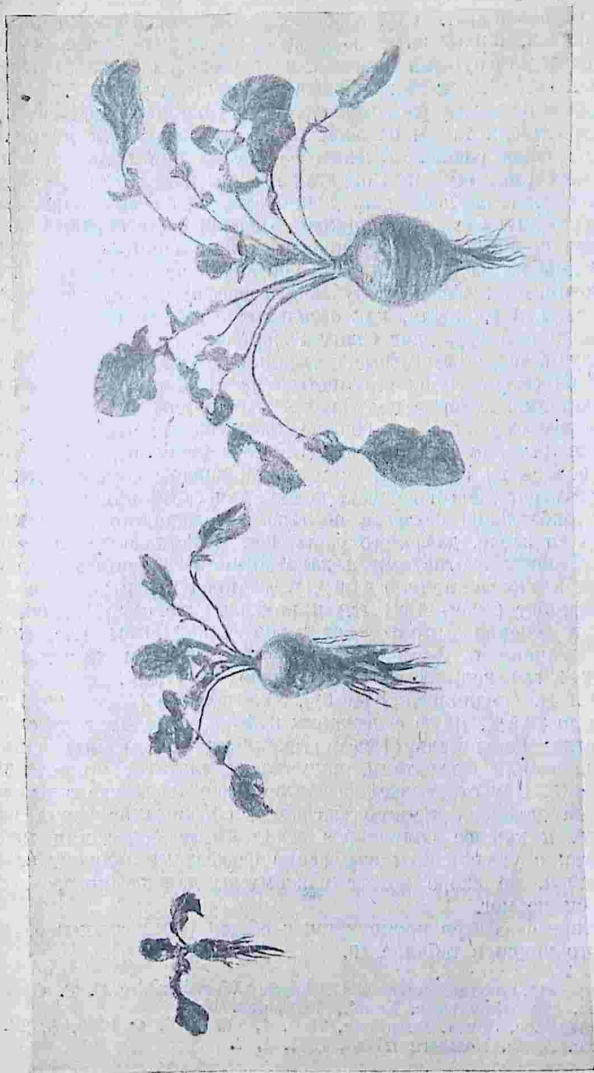


Рис. 10. Брюква с Ангдельского поля. Бродбок. Слева направо: без удобрения; суперфосфат и калийное удобрение; азот, суперфосфат и калийное удобрение (Люоз и Гильберт).



цвет<sup>1</sup>, но на поле Хуз-Фильд в Ротамстеде он становится лишь тускло серо-зеленым. Страдающие фосфатным голодом яблони имели листья, окрашенные в бронзово-пурпурный цвет, часто с пурпурными или бурыми пятнами, находившиеся главным образом на концах ветвей, так как боковые почки были убиты<sup>2</sup>.

Позднее в жизни растения фосфаты ускоряют процесс созревания, производя таким образом то же действие, как недостаток воды, но в более слабой степени; поэтому их применяют для пшеницы в некоторых северных округах Англии и для овса на западе, чтобы ускорить на несколько дней жатву и избежать опасности потери урожая из-за плохой погоды. Подобным же образом можно расширить северную границу произрастания некоторых растений. Это действие их на созревание хорошо видно на участках с ячменем в Ротамстеде: посевы, получающие фосфаты, имеют золотисто-желтый цвет в то время, как остальные остаются еще зелеными. Интересные примеры дает Скотт Робертсон<sup>3</sup>.

Следуют также известные косвенные действия: колос ячменя выходит из окружающих его листьев на несколько дней раньше, чем у растений, которые получают недостаточное количество фосфатов, и поэтому он имеет больше преимуществ, чтобы избежать нападения личинок зеленоглазки (*Chlorops toeniopus*, Meig), которые, выведясь из своих яичек в верхней части самого верхнего листа, сползают вниз в поисках колоса для своей пищи.

Но прибавление фосфата не вызывает никакого увеличения в пропорции зерна, даваемого растением. В Ротамстеде на полях, удобренных азотистыми и калийными соединениями, но без фосфатов, зерно составляло 44,9% всего продукта в течение первых десяти лет (1852—1861 гг.) и почти то же самое отношение (44,7%) в течение пятого десятилетия (1892—1901 гг.), когда сильно проявился фосфатный голод; в шестом десятилетии (1902—1911 гг.) количество зерна упало до 41,3%, а в период 1913—1921 гг.—поднялось до 46,1%. Уже позднее (1923—1928 гг.) оно пало до 33,2%. Даже в песчаных культурах разница не слишком заметна: Гельригел (1898), выращивая ячмень при меняющемся снабжении фосфатами, получил результаты, приведенные в таблице 18. При отсутствии фосфатов зерно совсем не образовалось; когда давалось немного фосфатов, образование зерна шло нормально, и каждое полученное зерно имело более или менее полный вес; с увеличением снабжения фосфатами процент зерна увеличивался, но скоро достиг максимума, дальше которого он повышаться не мог.

Действие фосфатов проявляется в общем росте соломы и зерна, как это видно в таблице 19.

<sup>1</sup> Например, на одной почве из Offchurch в Warwickshire, C. T. Gimingham, Agric. Education Assoc. Repts., 1922, стр. 19.

<sup>2</sup> T. Wallace, Journ. Pomology, 1925, 4, 117 и 5, 1; 1930, 8, 23.

<sup>3</sup> Journ. Agric. Northern Ireland, 1927, 1, 7.

Таблица 18

Действие различного количества фосфатов на рост ячменя в песчаных культурах. Гельригель (1898)

|                                                       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Вес внесенной $P_2O_5$ на сосуд (в мг) . . . . .      | 0     | 14,2  | 28,4   | 56,8   | 85,2   | 113,6  | 142    | 213    | 284    |
| Вес сухого вещества растений на сосуд (в г) . . . . . | 1,856 | 8,256 | 12,613 | 19,505 | 19,549 | 20,195 | 18,667 | 17,785 | 31,306 |
| Зерно в процентах от общего сухого вещества . . . . . | —     | 22,4  | 31,8   | 38,4   | 41,6   | 43,8   | 41,3   | 40,1   | 43,4   |
| Вес одного зерна (в мг) . . . . .                     | —     | 27    | 29     | 38     | 34     | 41     | 38     | 30     | 34     |

Таблица 19

Результаты устранения из удобрения ячменя фосфатов, калийных и азотистых соединений

Опыты на поле Хуз-Фильд в Ротамстеде

| Участок                                  | Удобрение                                        | Урожай зерна в 1000 англ. фунтов на акр |                            |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                          |                                                  | 5 лет<br>1883—<br>1886 гг.              | 5 лет<br>1887—<br>1891 гг. | 10 лет<br>1892—<br>1897 гг. | 10 лет<br>1898—<br>1901 гг. | 10 лет<br>1902—<br>1909 гг. | 10 лет<br>1910—<br>1919 гг. | 10 лет<br>1920—<br>1929 гг. | 10 лет<br>1930—<br>1939 гг. |
| 7                                        | Навоз . . . . .                                  | 2,31                                    | 2,78                       | 3,00                        | 2,88                        | 2,66                        | 2,56                        | 2,50                        | 2,05                        |
| A <sub>4</sub>                           | Полное удобрение (соли $NH_4$ , К и Р) . . . . . | 2,47                                    | 2,71                       | 2,67                        | 2,34                        | 2,24                        | 2,02                        | 2,25                        | 2,01                        |
| A <sub>3</sub>                           | Без фосфатов . . . . .                           | 2,27                                    | 1,71                       | 1,99                        | 1,68                        | 1,38                        | 1,26                        | 1,23                        | 1,23                        |
| A <sub>2</sub>                           | » калия . . . . .                                | 2,42                                    | 2,70                       | 2,76                        | 2,29                        | 2,01                        | 1,63                        | 1,81                        | 1,74                        |
| O <sub>4</sub>                           | » азота . . . . .                                | 1,86                                    | 1,57                       | 1,39                        | 0,98                        | 0,92                        | 0,74                        | 0,94                        | 1,19                        |
| Урожай соломы в 1000 англ. фунтов на акр |                                                  |                                         |                            |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| —                                        | Навоз . . . . .                                  | 2,82                                    | 3,15                       | 3,35                        | 3,37                        | 3,28                        | 3,35                        | 3,54                        | 2,43                        |
| A <sub>4</sub>                           | Полное удобрение (соли $NH_4$ , К и Р) . . . . . | 3,29                                    | 3,17                       | 3,14                        | 2,63                        | 2,61                        | 2,36                        | 2,83                        | 2,04                        |
| A <sub>3</sub>                           | Без фосфатов . . . . .                           | 2,86                                    | 2,03                       | 2,20                        | 1,75                        | 1,64                        | 1,56                        | 1,75                        | 1,44                        |
| A <sub>2</sub>                           | » калия . . . . .                                | 3,21                                    | 3,03                       | 3,07                        | 2,30                        | 2,20                        | 1,9                         | 2,16                        | 1,66                        |
| O <sub>4</sub>                           | » азота . . . . .                                | 2,03                                    | 1,58                       | 1,42                        | 0,95                        | 0,94                        | 0,90                        | 1,39                        | 1,30                        |

Результаты ротамстедских опытов изображены в диаграммах (рис. 11 и 12). Действие фосфатного голода проявляется в понижении урожая как соломы, так и зерна, причем прежде всего понижаются урожаи соломы. Калийный голод выявляется через более продолжительное время не потому, что калий менее необходим, а потому, что почва содержит его в большем количестве. Недостаток калия также прежде всего отражается на урожаях соломы. Азотное голодание проявляется сразу, снижая урожай как зерна, так и соломы до низкого уровня.

При недостатке снабжения фосфатами растения, повидимому, испытывают некоторые затруднения в питании калием (стр. 79). Грегори<sup>1</sup> показывает, что первая доза фосфатов увеличивает как листовую площадь, так и эффективность ее; однако последующие дозы увеличивают только темп роста. Таким образом, в кривой, показывающей отношения между количеством поглощенных фосфатов и количеством роста, имеется точка перегиба.

Фосфор входит как составная часть ядра (nucleus) и является существенным для деления клеток и для развития меристемной ткани. Далее фосфор требуется для нормальных преобразований углеводов и для эффективности хлоропластового механизма.

Окисление сахара в живых клетках, повидимому, вызывает сопутствующее образование фосфатов-гексоз. Гарден и Юнг<sup>2</sup> показали, что это происходит при дрожжевом брожении сахара, а Отто Мейергоф находит, что то же самое относится к продукции CO<sub>2</sub> в мускулах и, повидимому, вообще к углеводному дыханию живых клеток<sup>3</sup>.

Эффект, производимый на клубеньковые организмы, повидимому, указывает еще и на другое действие в клетке: фосфаты ускоряют переход из неподвижных в подвижные формы; применение томасова плака на пастбищах часто сопровождается замечательным развитием клевера (стр. 464).

Эти явления, повидимому, объясняют большое количество фосфорных соединений, накапливаемых в семени для потребности молодого растения, а также сравнительно большие количества фосфатов, потребляемые растениями из почвы в раннем периоде их жизни<sup>4</sup>.

В водных культурах у Бренчли<sup>5</sup> ячмень поглощал в первые шесть недель своей жизни достаточно фосфатов для полного нормального роста, однако в случае, когда фосфаты были изъяты в течение первых четырех недель, колосья совершенно не образовывались независимо от того, сколько фосфора давалось впослед-

<sup>1</sup> Proc. Fifth Internat. Bot. Congress, Cambridge, 1930, стр. 440.

<sup>2</sup> См. A. Harden, Alcoholic Fermentation. Longmans, Green & Co, 1923.

<sup>3</sup> Chemical Dynamics of Life Phenomena, Philadelphia, 1924. Harden дискусирует всю проблему в Nature, 1930, 125, 277, 313.

<sup>4</sup> О темпе поглощения питательных элементов см. стр. 40, а также F. Knowles and J. E. Watkin, Journ. Agric. Sci, 1931, 21, 612 (пшеница).

<sup>5</sup> «Water Culture Experiments», Annals of Botany, 1929, 43, 89.

ствии, а там, где он исключался на более продолжительный срок, внешний облик растения совершенно изменялся.

Избыток фосфатов сверх количества, потребного растению, иногда понижает урожай<sup>1</sup>. Это обыкновенно имело место на легких почвах и приписывалось ускорению процессов созревания, что вызывает уменьшение вегетативного роста. Иногда бывали указания на отравления фосфатами, но не имеется доказательств,

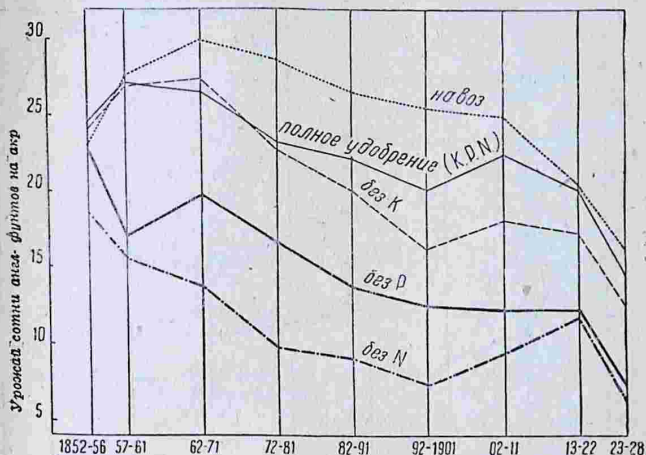


Рис. 11. Эффект на урожай зерна исключения разных питательных веществ. Ячмень (Хуз-Фильд, Ротамстед).

чтобы это происходило при нормальных условиях. Растения, по-видимому, являются неспособными взять полное количество фосфатов из почвенных или песчаных культур. Они обыкновенно усваивают не более чем примерно 20% от внесенных количеств<sup>2</sup>.

#### ЭФФЕКТ ФОСФАТОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЯ

Вообще замечается явная зависимость между количеством доставляемых растению фосфатов и количеством их, усвоенным растением. Этот вопрос обстоятельно изучался Нейбауером и положен в основу его метода определения количества усвояемых фосфатов в почве. Эти отношения принадлежат к логарифмическому

<sup>1</sup> Примеры см. Journ. Inst. Brewing, 1923, 29, 631 (ячмень); Journ. Min. Agric., 1926, 32, 893 (картофель). Этот предмет обсуждается автором в J. E. Russel, «Artificial Fertilizers», Min. Agric. Bull. 28, 1931, стр. 34 и след.

<sup>2</sup> Rothamsted Annual Report, 1930, стр. 47.



типу, причем кривые напоминают кривые уравнения Митчерлиха (стр. 120). На почвах, бедных фосфатами, внесение фосфатных удобрений (например, суперфосфата) может значительно повысить количество фосфора, поглощенного растением; при более высоком обеспечении почвы фосфатами такое же внесение фосфатных удобрений может повести лишь к незначительному дополнительному поглощению.

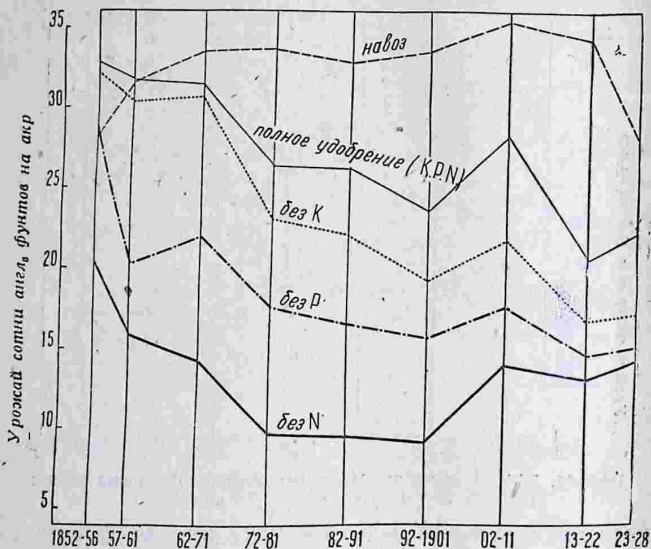


Рис. 12. Эффект на урожай соломы исключения разных питательных веществ. Ячмень (Хуз-Фильд, Ротамстед).

Добавочное количество фосфатов, усвоенное растением, в результате усиленного удобрения, не обязательно нарушает состав растения. Оно может обусловить лишь просто соответствующее увеличение роста, причем содержание фосфора в урожае остается без изменения. Однако иногда увеличение в росте отстает, и в этом случае содержание фосфора в растении повышается; это обычно случается на бедных почвах; фосфор, повидимому, удерживается растением в неорганических формах.

Некоторые моменты приведены в таблице 20 и на рис. 13<sup>1</sup>. Dusserre<sup>2</sup> при удобрении фосфором и калием получил не только

<sup>1</sup> См., например, E. M. Crowther, Basic Slag Committee Report, 1931.

<sup>2</sup> Annales de la science agronomique, 1923, 40, 73.

более высокий урожай, но также и более высокое процентное содержание фосфора и азота в луговых травах; A. L. Whiting и A. F. Неск<sup>1</sup> нашли более высокое процентное содержание фосфора в красном клевере и овсе, как в зерне, так и в соломе, при удобрении их фосфоритом. Однако при лучших условиях роста внесение фосфатов может не оказать никакого эффекта на урожай как в отношении количества, так и состава; они оказывали лишь слабое действие при опытах с пивоваренным ячменем в Ротамстеде,

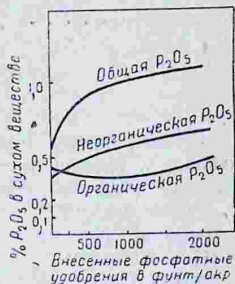


Рис. 13. Отношение между внесенными фосфатами и содержанием фосфора в сухом веществе. Сушка в вакууме при 100° С.

T. H. Mather.

равно, как и при опытах, производившихся Блейером и Липманом в Нью-Джерси<sup>2</sup>.

Таблица 1  
Эффект удобрения фосфатами на содержание фосфора в растениях, в процентах от сухого вещества

|                               |          | Почвы, бедные фосфатами |                    | Почвы, богатые фосфатами |                    |
|-------------------------------|----------|-------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|                               |          | Без внесения фосфатов   | Внесен суперфосфат | Без внесения фосфатов    | Внесен суперфосфат |
| Ячмень                        |          |                         |                    |                          |                    |
| Солома                        | $P_2O_5$ | 0,44 <sup>3</sup>       | 0,89 <sup>3</sup>  | —                        | —                  |
| Зерно                         | $P_2O_5$ | 1,31                    | 1,30               | 0,959 <sup>4</sup>       | 0,972 <sup>4</sup> |
| Пастбищные травы <sup>5</sup> |          |                         |                    |                          |                    |
|                               | $P_2O_5$ | 0,29                    | 0,71               | 0,96                     | 0,98               |
|                               | CaO      | 0,59                    | 0,94               | 1,16                     | 1,16               |
| Ежа сборная                   |          |                         |                    |                          |                    |
| Стебли                        | $P_2O_5$ | —                       | —                  | 0,98                     | 0,91               |
| Листья                        | $P_2O_5$ | —                       | —                  | 0,91                     | 0,91               |
| Стебли                        | CaO      | —                       | —                  | 0,574                    | 0,588              |
| Листья                        | CaO      | —                       | —                  | 0,847                    | 0,868              |

<sup>1</sup> Soil Sci., 1926, 22, 477 и 1927, 24, 17.

<sup>2</sup> New Jersey Agric. Expt. Station Report, 1923.

<sup>3</sup> T. H. Mather, Scientific Agric., 1929, 10, 35. Alberta wood soil, Pot Experiments.

<sup>4</sup> Rothamsted Averages, 1923, 24—25, Field Experiments.

<sup>5</sup> W. Godden, Journ. Agric. Sci., 1926, 16, 98. Подобные же результа-

Таблица 21

Процент  $P_2O_5$  на сухое вещество в травяном покрове

|                                     | Хорошие почвы |                                     | Бедные почвы |
|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|--------------|
| Марши Ромнея <sup>1</sup> . . . . . | 0,60          | Вельд в Трансваале <sup>3</sup>     | 0,10         |
| Шотландия <sup>2</sup> . . . . .    | 0,74          | Бечуана-Ланд <sup>4</sup> . . . . . | 0,04         |
|                                     |               | Виктория <sup>5</sup> . . . . .     | 0,10         |

Это отношение между снабжением фосфором и содержанием фосфора в урожае имеет большое практическое значение. Во всех странах имеются обширные площади почв, страдающих недостатком фосфатов, а вследствие этого страдает недостаток их и травяная растительность (табл. 21) настолько, что это может иметь следствием недостаточное снабжение фосфором и пасущихся животных. В таких случаях животные страдают от болезней (Deficiency diseases), которые могут быть очень серьезны; обстоятельные исследования этого вопроса были произведены в южной Африке Арнольдом Тейлером и его коллегами. Животные с большой жадностью поедают кости, даже загнивающие, и от этого становятся еще более подверженными заражению птомаинами<sup>6</sup>. Средствами борьбы против этих болезней является удобрение почвы суперфосфатом, или, если это является слишком дорогим, то кормление животных костяной мукой<sup>7</sup>. Подобные же болезни встречаются и в Австралии, где пахотные почвы вообще очень отзывчивы к применению суперфосфата. На маршах в Ромнее лучшие

ты получены во Франции G. Paturel (Journ. d'Agric. pratique, 1911, 21, 12—14), а также A. E. V. Richardson в Виктории (Victoria Journ. Dept. Agric., 1924, 22, 193—207 и 257—270); в обоих случаях неудовлявшаяся растительность содержала только 0,25 или 0,26%  $P_2O_5$ , тогда как удобрявшиеся травы содержали заметно больше.

<sup>1</sup> Содержится также 1% CaO. A. D. Hall и E. J. Russell, Journ. Agric. Sci. 1912, 4, 339. (Марши—избыточно увлажненные луговые угодья, обычно очень плодородные по осушению. —Прим. перев.).

<sup>2</sup> Содержится также 1% CaO. J. B. Orr, Mineral Constituents of Pastures, стр. 13.

<sup>3</sup> 0,32% CaO. H. Ingle, Journ. Agric. Sci., 1908, 3, 22.

<sup>4</sup> A. Theiler, 11 th and 12 th Vet. Repts., 1927 Union of S. Africa.

<sup>5</sup> H. Kincaid. Proc. Roy. Soc. Vict. 1911, 23, 363.

<sup>6</sup> A. Theiler H. H. Green and P. J. du Toit, Journ. S. Africa Dept. Agric., 1924, 8, 460.

<sup>7</sup> Идея кормления животных солями для пополнения недостатка минеральных веществ в травах издавна была в ходу среди фермеров-практиков. См. Mc Millan, Trans. Highland Agric. Soc., 1875, 7. 91.

пастбища для нагула скота являются и более богатыми фосфатами, чем бедные пастбища (Холл и Рассель)<sup>1</sup>; это одинаково наблюдается и в Англии и во Франции.

Отношение между снабжением фосфатами и количеством других элементов в растениях еще не вполне изучено. В листьях культур, подвергавшихся исследованию (стебли томатов, но не травяные смеси лугов), процент  $K_2O$  в сухом веществе возрастает с усиленным снабжением фосфатами; для томатов процент  $P_2O_5$  падает при снабжении калием (табл. 22)<sup>2</sup>.

Таблица 22  
Эффект удобрений на состав листьев

|                                                         | Процент на сухое вещество |        |          |            |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------|----------|------------|
|                                                         | N                         | $K_2O$ | $P_2O_5$ | Общая зола |
| Виноградные листья (Lagatu и Maumé)                     |                           |        |          |            |
| Полное удобрение . . . . .                              | 1,75                      | 1,80   | 0,25     | 3,80       |
| Без фосфора . . . . .                                   | 2,05                      | 1,41   | 0,12     | 3,58       |
| » калия . . . . .                                       | 1,40                      | 0,95   | 0,24     | 2,59       |
| » удобрения . . . . .                                   | 1,35                      | 0,83   | 0,13     | 2,31       |
| Листья томатов (О. Оуэн). Среднее за 4 года (1924—1927) |                           |        |          |            |
| Полное удобрение . . . . .                              | 4,010                     | 7,030  | 0,6673   | 31,09      |
| Без фосфора . . . . .                                   | 3,616                     | 5,249  | 0,5933   | 32,32      |
| » калия . . . . .                                       | 3,732                     | 1,679  | 0,8904   | 27,32      |
| » азота . . . . .                                       | 2,311                     | 6,035  | 0,5864   | 31,74      |

Почти с уверенностью можно сказать, что колебания в количестве фосфора оказывают влияние и на все остальные компоненты растений, может быть не исключая даже энзим. Трудно определяемые свойства, связываемые с понятиями о «качестве», по-видимому, возрастают с увеличением содержания фосфора в урожае. Натюрель показал, что лучшие вина содержат больше  $P_2O_5$  (около 0,3 г на литр), вина же 2-го качества и более низкие содержат ее соответственно меньше. Далее, если расположить урожаи винограда по качеству за разные годы в порядке содержания

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1912, 4, 339.

<sup>2</sup> По винограду: H. Lagatu et L. Maumé, Compt. Rend., 1921, 172, 129; 1924, 179, 728 и 932; 1925, 180, 1179; Compt. Rend. Acad. Agric. 1927, 13, 439; по томатам: O. Owen, Cheshunt Rpts., 1927, 13, 103 и Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 413.



в них  $P_2O_5$ , получается список, почти тождественный с порядком качества по оценке вина виноделами. Дэвис подчеркивал важность удобрения фосфатами культуры индиго<sup>1</sup>.

### КАЛИЙНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Калий оказывает эффект на растущие растения в нескольких отношениях.

1. Он связывается с эффективностью листа по ассимиляции углекислоты и образованию растительного вещества, а также с утилизацией синтезированных углеводов. Недостаток калия проявляется в уменьшении продукции сахара или крахмала на единицу площади листа у ячменя, а также, повидимому, в замедлении передвижения сахара в корни, стебли и т. д.<sup>2</sup>

Эти явления различаются в разных растениях, как это было хорошо продемонстрировано сравнением результатов, полученных Грегори для ячменя (1929) с результатами, полученными Маскелем и Джеймсом для картофеля и Найтингалем и его сотрудниками<sup>3</sup> для томатов.

Листья ячменя, недостаточно снабжаемого калием, содержали лишь незначительное количество сахара и не содержали крахмала, в то время как листья томатов содержали их значительное количество.

Найтингаль не мог получить явных доказательств замедления транслокации сахаров или гидрoлизa крахмала у томатов, испытывавших калийный голод.

2. Найтингаль считает калий существенным для восстановления нитратов в растениях: это является первой стадией в образовании протеина. В растениях, голодавших калием, нитраты не восстанавливались, а вследствие этого протеинов не образовывалось и сахара не использовались, накапливаясь таким образом в листе.

3. Грегори считает калий существенным для синтеза белков и деления клеток растущих растений. У ячменя, страдавшего калийным голодом, замечается мобилизация резервов калия,двигающегося из более старых тканей. В конечном итоге меристема побегов и корней продолжает таким образом расти в длину, тогда как вторичный рост в толщину стеблей и образование коры приостанавливаются. Эта высокая активность меристемы ведет к образованию ненормально большого количества побегов, из которых, однако, выживают только немногие.

<sup>1</sup> Pusa Indigo Pub. № 6, 1920.

<sup>2</sup> Новейшие критические исследования см. E. G. Maskell, *Annals of Botany*, 1927, 41, 327 и W. O. James, *ibid.* 1930, 44, 173. Эти указания относятся больше к сернокиислому, чем к хлористому калию. Эффект на хлорофилл исследовал J. Wladek, *Bull. Acad. Polonaise*, 1921, B, 143; 1920, B, 19; и в *Roczn. N. Roln. i. L.*, 193 23.

<sup>3</sup> G. T. Nightingale, L. G. Schermerhonn, W. R. Robbins, *New Jersey Agr. Expt. Sta. Bull.* 499, 1930.

4. Надлежащее снабжение калием усиливает у ячменя развитие корней.

5. Оно облегчает также снабжение растений водой.

Эффект калийного голодания на растущее растение распадается на две группы явлений в зависимости от снабжения азотом. При слабом снабжении азотом листья бываюг мелкими, и синтезируется лишь немного углеводов, но пропорция их по отношению к азотистым компонентам в растении, которыми растение также бедно, не является ненормальной. Растение становится хилым, скорее серо-пепельной окраски, листья его имеют тенденцию к преждевременному умиранию, которое начинается сначала на концах и распространяется вдоль внешних краев; в остальных отношениях оно не обнаруживает никаких резких ненормальностей до времени плодоношения или образования семян, когда как плоды, так и семена проявляют тенденцию к уменьшению в количестве, в размерах и в весе. Эти влияния являются общими. Их можно наблюдать на всех почвах, но в особенности хорошо на почвах песчаных или меловых, а также на некоторых болотистых почвах; как раз на этих почвах калийные удобрения и отличаются большим действием на все культуры.

С другой стороны, при обильном снабжении азотом поступление его в растение становится очень значительным; листья становятся крупными, но сравнительно мало эффективными благодаря недостатку калия, а потому производят углеводов в сравнительно малой пропорции по отношению к азотистым компонентам. Отсюда вытекает ненормальный избыток в растении азотистых компонентов, который ведет к разным нежелательным явлениям.

Таким образом, калий уравнивает одностороннее действие азота, который влияет на размеры листа; оба питательные элемента тесно связаны в своем действии.

В практике хорошо известно, что ни калийные ни азотистые удобрения не дают полного эффекта одни без надлежащего снабжения другими. Влияние калия на эффективность листа видно из таблицы 23 (стр. 82), где приводится вес кормовой свеклы, полученной на некоторых делянках в Ротамстеде, из которых одни не снабжались калием, а другие снабжались хорошо. В серии, где давалось обильное, но не избыточное удобрение азотом, вес листьев был одинаковый независимо от того, давались калийные удобрения или нет. Но в отсутствии калия листья оказывались приблизительно вдвое менее эффективными, давая лишь около половины корней по сравнению с делянками, где калий давался.

В годы, не благоприятные для роста растений, пшеница на делянках Бродбока, получившая азотные и калийные соли, дает явно лучшие результаты, чем на делянках, также получающих азот, но без калия. Принимая урожай на неудобренных делянках как показатель характера сезона, мы получаем следующие результаты для ряда хороших и плохих лет, показанные в таблице 24.

Таблица 23

Влияние калийных солей на действие азотистых удобрений.  
Ротамстед

|                                                       | Средний вес, кормовая свекла за 50 лет,<br>1876—1928 <sup>1</sup> |                 |                  |                            |                 |                  |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|----------------------------|-----------------|------------------|
|                                                       | Корни в 1 000<br>фунт/акр                                         |                 |                  | Листья в 1 000<br>фунт/акр |                 |                  |
| Недостаточно калия (серия 5) . . . . .                | 10,01                                                             | 15,01           | 21,26            | 2,35                       | 5,85            | 7,37             |
| Достаточно калия (серия 6) . . . . .                  | 9,03                                                              | 30,24           | 50,51            | 2,08                       | 6,29            | 11,65            |
| Азот, внесенный в удобрения (в<br>фунт/акр) . . . . . | —                                                                 | 86 <sup>2</sup> | 184 <sup>3</sup> | —                          | 86 <sup>2</sup> | 184 <sup>3</sup> |

Таким образом, калий повышает урожай в плохие годы почти до уровня благоприятных лет.

Таблица 24

Урожай пшеницы в 1 000 фунт/акр.  
Ротамстед

|                                             | № деля-<br>нок | За девять плохих<br>лет |        | За девять хороших<br>лет <sup>4</sup> |        |
|---------------------------------------------|----------------|-------------------------|--------|---------------------------------------|--------|
|                                             |                | Зерно                   | Солома | Зерно                                 | Солома |
| Без удобрения . . . . .                     | 4              | 0,55                    | 0,87   | 0,88                                  | 1,08   |
| Недостаточно калия . . . . .                | 11             | 1,00                    | 1,86   | 1,51                                  | 2,20   |
| Достаточно калия . . . . .                  | 13             | 1,70                    | 3,02   | 1,98                                  | 3,16   |
| Прирост, обязанный калию<br>(в %) . . . . . | —              | 60,3                    | 62,3   | 31,1                                  | 43,6   |

В плохие годы средние осадки составляли 32,55 дюйма (815 мм), считая годовые периоды с сентября по август, тогда как в благоприятные годы они составляли 27,10 дюйма (680 мм); неблагоприятные условия сезонов связываются с высокими осадками

<sup>1</sup> Исключая 1885 г., когда азотистые удобрения не применялись, в виду плохого урожая, и 1908 и 1927 как годы полного неурожая.

<sup>2</sup> В виде 400 фунтов аммиачных солей до 1915 г. и потом—412 фунтов сульфата аммония.

<sup>3</sup> Как в случае <sup>2</sup>, но с добавлением 2 000 фунтов рапсового жмыха.

<sup>4</sup> Плохими годами были: 1867, 1871, 1872, 1875, 1876, 1877, 1886, 1888; хорошие годы—1868, 1869, 1870, 1881, 1883, 1885, 1887, 1889, 1891.

и соответственно низкой температурой или недостатком солнечного сияния. Однако сходные же результаты получались и в случае других неблагоприятных условий. Подверженность болезням в результате избыточного удобрения азотом при снабжении калием уменьшается.

На делянках в Ротамстеде, получавших избыток азота, не без калия, пшеница легко подвергается ржавчине, а кормовая свекла поражению *Uromyces betae* и заболеванию черной бактериальной пятнистостью (Black bacterial blotch), тогда как окружающие делянки, одинаково подвергавшиеся инфекции, но получавшие соответствующее количество калийных удобрений, поражались гораздо меньше. На опытной станции в Воберне калийные удобрения смягчали нападения *Fusarium culmorum* на ячмень; относительное поражение составляло:

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Без калийных удобрений . . . . . | 47 |
| Сернокислый калий . . . . .      | 31 |

Ни суперфосфат ни азотистые удобрения не оказывали такого эффекта. На опытной станции Чешунт калийные удобрения уменьшали подверженность томатов «полосатой» болезни (Streak disease), а также болезни «пятнистого созревания» («Blotchy ripening») <sup>1</sup> (табл. 25).

Таблица 25

Урожаи и характеристика плодов томатов с растений, получивших различные количества питательных веществ

| Дозы питательных веществ | Дозы калия   |                    | Дозы азота   |                    | Дозы фосфатов |                    |
|--------------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|---------------|--------------------|
|                          | Тонны на акр | % пятнистых плодов | Тонны на акр | % пятнистых плодов | Тонны на акр  | % пятнистых плодов |
| 0 . . . . .              | 45,00        | 18,07              | 40,56        | 3,75               | 44,60         | 2,22               |
| 1 . . . . .              | 45,19        | 6,22               | 48,72        | 0,78               | 44,53         | 1,37               |
| 2 . . . . .              | 46,73        | 4,39               | 51,00        | 0,16               | 44,60         | 0,18               |
| 3 . . . . .              | 50,99        | 3,57               | 53,88        | 0,27               | 47,92         | 0,44               |

<sup>1</sup> Cheshunt Expt. Sta. 11-й отчет, 1925. Процентное содержание питательных веществ в удобрении:

|                                                      |     |      |     |    |
|------------------------------------------------------|-----|------|-----|----|
| Калий ( $K_2O$ ) . . . . .                           | 2,5 | 5    | 7,5 | 10 |
| Азот . . . . .                                       | 0   | 1,25 | 2,5 | 5  |
| Фосфаты (в пересчете на трифосфат кальция) . . . . . | 0   | 8    | 16  | 24 |

<sup>2</sup> 1 т=2240 англ. фунтов.



Число растений, пораженных «полосатой» болезнью, из общего числа 120 на каждой деланке было:

|                        | Полное удоб-<br>рение | Без калийных<br>удобрений |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Сорт Комета . . . . .  | 40                    | 78                        |
| » Кондайнред . . . . . | 13                    | 33                        |

Внешний вид листьев, получающих снабжение калием, не соответствующее азотистому, резко бросается в глаза. Цвет их становится тусклым, они отмирают от вершины и вдоль краев: внешность их такова, как будто они были обожжены; как травы, так и хлебные злаки, фрукты, томаты—все показывают эти симптомы. В более позднем сезоне листья созревают преждевременно и становятся «бронзовыми» или «медными». На более молодых листьях появляются маленькие коричневые крапинки, переходящие впоследствии в большие коричневые пятна; это замечается на картофеле и на молодых апельсиновых деревьях. Побеги фруктовых деревьев отмирают на вершинах в результате хилого роста, причем боковые почки поражаются меньше, и пропорция плодовых почек может сделаться необычно большой<sup>1</sup>.

Этот эффект калия в исправлении вредного действия избытка азота приписывается, по крайней мере частично, эффекту его на увеличение чистой продукции сахара и крахмала в листе<sup>2</sup>, с восстановлением таким образом более нормального отношения C/N, которое было нарушено избыточным снабжением азотом. Детальный анализ этих явлений был сделан Ф. Г. Грегори<sup>3</sup> и другими сотрудниками проф. Блэкмана, работающими в Ротамстеде (E. J. Maskell, 1927, W. O. James<sup>4</sup> и F. G. Richards). Калийные удобрения усиливают эффективность листа, но не увеличивают ни поверхности ни числа листьев; они понижают также темп дыхания (респирации). Грегори и Ричардс следующим образом резюмируют эффект недостатка различных питательных веществ.

<sup>1</sup> Изучение плодовых деревьев см. T. Wallace, Journ. Pomology, 1928, 7, 1. Томатов—W. F. Bewley and H. L. White, Ann. Appl. Biology, 1926, 13, 323. Листьев картофеля—W. O. James, Annals of Botany, 1930, 44, 173. Табака—W. W. Garner и др. Journ. Agric. Res., 1923, 23, 27. Апельсиновые деревья—H. S. Reed и A. R. C. Haas, Cal. Agric. Expt. Sta. Techn. Paper 11, 1923.

<sup>2</sup> Doby (Budapest) (Proc. Fifth Internat. Bot. Congress, Cambridge, 1930, стр. 499) установил, что активность амилазы и сахарозы в листьях сахарной свеклы, картофеля и ржи повышается при калийном голодании.

<sup>3</sup> Annals of Botany, 1929, 43, 119—161.

<sup>4</sup> Там же, 1930, 44, 173.

|             | П р и н е д о с т а т к е |                  |                                                                      |
|-------------|---------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|
|             | азота                     | фосфатов         | калия                                                                |
| Дыхание     | Легкое уменьшение         | Без эффекта      | Заметное повышение                                                   |
| Ассимиляция | То же                     | Легкое повышение | Заметное уменьшение, сопровождаемое приростом продукции <sup>1</sup> |

Вредный эффект калийного голодания на продукцию углеводов, повидимому, не является результатом патологических условий хлоропластид. Грегори высказывает мысль, что главное действие калия заключается в регулировании содержания в листе бикарбонатов, а вследствие этого и темпа диффузии  $\text{CO}_2$  через клетки к поверхности хлоропластов. Джемс считает это действие более сложным, охватывающим большую часть стадий образования крахмала, возможно вследствие увеличения поверхности энзим хлоропластов.

Эффект калия в повышении эффективности листа может объяснить, почему калийные удобрения хорошо действуют в холодные бессолнечные годы; это наблюдалось в Ротамстеде<sup>2</sup> на картофеле и в Чесхунте<sup>3</sup> на томатах.

Калийные соли, повидимому, облегчают поступление в растение воды. В Ротамстеде травы, не получающие калия, образуют не такой хороший травостой, как на прилегающих участках, хорошо снабжаемых калием; при этом замечаются анатомические различия<sup>4</sup>, но главной причиной является, повидимому, потеря тургора<sup>5</sup>. F. W. Morse<sup>6</sup> нашел при вегетационных опытах, что на просо, удобрявшееся сернокислым калием, почти не оказывали влияния широкие колебания в снабжении водой, тогда как без калия оно было гораздо более чувствительно. Wallace приписывает некоторые из эффектов недостатка калия на плодовых деревьях уменьшению снабжения водой.

До сих пор еще не было дано объяснения сильно выраженному эффекту калийных солей на культуры бобовых. На смешанном травяном поле клевера обладают меньшей способностью поглощения калия из почвенного раствора, чем злаковые травы<sup>7</sup>, и,

<sup>1</sup> Ф. Р. Туббс показывает, что результатом этого на злаках является, значительная переразвитость строения нижних колен, вследствие чего растения склонны к полеганию. *Annals of Botany*, 1930, 44, 147—160.

<sup>2</sup> Rothamsted Report. 1927—28, стр. 22.

<sup>3</sup> W. F. Bewley, *Ann. Applied Biology*, 1929, 16, 281.

<sup>4</sup> O. Norah Purvis, *Journ. Agric. Sci.*, 1919, 9, 338; см. также разницу в развитии корней (стр. 80).

<sup>5</sup> T. Weevers. *Rec. Trav. Bot. Neerland*, 1911, 8, 289.

<sup>6</sup> *Journ. Agric. Res.*, 1927, 35, 939.

<sup>7</sup> Lawes and Gilbert, *Phil. trans.*, 1900, 13, 192, 156.

при отсутствии калийных удобрений, они страдают от конкуренции злаков: полянки, страдающие калийным голодом в Ротамстеде, содержат заметно меньше клевера, чем полянки с полным удобрением, причем степень депрессии колеблется в зависимости от сезона. Еще нельзя считать достоверным, что эти эффекты связаны с синтезом белков<sup>1</sup>. Эффект калийных удобрений, выражающийся в повышении зимостойкости люцерны, приписывается увеличению количества углеводов и белков, накапливающихся в запас в корнях под влиянием калия<sup>2</sup>.

Эффект на созревание выражается очень заметно. Растения, голодающие калием, не только становятся хилыми в росте, какими бывают и растения, страдающие недостатком азота и фосфора, но они могут даже не достигнуть созревания<sup>3</sup>. При слабом снабжении калием семена образуются, но остаются мелкими; калийные соединения, в отличие от фосфатов и нитратов, оказывают большое влияние на вес отдельных зерен, как это можно видеть из сравнения таблицы 26 с таблицей 18 и 32 (стр. 117); действительно, лишение калия является вернейшим способом вызвать образование щуплого зерна.

Таблица 26

Эффект калийных солей на развитие ячменя.

Гельригель (1898)

|                                          | 0     | 23,5  | 47    | 70,5   | 94     | 188    | 282    |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| K <sub>2</sub> O (в мг) . . . . .        | 0     | 23,5  | 47    | 70,5   | 94     | 188    | 282    |
| Сухое вещество урожая (в г)              | 2 271 | 5 414 | 9 024 | 11 636 | 15 302 | 20 946 | 29 766 |
| Зерно (в % от сухого вещества) . . . . . | —     | 4,8   | 21,5  | 27,2   | 30,1   | 38,5   | 42,7   |
| Вес 1 зерна (в мг) . . . . .             | —     | 5     | 9,5   | 13     | 17     | 26     | 34     |

В Ротамстеде средний вес бушеля пшеницы за 10 лет, 1910—1919 (в англ. фунтах) был<sup>4</sup>:

| Без удобрения, дел. 3 | Навоз, дел. 2 | Полное удобрение, дел. 7 | Без азота, дел. 5 | Без калия, дел. 11 |
|-----------------------|---------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 61,5                  | 62,3          | 62,2                     | 61,8              | 60,7               |

<sup>1</sup> T. Weevers, Bioch. Zeitschr., 1917, 78, 354; J. Stocklasa, ibid., 1917, 82, 310—323.

<sup>2</sup> L. F. Graber, N. T. Nelson, W. A. Luekel, W. B. Albert, Wis. Res. Bull. № 80, 1927.

<sup>3</sup> H. Wiessmann, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1923, A, 2, 1.

<sup>4</sup> Другие примеры см. A. Jacob, Zeit. Pflanz. Düng., 1929, 13, 8, 61.

## ЭФФЕКТ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ НА СОСТАВ РАСТЕНИЯ

Калий легко поглощается растениями из почвы: действительно, из всех питательных веществ он является абсорбируемым наиболее легко<sup>1</sup>. Он имеет тенденцию скорее накапливаться в листьях и стеблях, чем в зерне (табл. 52, стр. 207); таким образом, калийные удобрения повышают процент калия и общего содержания золы в сухом веществе, но они понижают процент других составных частей золы—натрия, кальция, фосфора; это хорошо можно видеть на листьях и стеблях томатов (стр. 79) и на смешанных травах лугов в таблице 27; рост ослабляется, если содержание калия в растении падает слишком низко.

Таблица 27

*Состав травы на луговых участках в Ротамстеде.*

Среднее за 18 лет, 1856—1873

|                                         | С азотными удобрениями |       | Без азотных удобрений |       |
|-----------------------------------------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
|                                         | NP без калия           | НРК   | Только P без калия    | РК    |
| Делянки                                 | 4—2                    | 9     | 4—1                   | 7     |
| Процент в сухом веществе                |                        |       |                       |       |
| K <sub>2</sub> O . . . . .              | 0,98                   | 2,58  | 1,32                  | 2,77  |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .             | 0,59                   | 0,28  | 0,56                  | 0,12  |
| CaO . . . . .                           | 0,91                   | 0,60  | 1,17                  | 0,96  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 0,72                   | 0,58  | 0,65                  | 0,64  |
| Зола . . . . .                          | 6,18                   | 7,24  | 7,23                  | 8,02  |
| N . . . . .                             | 1,95                   | 1,55  | 1,58                  | 1,74  |
| Процент в золе                          |                        |       |                       |       |
| K <sub>2</sub> O . . . . .              | 15,80                  | 35,59 | 18,26                 | 34,60 |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .             | 9,52                   | 3,87  | 7,68                  | 1,53  |
| CaO . . . . .                           | 14,70                  | 8,27  | 16,22                 | 11,92 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 11,58                  | 7,96  | 8,93                  | 7,92  |

<sup>1</sup> Использование 90% калия и более, от внесенных калийных солей отмечалось Нейбауером, Боневцем и Шоттмиоллером, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1928, A, 12, 108; Landw. Versuchs-Stat., 1928, 107, 131; F. Honcamp и H. Wiessmann, Fortschr. Landw., 1928, 3, 931.



Уоллес (T. Wallace) дает следующие результаты, показывающие отношения между калием в листе и здоровым состоянием крыжовника<sup>1</sup>.

Эффект колебаний в снабжении калием на составные части органического вещества растений, при обычных условиях, не велик. Большинство работ производилось на сахарной свекле: Шнейдевинд, подводя итоги результатам, показывает, что калийные удобрения в среднем поднимают содержание сахара приблизительно на 0,3%, но они оказывают лишь незначительное влияние на чистоту сока. Анализы картофеля в Ротамстеде показывают, что, в то время как азотистые удобрения ясно повышают процент азота в клубнях, калийные удобрения слегка понижают его:

|                                                  |      |      |      |
|--------------------------------------------------|------|------|------|
| Количество внесенного $K_2O$ (в кг/га) . . . . . | 0    | 50   | 100  |
| % азота в сухом веществе клубней . . . . .       | 1,42 | 1,38 | 1,39 |

т. е. получается уменьшение процента протеина на 0,25 и соответствующий прирост в углеводах и золе. Более резко выраженное уменьшение в содержании азота и повышение в содержании углеводов получались в крайних случаях, когда давались избыточные количества азота; для кормовой свеклы на поле Барнфильд в Ротамстеде получены результаты, приведенные в таблице 28.

<sup>1</sup> Крыжовник, — сорта Кейрлес (Careless) и Уингем (Whinham). В «Journ. Kent. Farmers Union», 1929, 25, 172—177, Уоллес дает следующие цифры, показывающие эффект калийного удобрения на процентное содержание  $K_2O$  и  $P_2O_5$  в листьях и стеблях:

|                                 | Красная смородина   |          |                     |          | Крыжовник           |          |                     |          |
|---------------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
|                                 | Делянка с калием    |          | Делянка контрольная |          | Делянка с калием    |          | Делянка контрольная |          |
|                                 | Листья %            | Стебли % | Листья %            | Стебли % | Листья %            | Стебли % | Листья %            | Стебли % |
| В золе:                         |                     |          |                     |          |                     |          |                     |          |
| $K_2O$ . . . . .                | 13,08               | 10,95    | 6,42                | 7,82     | 23,03               | 27,24    | 4,45                | 6,69     |
| $P_2O_5$ . . . . .              | 4,46                | 8,05     | 5,57                | 8,43     | 3,50                | 10,82    | 7,76                | 16,51    |
| На сухое вещество               |                     |          |                     |          |                     |          |                     |          |
| $K_2O$ . . . . .                | 2,04                | 0,785    | 0,750               | 0,207    | 2,33                | 1,36     | 0,477               | 0,325    |
| $P_2O_5$ . . . . .              | 0,695               | 0,577    | 0,758               | 0,566    | 0,354               | 0,541    | 0,832               | 0,802    |
|                                 | На глинистых почвах |          |                     |          | На песчаных почвах  |          |                     |          |
|                                 | Здоровые            |          | Слегка поврежденные |          | Частичное выпадение |          | Полное выпадение    |          |
| Зола в сухом веществе . . . . . | 12,55               |          | 9,25                |          | 8,58                |          | 8,90                |          |
| $K_2O$ в золе : . . . . .       | 23,11               |          | 17,92               |          | 6,63                |          | 3,86                |          |

Таблица 28

Эффект калийных удобрений на состав кормовой свеклы при избытке азотистых удобрений.

Среднее 1878—1883 гг.<sup>1</sup>

|                                          | Без калийных удоб-<br>рений % | С калийными удоб-<br>рениями % | Без калийных удоб-<br>рений (в фунт/акр) | С калийными удоб-<br>рениями (в фунт/акр) |
|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                          | Д е л я н к и                 |                                |                                          |                                           |
|                                          | 6А                            | 6А                             | 5А                                       | 6А                                        |
| Сухое вещество в корнях . . . . .        | 13,76                         | 13,73                          | 2 583                                    | 4 347                                     |
| »        »        » листьях . . . . .    | 10,68                         | 10,24                          | 715                                      | 603                                       |
| Азот в сухом веществе:                   |                               |                                |                                          |                                           |
| Корни . . . . .                          | 1,49                          | 1,16                           | 38,6                                     | 50,2                                      |
| Листья . . . . .                         | 2,86                          | 2,86                           | 20,5                                     | 17,3                                      |
| Сахар в корнях (1877—1880 гг.) . . . . . | 8,68                          | 8,36                           | 1 696                                    | 2 407                                     |

## Другие элементы, влияющие на рост растений

### Металлы

Натрий не является, повидимому, существенным даже для растений засоленных маршей, хотя солонка \* лучше росла в присутствии соли, чем в отсутствии ее<sup>2</sup>. Некоторые пропашные культуры—кормовая и сахарная<sup>3</sup> свекла, а согласно Heinrich<sup>4</sup> также и горох отзываются на удобрение поваренной солью, и эффект от нее, повидимому, отличается от эффекта калийных солей. Более общее действие натрия выражается в том, что для многих растений он может частично, но не вполне, заменить калий в качестве питательного вещества; таким образом, он может замедлить на-

<sup>1</sup> См. Рассель (E. J. Russell) Artificial Fertilizers, Bull. 28, Min. Agric. 1931, стр. 43. О других исследованиях калийных удобрений см. «Arbeiten über Kalidüngung» O. Eckstein, A. Jacob и F. Alten (Landw. Versuchsstats. Berlin—Lichterfelde, 1931).

\* Растение из рода *Salicornia*, сем. *Chenopodiaceae*. Служит для добывания соли. Прим. перев.

<sup>2</sup> A. C. Halket, Annals of Botany, 1915, 29, 143—154.

<sup>3</sup> Rothamsted Report, 1930, стр. 34.

<sup>4</sup> Zeit. f. Pflanz. Düng., 1928, A. 10, 299.

ступление калийного голода, но не может устранить его совсем<sup>1</sup>. Гельригель (1898) нашел, что соли натрия всегда давали повышенные урожаи растений, даже тогда, когда калийные соли имелись в избытке (табл. 29).

Таблица 29

*Действие солей натрия на рост ячменя при малых и больших количествах солей калия.*  
Гельригель (1898)

| Внесено $K_2O$ (в мг)                                                 | 0     | 94     | 188    | 282    | 376    |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Получено сухого вещества при внесении солей натрия (в г) . . . . .    | 4,925 | 23,019 | 32,278 | 36,535 | 38,270 |
| Получено сухого вещества без прибавления солей натрия (в г) . . . . . | 2,658 | 15,638 | 29,724 | 34,897 | 36,281 |
| Разница от прибавления солей натрия . . . . .                         | 2,267 | 7,381  | 2,554  | 1,638  | 1,989  |

В сельскохозяйственной практике установлено, что соли натрия можно с большим успехом употреблять в качестве удобрения всюду, где в почве наблюдается некоторый недостаток калия<sup>2</sup>. J. A. Voelcker (1916) сделал интересное наблюдение, что едкий и углекислый натр, в отличие от других солей, кроме общего повышения урожая, вызывают повышение процента азота в зерне пшеницы. Сульфат и хлористый натрий повышали урожай, но за пределом известной, сравнительно низкой концентрации, дальнейшее увеличение количества хлористого натрия оказалось вредным.

Соли лития действуют отравляющим образом на растение. Старые опыты Гаунерсдорфера<sup>3</sup> были подтверждены Фелькером (1912), который нашел, что хлорид, сульфат и нитрат лития в количестве, соответствующем 0,003 % металла, были безусловно вредны пшенице; в меньших же дозах они, повидимому, вызывали усиление роста. Солями лития может быть вызвана болезнь—пятнистость листа (mottled leaf disease) на цитрусовых<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> См. также стр. 206. Обсуждение вопроса о протективном (защитном) действии натрия см. W. J. Osterhout, Univ. Cal. Publ. Bot., 1908, 3, 331, и Bot. Gaz., 1909, 48, 98.

<sup>2</sup> Более подробно см. Rhode Island Expt. Sta. Repts., 1905 до 1908, 19, 186; 20, 299; 21, 243; Krüger, Zeitschr. Ver. Deutsch Zuckerindus., 1914, 694—702; B. Schultze, Beitrag zur Frage der Düngung mit Natronsalzen (Landw. Versuchs-Stat. 1913, 79, 431 и 1915, 86, 323—330); E. J. Russell, Journ. Bd. Agric., 1915, 22, 393—406.

<sup>3</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1887, 34, 171—206.

<sup>4</sup> A. R. C. Haas, Bot. Gaz., 1929, 87, 630.

Соли цезия менее вредны (Voelcker).

Кальций. Недостаток кальция в пище растений ведет обычно к следующим явлениям.

1. Задержание роста и обесцвечивание корней. Maquenne и Demoussy<sup>1</sup> показали, что развитие корней гороха, проращиваемого в дистиллированной воде, прекращается после третьего или четвертого дня, но начинается снова с большей силой после внесения хотя бы следов сульфата кальция; 0,01 мг на каждое семя, что равняется 1/40000 веса сухого семени, вызвало образование корневых волосков и увеличение длины корней на 40%. Рид и Хаас<sup>2</sup> наблюдали подобное действие на корни молодых апельсиновых деревьев так же, как W. Newton<sup>3</sup>—на картофель, а J. M. Ginsburg<sup>4</sup>—на сою.

2. Появление на листьях коричневых пятен с последующим отмиранием их; появляющиеся новые листья часто бывают покрыты пятнами или хлоротичны. Оба эти наблюдения были сделаны Раумером и Келлерманом (1880), впервые серьезно изучавшими действие кальция, а также—Ридом и Хаасом.

3. Подвижность жиров в растении, так что они диффундируют на поверхность, как это было показано, в толстой кутикуле и в толстых пробковых слоях эндодермы растений, произрастающих на торфе (по Пристли)<sup>5</sup>.

Ни одно из этих явлений не было замечено Уоллесом (Wallace) на плодовых деревьях. Но, однако здесь замечался увеличенный размер листьев в первых стадиях кальциевого голодания<sup>6</sup>.

Раумер и более старые физиологи связывали кальций с образованием веществ, нужных для построения клеток, а также и протенна. Паркер и Труог<sup>7</sup> объясняют соединение с белковыми веществами предположением, что кальций необходим для осаждения фосфат, вырабатываемых в качестве второстепенного продукта при синтезировании белков растениями: поэтому растения, содержащие много белковых веществ, как, например, бобовые, богаты кальцием; также и молодые апельсиновые деревья, выращенные в песчаных культурах, имели много кальция и высокое отношение Ca/N<sup>8</sup>. J. D. Newton<sup>9</sup> отвергает этот взгляд на том основании, что

<sup>1</sup> Compt. Rend., 1917, 164, 979—985 и 165, 45—51.

<sup>2</sup> H. S. Reed and A. R. C. Haas, Cal. agric. Expt. Sta., Techn. Papers 4 и 11, 1923, и Amer. Journ. Bot., 1924, 11, 15—18. Об эффекте кальция на укоренение черенков см. Cerighelli, Bull. Soc. Bot. France, 1926, 73, 628—636.

<sup>3</sup> Newton, W., Journ. Amer. Soc. Agron., 1923, 15, 392.

<sup>4</sup> Soil Sci., 1925, 20, 1—13. Эффект образования клубеньков обсуждается W. A. Albrecht and F. C. Davis, Soil Sci., 1929, 28, 261.

<sup>5</sup> J. H. Priestley and Hinchcliff, The Naturalist 1922, 263—268; также J. H. Priestley, New Phytologist, 1924, 23, 1—19.

<sup>6</sup> Journ. Pomology, 1925, 4, 117.

<sup>7</sup> F. W. Parker and E. Truog, Soil Sci., 1920, 10, 49.

<sup>8</sup> H. S. Reed and A. R. C. Haas, Journ. Agric. Res., 1923, 24, 801—814.

<sup>9</sup> J. D. Newton, Soil., Sci. 1923, 15, 181. См. также D. Day, Plant Physiology, 1929, 4, 492—506.



горох и ячмень, выращенные в водных культурах, не поглощали азота и кальция в пропорциональных количествах. Большое содержание кальция в бобовых может не иметь ничего общего с азотом, а только с  $\text{CO}_2$ , выделяемой корнями растения.

Имеются некоторые указания на то, что кальций помогает нейтрализации органических кислот в растении. Покрытые пятнами листья лимонных деревьев, испытывающих недостаток кальция, значительно более кислы, но содержат заметно меньше кальция, чем нормальные листья<sup>1</sup>. Часть кальция содержится в кристаллах щавелевокислого кальция, находящегося в листьях, а часть его в виде пектата, цементирующего отдельные клетки между собой.

Вообще внесение кальция очень помогает растениям, страдающим от ненормального питания. В лаборатории вредное действие чистой воды или отдельных солей устраняется солями кальция легче, чем какими бы то ни было другими<sup>2</sup>. Гипс применяется на засоленных почвах в противодействие вредному влиянию избытка натрия. Известь вносится также и в том случае, когда избыток магния оказывает вредное действие. Поглощение растениями кальция и его перемещение в тканях происходят не совсем так, как других элементов. Поглощение азота, фосфора и калия происходит очень быстро в первые дни жизни растения, но оно заметно понижается позднее, так что процент этих элементов в сухом веществе понижается при продолжающемся росте растения. С другой стороны, поглощение кальция все время продолжается, и процент его по мере роста растения несколько повышается. Когда листья становятся старыми, то прежде чем они опадут, значительная часть азота и фосфора перемещается обратно в стебель или семена<sup>3</sup>, кальций остается в листьях и таким образом он возвращается в почву или попадает в солому.

Общее количество кальция, поглощенного растением, зависит от количества карбоната или сульфата кальция в почве; для некоторых шотландских пастбищ были получены следующие результаты.

CaO в % в сухом веществе травы<sup>4</sup>

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| Без удобрения . . . . .         | 0,59—1,16 |
| При внесении CaO . . . . .      | 0,77—1,37 |
| » » CaO + суперфосфат . . . . . | 0,98—1,56 |

Травы, страдающие недостатком кальция, могут не удовлетворять потребность пасущихся животных в извести и, таким образом, могут вызывать некоторые болезни<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> W. P. Kelley and A. B. Cummins, Journ. Agric. Res., 1920, 20, 161.

<sup>2</sup> R. H. True, Journ. Amer. Soc. Agron., 1921, 13, 91—107.

<sup>3</sup> Для цитрусовых деревьев см. W. P. Kelley and Cummins, Journ. Agric. Res., 1920, 20, 161—191.

<sup>4</sup> W. Godden, Journ. Agric. Sci., 1926, 16, 98. Суперфосфат содержит около 50% от своего веса сернокислого кальция или 61—63% гипса.

<sup>5</sup> J. B. Orr, Vet. Congress, Agr., 1929.

Барий и стронций не могут заменить кальция для питания растений. Мак-Харг (1919) показал, что карбонаты ядовиты, хотя при наличии карбоната кальция они вызывают усиление роста, причем стронций является более эффективным, чем барий. В опытах Voelcker (1915) внесение в почву даже 0,1% сульфата, гидрата или карбоната стронция не оказало никакого действия, а хлорид оказался явно токсичным.

Магний, как и фосфор, в конце концов перемещается к семени в противоположность кальцию и калию, которые остаются в листьях или в соломе<sup>1</sup>. Вильштеттер (1908) показал, что хлорофилл является соединением магния, что согласуется с наблюдением болезненного состояния хлорофильных телец и последующей этиоляции растений, которым недостает магния. Явление это хорошо видно в водных или песчаных культурах и было подробно изучено на апельсиновых деревьях, на которых хлороз, являющийся следствием магниального голода, распространялся из узкой полоски во всю длину основной жилки листа<sup>2</sup>; на сое<sup>3</sup> листья покрывались коричневыми пятнами и опадали; на плодовых деревьях в Лонг Аштоне (Long Ashton) образовались характерные коричневые пятна по середине листьев, которые преждевременно опали<sup>4</sup>.

Магниальное голодание замечается иногда и в природе. Уоллес высказывает мысль, что яблони и малиновые кусты могут нуждаться в магниальных солях там, где не вносятся навозное удобрение, так как без навоза недостаток магния вызывает преждевременное опадение листьев, которому предшествует характерная окраска, позволяющая распознать причину. В противоположность кальцию недостаток магния не отражается на корнях до сравнительно позднего времени. На табаке это голодание выражается иногда особым видом хлороза, известным под именем «Sand Drown», встречающимся в южной Каролине; но он может быть излечен внесением в почву магниальных солей. Эта особенная болезнь усиливается присутствием сульфатов<sup>5</sup>. На картофель магниальные удобрения иногда действуют благоприятно, но условия этого недостатка ясно определены<sup>6</sup>. Мархольдт считает существенным удобрение навозом, для того чтобы получить необходимый эффект<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Kelley and Cummins показали, однако, что калий не остается в листе citrusовых деревьев, тогда как магний остается (Journ. Agric. Res., 1920, 20, 161).

<sup>2</sup> H. S. Reed and A. R. C. Haas, Bot. Gaz., 1924, 77, 290—299.

<sup>3</sup> J. M. Ginsburg, Soil Sci., 1925, 20, 1—13.

<sup>4</sup> T. Wallace, Journ. Pomology, 1925, 4, 117 и 5, 1.

<sup>5</sup> W. W. Garner, J. E. Mc Murtrey, C. W. Bacon and E. G. Moss, Journ. Agric. Res. 1923, 23, 27—40.

<sup>6</sup> Rothamsted Expt. Stat Ann. Rept, 1921—22, стр. 19; M. Popp и J. Contzen, Landw. Jahrb., 1923, 58, 313; E. A. Mitscherlich и H. Wagner, там же, стр. 645.

<sup>7</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1923, 100, 315.

Кроме того магний, повидимому, необходим для образования масла. В водорослях, произрастающих в растворах, свободных от магниезальных солей, не содержится жировых шариков; семена масличных богаче магнием, чем крахмалистые семена.

Избыток магниезальных солей вызывает вредный эффект который, однако, уменьшается при прибавлении кальциевых солей; Loew<sup>1</sup>, действительно, считал, что растения требуют определенного отношения  $\text{CaO/MgO}$  в своей пище, но ни Gössel<sup>2</sup>, ни Леммерман<sup>3</sup> не могли подтвердить это.

В опытах Фелькера<sup>4</sup> окись магния, карбонат и хлорид оказали, подобно едкому натру, необычное действие, вызвав повышение содержания азота в зерне пшеницы. Сульфат не оказал подобного действия, хотя взятый в соответственно малых размерах дал повышение урожая зерна и соломы. Хлорид оказался ядовитым при более высоких концентрациях.

**Железо.** Хотя хлорофилл не содержит железа, но все же для его образования требуется небольшое количество солей окиси железа, причем его больше требуется при свете высокой, чем низкой интенсивности<sup>5</sup>. Оддо и Полаччи (Oddo и Polacci) высказывали мнение, что магниезальные соли пиролло-карбоксильной кислоты могут его заменить. Эта интересная гипотеза заслуживает дальнейших исследований<sup>6</sup>. Бореш (Borersch) считает, что внесение хроматов и манганатов в культурные растворы, свободные от железа, вызывает образование хлорофилла совершенно так же, как если бы туда было прибавлено железо<sup>7</sup>.

Обычно в почве содержится достаточно железа для удовлетворения потребностей растений<sup>8</sup>, так что добавлять его приходится только ботаникам-физиологам в водных и песчаных культурах; случается, однако, что на почвах с хлоротической растительностью начинается нормальное произрастание только после внесения солей железа. Недостаток железа в травах района Роторуа (Rotorua) в Новой Зеландии, как показал В. С. Астон<sup>9</sup>, причинял болезнь, известную под именем «кустовой болезни» (Bush sickness), поражавшую скот и в меньшей степени овец. Вредное влияние карбоната кальция на некоторые растения приписывается осаждению железа в почве<sup>10</sup> (стр. 450 и след.).

<sup>1</sup> U. S. Dept. of Agric., Div. of Veg. Phys., Bull. 18, 1899.

<sup>2</sup> Bied. Zentr. 1904, 33, 226.

<sup>3</sup> Landw. Jahrb., 1911, 40, 173 и 255.

<sup>4</sup> Journ. Roy. Agric. Soc., 1915, 76, 354; 1916, 77, 260.

<sup>5</sup> W. F. Gericke, Bot. Gaz., 1925, 79, 106—108.

<sup>6</sup> Gaz. Chim. Ital., 1920, 50, 54.

<sup>7</sup> K. Borersch, Ber. Deutsch. Bot. Ges., 1924, 42, 284—290.

<sup>8</sup> Некоторые данные см. L. H. Jones and J. W. Shive, Soil Sci., 1921, 11, 93—100.

<sup>9</sup> Trans. N. Zealand Inst., 1911, 44, 288 и новейшие данные; Journ. N. Zealand Dept. Agric., 1928, 36, 316 и ранние работы.

<sup>10</sup> Обсуждение этого осаждения см. H. S. Reed and A. R. C. Haas, Iron Supply in a Nutrient Medium (Bot. Gaz., 1924, 77, 290—299).



В растениях содержится очень мало железа и то не все в активной форме; часть его отлагается или осаждается в виде  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в листьях или тканях. Активная составная часть является органической и сравнивается Макенном<sup>1</sup> с гематогеном Бунге. Она все время перемещается по направлению к органам жизненных функций и репродукции.

Марганец является неизменной составной частью растения и, согласно Бертрана (Bertrand)<sup>2</sup> и Мак-Харга<sup>3</sup>, существенно необходим для функционирования оксидаз. Он, повидному, в особенности важен для несозревших тканей в точке роста; усиливает рост бобовых; благоприятствует также росту ячменя при малых концентрациях в водных культурах у W. E. Brenchley (1910).

Недостаток марганца ведет к некоторым патологическим явлениям в листе. Повидному, наиболее резкие примеры в полевых условиях были замечены на Род-Айлендской опытной станции. Так как почва была кисла, то ее известковали, чтобы сделать более нейтральной, после чего листья овса, шпината, латука, свеклы, бобов и кукурузы нередко становились хлоротическими.

Растворимые соли железа не оказывали никакого полезного действия, но сульфат или хлорид марганца в дозах 1—2 кг/га восстановили здоровый зеленый цвет и заметно повысили урожай шпината<sup>4</sup>. Более определенные патологические явления, известные под именем «серой пятнистой болезни» (Grey Speck disease Dörfleckenkrankheit)<sup>5</sup>, проявляются на овсе в результате недостатка марганца и излечиваются небольшим поверхностным удобрением сульфатом марганца (50 кг/га). Из других менее определенных явлений, приписываемых недостатку марганца, отмечаются недостаток аромата ананасов, выращиваемых на Гавайских островах, и некоторые трудности в выращивании томатов на известковых почвах Флориды; то и другое излечивается поверхностным удобрением сульфатом марганца. Требуются только небольшие количества, и запасы в почве обычно являются достаточными; при полевых опытах марганцевые соли повышали урожай в некоторых местах в Японии, Италии и в США, но не действовали в Ротамстеде<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> L. Maquenne et R. Cerighelli, *Compt. Rend.*, 1921, 173—273. Они определяли приблизительно количество железа порядка от 20 до 100 частей на 1 млн. частей сухого вещества.

<sup>2</sup> G. Bertrand et M. Rosenblatt, *Compt. Rend.*, 1921, 173, 333, показывают, что предполагавшиеся исключения Maumené (там же, 1884, 98, 1416) все содержат марганец.

<sup>3</sup> J. S. Mc Hargue, *Journ. Agric. Res.*, 1923, 24, 781; 1925, 30, 193.

<sup>4</sup> B. E. Gilbert, F. T. Mc Lean and L. J. Hardin., *Soil Sci.*, 1926, 22, 437.

<sup>5</sup> Claussen, *Deutsch. Landw. Presse*, 1923, 53, 326; G. Samuel and C. S. Piper, *Journ. Agric. S. Australia*, 1928, 31, 696—789; *Ann. Applied Biology*, 1929, 16, 493.

<sup>6</sup> Японские опыты помещены в *Bull. Coll. Agric.*, Tokyo, 1906 и след., а итальянские опыты—в *Studie Ricerche di chimica agraria*, Pisa, 1906—8; вегетационные опыты производились также J. A. Voelcker'ом на Вобэрн-



Количества, превышавшие потребности растений, причинял поранения корней и хлороз листьев (стр. 111).

Медь неизменно присутствует в растениях и, согласно Макуэппе и Demoussy<sup>1</sup>, перемещается в точки наибольшего жизненного значения, как будто она играет активную роль в интрацеллюлярном метаболизме, в чем, однако, никаких очевидных доказательств не имеется. В водных культурах Бренчли не было замечено никакого полезного влияния, вредный же эффект получался уже при 1 части сернокислой меди на 10 000 000 частей воды и при следах меди—в обыкновенной дистиллированной воде.

Известны два случая, когда внесение медной соли в почву улучшило рост растений. На Флоридских болотах (Florida Everglades) богатая известью торфянистая почва показала повышение урожая разных овощных и других культур в результате внесения 56 кг/га медного купороса. Повидимому, этот результат объясняется прямым питанием, так как такой же эффект получается при применении этой соли прямо на листья<sup>2</sup>. Второй случай был в Голландии. J. Hudig и C. Meyer<sup>3</sup> наблюдали, что посевы, росшие на некоторых вновь разделанных песчаных или болотистых почвах, страдавших недостатком кальция, проявляли серьезные симптомы голодания: пожелтение листьев, за которым следовало отмирание кончиков листьев. Разведение лугов было почти невозможно на этих почвах: на второй год после посева травы пропадали, кроме *Holcus latanus*, который не подвергался вредному действию. Применение медного купороса в количестве 60 кг/га оказалось удовлетворительным средством.

Результаты получились неожиданные. Растения, обработанные таким образом, в случае появления «серой пятнистой» болезни («grey fleck») не поддавались лечению марганцевыми солями; повидимому, медь каким-то образом противодействовала эффекту марганца.

Кобальт и никель. Эти элементы всегда присутствуют в растениях<sup>4</sup>, но не имеется никаких очевидных данных, указывающих на выполнение ими каких-либо полезных функций.

Алюминий включается Mazé в число существенных питательных веществ и считается Стоклайзом<sup>5</sup> и Sommerом<sup>6</sup> полезным.

ской опытной станции (Journ. Roy. Agric. Soc., 1903, 64, 348—364). См. также E. P. Deatrick, Cornell Mem., 1919, 19, 371.

<sup>1</sup> Compt. Rend., 1920, 170, 87.

<sup>2</sup> R. V. Allison, O. C. Bryan and J. H. Hunter, Florida Agric. Expt. Sta. Bull. 190, 1927; O. C. Bryan, Journ. Amer. Soc. Agron., 1929, 21, 923. См. также O. Owen, «Effect of Copper Sulphate on Tomato Plants», Ann. Applied Biology, 1929, 16, 430—437.

<sup>3</sup> Zeit. für Pflanz. Düng., 1926, 8, 14—52.

<sup>4</sup> G. Bertrand et Mokragatz, Ann. Sci., Agron. 1925, 42, 225—229.

<sup>5</sup> Biochem. Zeitsch., 1918, 91, 137.

<sup>6</sup> A. L. Sommer, Univ. Cal. Pub. Agric. Sci., 1926, 5, 57—81.

В больших количествах он вреден и является, повидимому, отчасти причиной вредного действия, испытываемого растениями на кислых почвах<sup>1</sup>.

#### Неметаллы

Хлор не необходим растению в больших количествах, однако Маэе находит, что в небольших дозах он полезен. Это положение подтверждено по отношению люцерны С. Ломаницем<sup>2</sup>. Качество ячменного зерна улучшается, когда растение получает небольшие дозы хлора<sup>3</sup>. Тем не менее существует еще в значительной степени неуверенность в способе действия хлора<sup>4</sup>. Хлористый натрий полезен для сахарной и кормовой свеклы, но не для картофеля. Табак увеличивает урожай в весе и улучшает структуру листа без ущерба горючести, пока количество хлора не превышает 20 фунт/акр (22,5 кг/га)<sup>5</sup>. Более высокие дозы хлора продолжают еще повышать урожай, но понижают качества горючести; еще большие дозы задерживают рост и делают листья толстыми и ломкими. Дюпон<sup>6</sup> нашел, что растения, получающие хлориды в количествах, не оказывающих вредного действия, зеленее, пышнее и испаряют меньше воды, чем растения, получающие эквивалентное количество нитратов или сульфатов. Он предполагает, что ион хлора проникает в растение легче, чем ион других элементов. Это влияние на уменьшение испарения может являться результатом повышения концентрации клеточного сока. Эффект этого действия во всяком случае выражается в поднятии температуры листа в жаркий день, что является преимуществом для растения, пока оно в состоянии выносить это, но серьезным недостатком немедленно после того, как эта точка перейдена. Кормовая и сахарная свекла и ячмень благоприятно относятся к применению хлора в удобрениях: все они выносливы к высоким температурам. Картофель лучше растет в прохладных условиях, и удобрение хлоридами не приносит ему пользы.

К концу жизни растения хлориды вызывают ускорение отмирания листьев, что в свою очередь способствует, как предполагается, ускорению созревания. Это является преимуществом для ячменя, но отрицательным моментом для картофеля. Солома злаков содержит меньше сухого вещества при удобрении хлоридами, чем при сульфатах.

В более значительных количествах, однако, ион хлора стано-

<sup>1</sup> См. стр. 429; также K. Miyake, Journ. Biol. Chem., 1916, 25, 23—28; Mc Lean and Gilbert, Soil Sci., 1927, 24, 163—175.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1924, 18, 353.

<sup>3</sup> Rothamsted Ann. Rept., 1923-4, стр. 18; Artificial Fertilizer Agric. Bull. 1931, стр. 72.

<sup>4</sup> См. F. Czapek, Biochemie d. Pflanzen, 1920, II, стр. 518.

<sup>5</sup> «Symposium on Tobacco Research», Journ. Amer. Soc. Agron., 21, 113.

<sup>6</sup> Ann. Sci. Agron., 1924, 41, 369.

вится вредным для всех культур, в особенности для картофеля, который страдает одинаково в отношении и качества и количества. Кормовая и сахарная свекла значительно более выносливы.

Большие количества хлора вредны, и вред от избытка хлористого натрия обычное явление на почвах, засоленных или подверженных затоплению водой. Вредное влияние особенно ясно выражается там, где токсичным является катион (J. A. Voelcker, 1916 и след.).

В естественных условиях растения получают измеримые количества хлоридов (главным образом в виде хлористого натрия) в дождевой воде, и количество это выше в более влажной западной части Англии, чем в восточной. В Ротамстеде количество хлора, приносимого ежегодно осадками, равняется в среднем 16 англ. фунтам на акр и колеблется между 10,3 и 24,4<sup>1</sup> фунта главным образом в зимние месяцы. Ближе к морю количество хлора становится очень высоким, доходя, согласно вычислениям Миллера (N. H. J. Miller), в дождевой воде от Гебридских островов<sup>2</sup> по направлению к поименованным в таблице пунктам до следующих величин.

|                                      | Ежегодные<br>осадки<br>(в дюймах) | Хлора на акр<br>(в англ. фун-<br>тах) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Laudale . . . . .                    | 76,89                             | 1 685                                 |
| Butt of Lewis <sup>3</sup> . . . . . | 40,57                             | 6 884                                 |
| Monach . . . . .                     | 47,21                             | 2 723                                 |
| Barrahead <sup>4</sup> . . . . .     | 33,93                             | 5 753                                 |

Фтор в небольших количествах рассматривается как необходимый элемент японскими и французскими исследователями<sup>5</sup>.

Готье и Клаусман<sup>6</sup> утверждают, что удобрение в 5 кг/га аморфного фтористого кальция сопровождалось повышением урожая хлебных злаков от 5 до 18%, а для корнеплодов повышение урожая в некоторых случаях оказалось значительно выше; это положение, однако, нуждается в подтверждении.

Иод также рассматривается Мазе и японскими исследовате-

<sup>1</sup> E. J. Russell and E. H. Richards, Journ. Agric. Sci., 1919, 9, 309.

<sup>2</sup> Journ. Scottish Met. Soc., 1913, 16, 141—158.

<sup>3</sup> Осадки собирались на высоте около 70 футов (20 м) над уровнем моря.

<sup>4</sup> Собирались на высоте 620 футов (186 м) над уровнем моря.

<sup>5</sup> P. Maze (1919); Suzuki и Aso Bull. Coll. Agric., Tokyo, 1903, 5, 473; O. Loew, ibid., 1904, 6, 161.

<sup>6</sup> Compt. Rend. 1919, 168, 976; 169, 115.



лями как элемент, необходимый для жизни растений. Этот вопрос имеет практический интерес в виду того, что медицинские авторитеты усматривают связь между иодом и зобом у человека; возможна также связь между иодом и некоторыми расстройствами у животных<sup>1</sup>. Кроме того чилийская селитра содержит иод, тогда как синтетическая не содержит его, и производилось уже много экспериментальных работ с целью обнаружить, не имеет ли чилийская селитра какой-либо дополнительной ценности. Факты, однако, подавляюще говорят против какого-либо повышения урожая от добавлений иодистых соединений<sup>2</sup>. Равным образом и содержание иода в растениях не всегда повышалось при возрастающем снабжении им; если же иод и входит в растение, то он скорее имеет тенденцию оставаться в стеблях и листьях, чем проникать в клубни. Урожай содержат обычно от 0,3 до 3 гранов иода (0,02—0,2 г) на гектар; почва содержит около 2 000—5 000 г, тогда как с дождем приносится около 12 г/га.

Серя является существенной составной частью растения и встречается в более или менее значительных количествах в семействе Brassica, например, в капусте и брюкве. Исключение сульфатов из растворов водных культур приводило к пожелтению и покрытию бурыми пятнами листьев сои, а также к бурому обесцвечиванию корней<sup>3</sup>, а на табаке—к однородному хлорозу растений, отличавшемуся от хлороза, происходящего от недостатка магния или калия (стр. 84, 93); на фруктовых деревьях эффект недостатка серы сходен с эффектом недостатка азота, но не в такой резкой степени<sup>4</sup>.

Сульфаты, повидимому, имеют особое значение в теплых и засушливых условиях: такие случаи встречаются в Калифорнии<sup>5</sup>, в южном Орегоне и в Виктории (Австралия)<sup>6</sup>; в обоих случаях сульфат аммония является лучшим удобрением, чем селитра<sup>7</sup>, хотя по крайней мере на калифорнийских почвах он действует не лучше, чем смесь натриевой селитры с сернокислым натрием. Суперфосфат, который содержит гипс, является лучшим удобрением, чем чистый фосфат кальция, и сернокислый калий для люцерны лучше, чем хлористый калий.

Во влажных районах сульфаты тоже оказались полезными: Даймонд<sup>8</sup> показал, что они повышали урожай культур, богатых

<sup>1</sup> J. B. Orr and I. Leitch, Med. Res. Council Special Rpt, 123, 1929. W. Godden резюмирует результаты в Agricultural Progress, 1931, 8, 81—94.

<sup>2</sup> W. Gaus und R. Griesbach, Zeit. f. Pflanz. Düng. 1929, A, 13, 321; полный и интересный обзор.

<sup>3</sup> J. M. Ginsburg, Soil. Sci., 1925, 20, 1—13.

<sup>4</sup> T. Wallace, Journ. Pomology, 1925, 4, 117 и 1930, 8, 23.

<sup>5</sup> C. B. Lipman и W. F. Gericke, Soil Sci., 1918, 5, 81.

<sup>6</sup> Mary D. Glynn, Roy. Soc. of Vict., 1929, 42, 30.

<sup>7</sup> W. W. Johnstone, Soil. Sci., 1926, 21, 233; W. L. Powers, Journ. Amer. Soc. Agr., 1927, 19, 1007 (по сводке полевых результатов).

<sup>8</sup> T. S. Dymond, F. Hughes and C. W. T. Jupe, Journ. Agric. Sci., 1905, 1, 217—229.



протенном, хотя не повышали урожаев злаковых хлебов и пастбищ. Работники в Висконсине<sup>1</sup> также получили благоприятные результаты, как и F. J. Alway с люцерной в Миннесоте<sup>2</sup>, в особенности в случаях, когда растения содержали меньше 0,25% серы на сухое вещество. Док (Doak), экспериментируя с люцерной в Новой Зеландии, также нашел, что поверхностное удобрение гипсом и даже серой повышало процентное содержание серы в сухом веществе, поднимая его от 0,26 до 0,4 или 0,5%, а в некоторых случаях повышало также и урожай<sup>3</sup>.

Марстон и Брайльсфорд Робертсон изучали эффект соединения серы в растениях на их кормовую ценность для животных. Они пришли к заключению, что часть серы, усвоенная растениями, превращается в цистин—единственную аминокислоту, в которой она встречается, и, по их мнению, единственное вещество, из которого животные могут усваивать серу. Все животные требуют некоторого количества серы, но в особенности нуждаются в ней овцы благодаря большому проценту цистина в кератине или в волоках шерсти<sup>4</sup>.

**Кремний.** Кремнию уделялось большое внимание прежними физиологами растений в питании злаков, так как предполагалось, что он придавал прочность соломе. Полевые опыты в Ротамстеде опровергли этот взгляд: ни солома ячменя, ни травы не укреплялись при удобрении силикатом натрия. Но при этом обнаружился интересный факт, что силикаты повышали урожай ячменя на делянках, страдавших недостатком фосфатов (табл. 30). Такой же результат был получен впоследствии для овса в водных культурах Э. Вольфа и Крейцхаге<sup>5</sup>. Эти явления изучались Холлом и Моррисоном (1906), которые пришли к заключению, что силикаты действуют, способствуя повышению усвоения растениями фосфорной кислоты; таким образом, местом этого действия являются растения, а не почва.

Против этих взглядов возражали О. Леммерманн<sup>6</sup> и Р. А. Фишер<sup>7</sup>, которые предполагают, что силикаты увеличивают только количество усвояемого фосфора в почве. Однако могут иметь место действия того и другого рода. Бренчли, Маскел и Уорингтон<sup>8</sup> показывают, что эффективность фосфора возрастает, и, таким образом, нормальный фосфатный эффект усиливается, способствуя образованию большого количества побегов, колосьев и плодonoся-

<sup>1</sup> E. B. Hart and W. H. Peterson, Wisconsin, Res. Bull. № 14, 1911; W. Pitz, Journ. Agric. Research, 1916, 5, 771.

<sup>2</sup> Proc. First Intern. Congress of Soil Sci., Washington, 1927.

<sup>3</sup> B. W. Doak, New Zealand Journ. Sci. and Tech., 1929, 11, 25.

<sup>4</sup> H. R. Marston and T. Brailsford Robertston, Australian Council Sci. Ind. Res. Bull. 39, 1928.

<sup>5</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1884, 30, 161—197.

<sup>6</sup> Zeit. f. Pflanz. Düng. 1929, A, 13, 28—39. Критический обзор.

<sup>7</sup> Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 132—139.

<sup>8</sup> Ann. Applied Biology, 1924, 14, 45—82.

Таблица 30  
Эффект силикатов на рост ячменя, 1864—1904.

Ротамстед

|                                    | Урожай очищенного зерна (в бушелях) |             | Урожай соломы (в англ. центнерах) |             | Отношение: Зерно: Солома |             |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|                                    | Без силиката                        | С силикатом | Без силиката                      | С силикатом | Без силиката             | С силикатом |
| Только нитраты . . . . .           | 27,3                                | 33,8        | 16,2                              | 19,8        | 85,1                     | 86,6        |
| Нитраты + фосфаты . . . . .        | 42,2                                | 43,5        | 24,6                              | 25,8        | 87,2                     | 85,8        |
| Нитраты + калий . . . . .          | 28,6                                | 36,4        | 17,9                              | 21,7        | 80,6                     | 85,0        |
| Нитраты + фосфаты + калийн. соли . | 41,2                                | 44,5        | 25,3                              | 27,6        | 82,7                     | 82,1        |

щих цветков. Указаний на частичную замену фосфора кремнием не имеется; этот взгляд согласуется с опытами на поле Хуз-Фильд, где силикаты повышают степень повреждаемости урожая зерна, тогда как фосфаты понижают ее.

Большой интерес к этой проблеме был проявлен в Германии и Японии, так как в известное время представлялось, что это открывало возможность замены импортных фосфатов своими силикатами. Но надежды эти не осуществились<sup>1</sup>.

Титан. Титан встречается во всех почвах и во всех растениях, обычно в количествах 1 мг Ti/kg веса зеленой массы. Является ли он существенным для жизни растений—неизвестно. Вегетационные опыты А. Немеца и В. Кааса показали, что он усиливает рост горчицы, гороха и люцерны, если вносился в форме титаната или титано-цитрата натрия<sup>2</sup>. Однако Бланк и Альтен<sup>3</sup> не могли подтвердить этого. Более новых исследований для проверки не делалось<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Дальнейшую информацию см. у O. Lemmermann и H. Wiessmann, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1922, A, 1, 185. Jennings, Soil Sci., 1919, 7, 201. Th. Pfeifer, Mitt. deutsch. Landw. Gesell., 1923, стр. 196. P. L. Gile and J. G. Smith, «Colloidal Silica and the Efficiency of Phosphates», Journ. Agric. Res. (1925), 31, 247—260. W. Krüger and G. Wimmer (1928), «Kann die Phosphorsäure bei der Ernährung unserer Kulturpflanzen teilweise durch Kieselsäure ersetzt werden?», Bieder. Zentr., 57, 414. Zeitsch. für Zuckerind., 1927, 127—194. H. Wiessmann (1925), «Effect of Silicic Acid on Morphological and Anatomical Structure of Rye Straw Grown with a Deficiency of Phosphate», Zeit. f. Pflanz. Düng., 1925, A, 4, 73—83.

<sup>2</sup> Biochem. Zeitschr., 1923, 140, 583.

<sup>3</sup> Journ. Landwirt., 1924, 72, 103.

<sup>4</sup> Обсуждение этой проблемы см. у H. O. Askew, New Zealand Journ. Sci. and Tech., 1930, 12, 173—179; Gabrielle Bertrand и C. Voronca—Spirt, Compt. Rend., 1929, 188, 1199 и 189, 73, занимались вопросом встречаемости титана в растениях.

Бор. Бор является существенным для развития некоторых, но не всех мотыльковых. К. Уорингтон (1923) показал, что бобы (broad beans) достигали полного развития лишь в случае, когда им давались следы бора, и никакой другой элемент не мог заменить его (рис. 14). Наилучшие результаты были получены при количествах 1 части  $H_2BO_3$  на 1 миллион частей питательного



Рис. 14. Влияние борной кислоты на развитие бобов в водных культурах. Каждый ряд получает «полное удобрение»; правый — ничего больше; остальные четыре получают следы борной кислоты (K. Warington, 1923).

раствора; количества, превышавшие 1 часть на 5 000 частей, оказывались уже вредными. Бор, повидимому, связан каким-то образом с кальциевым питанием растения. Наиболее яркий эффект его проявляется, однако, в развитии клубеньков (стр. 307). После того, как бактерии вошли в корни и начали размножаться, главная сосудистая система корня дает ответвления в ткань, содержащую бактерии, снабжая их углеводами и другими растительными продуктами и удаляя азотистые соединения, производимые бактериями. Бренчли и Торнтон (1925) показали, что эта ответвляемая система редко образуется в отсутствии бора: бактерии остаются лишенными снабжения энергией от растения и вследствие этого ста-



новятся паразитами на протоплазме клеток растения-хозяина. Из небобовых растений требует бора дыня; злаковые же, повидимому, не требуют его. Бренчли и Уорингтон в Ротамстеде<sup>1</sup> нормально выращивали ячмень совершенно без бора; однако калифорнийские работники утверждают, что небольшое снабжение им необходимо<sup>2</sup>. Для томатов бор считается существенным, и при отсутствии его они заболевают<sup>3</sup>. Для сои он дает преимущество, но не является существенным<sup>4</sup>. Избыток сверх очень малых количеств, требующихся растению, становится вредным (стр. 113) и автору неизвестно явных случаев, когда соединения бора обладали бы удобрительной ценностью в полевой практике<sup>5</sup>.

### Физиологический баланс

Давно уже было признано, что ни одноклеточные организмы ни высшие растения не могут жить в чистой воде или в растворах какой-либо одной соли; эффект в таком случае выражается больше, чем одним голоданием, а переходит в серьезный вред, причиняемый движением ионов из растения в раствор и другими специфическими действиями, присущими данной соли<sup>6</sup>. Растение продолжает жить только в случае, если культурный раствор является достаточно сложным по своему составу.

В этих явлениях участвует, повидимому, два ряда факторов: оптимальная пропорция различных питательных элементов для обеспечения максимального роста и «антагонизм» ионов в растворе.

Тоттингем<sup>7</sup> и Шайв<sup>8</sup> придавали большое значение отношению между различными питательными веществами и составили списки «лучших», «средних» и «плохих» отношений. Последующие опыты заставляют сомневаться, существует ли какое-либо «оптимальное» отношение: А. Р. Дэвис<sup>9</sup> не мог найти какой-либо статистически заслуживающей внимания разницы в весе урожаев (хотя и замечалась разница в составе) независимо от того, применялись ли растворы «лучшие» или «средние», точно так же Хогланд и Шарп<sup>10</sup> получали удовлетворительный рост в широких пределах смеси до тех пор, пока общее снабжение и концентра-

<sup>1</sup> Annals of Botany, 1927, 41, 167.

<sup>2</sup> A. L. Sommer and C. B. Lipman, Plant Physiology, 1926, 1, 231.

<sup>3</sup> D. R. Hoagland, California Agric. Expt. Sta. Monthly Bull., 16, 562, 1927.

<sup>4</sup> G. H. Collings, Soil Sci., 1927, 23, 83.

<sup>5</sup> См. также у J. A. Voelcker (1915).

<sup>6</sup> О токсическом влиянии монофосфата калия и сульфата аммония на сою см. J. W. Shive, Soil Sci., 1918, 5, 87 и M. I. Wolkow, ibid. 123—150.

<sup>7</sup> Physiol. Reserches, 1914, 1, 133—245.

<sup>8</sup> Ibid. 1915, 1, 327—397; также в Journ. Agric. Res., 1920, 18, 357—378.

<sup>9</sup> Soil Sci., 1921, 11, 1—32.

<sup>10</sup> Journ. Agric. Res., 1919, 18, 73—117.



ция существенных элементов было надлежащим. Р. Тру<sup>1</sup> показывает, что необходимо присутствие известного минимума кальция, но в остальных отношениях способность растений к приспособлению и внутренней компенсации позволяет растениям расти одинаково хорошо в широких пределах концентраций различных солей.

Однако имеются пределы колебаний, вне которых растение начинает страдать. «Плохие» растворы Шайва уступают «хорошим».

Детальные прямые исследования оптимальных пропорций весьма трудны, так как не представляется возможности прибавлять ионы изолированно, а только в парных сочетаниях.

Грегори<sup>2</sup>, однако, проанализировал математически большое число экспериментальных результатов Джонстона и находит, что катионы оказывают гораздо больший эффект на рост растений, чем анионы.

Растения, растущие в почве, менее чувствительны к пропорции питательных элементов, чем растения в водных культурах. Некоторые из явлений водных растворов, повидимому, следует приписать к вторичным действиям, как, например, изменения в pH. Однако существует и некоторый «антагонизм» между ионами в растворе, в особенности в крепких растворах. Этот «антагонизм», повидимому, отличается от явлений питательного эффекта, который обычно проявляется в разведенных растворах и который может быть приписан разнице в питательной ценности различных элементов<sup>3</sup>.

В почве наблюдаются противоположные эффекты в случае большого преобладания питратов над калием (стр. 82); возможно также, что калий и магний, а равно кальций и магний каким-то образом ассоциируются (стр. 94). Твердых оптимальных отношений не имеется, но имеются некоторые минимальные потребности в калии, кальции, и без сомнения, и в других элементах, которые колеблются с составом питательной среды<sup>4</sup>.

Лататю и Моме (1921, 1928), в Национальной школе сельского хозяйства в Монпелье, произвели значительное количество исследований виноградной лозы, причем их метод заключался в анализе листьев растений, получавших соответственно полные и неполные удобрения, из которых устранялись N, P или K; образцы брались через регулярные промежутки времени, от мая до октября. Устранение какого-либо из этих трех питательных элементов

<sup>1</sup> Journ. Amer. Soc. Agron., 1921, 13, 91—107.

<sup>2</sup> Proc. Roy. Soc., 1928, B., 102, 311—327.

<sup>3</sup> См. Carl Philipson, Svensk. Bot. Tidskrift, 1924, 18, 343—370.

<sup>4</sup> Другой пример представляет так называемый «калийно-известковый закон» Эренберга (Landw. Jahrb., 1919, 54, 4), согласно которому известность уменьшает количество калия, берущееся растением, и может, таким образом, понижать урожай на почвах, бедных калием.

вело к усиленному поглощению двух остальных, и результатом этого усиленного поглощения была депрессия в потреблении исключенного элемента, так что растение могло содержать его даже меньше, чем если бы оно росло без всякого удобрения. Таким образом, на составе растения сказался нарушенный баланс питательных веществ; в растениях, таким образом, вызывались различные изменения, включая и понижение урожая<sup>1</sup>.

Ненормальная питательная среда легче всего исправляется кальциевыми солями, особенно сульфатом кальция, чем какими-либо другими веществами; отсюда и вытекает преимущество этой соли при разделке засоленных земель. Это наблюдение и некоторые из опытов Остерхаута<sup>2</sup> привели к идее «антагонизма» между кальцием и натрием, но, повидимому, более вероятным является, что причина эффекта лежит или в помощи против голодания или во влиянии одного иона на поглощение растением другого<sup>3</sup>.

### Внешний вид растений, как диагностика внешних условий

На основании сказанного на предыдущих страницах можно составить таблицу, однако, очень неполную в настоящее время, указывающую внешние признаки растущего растения, зависящие от некоторых внешних условий. Эти внешние признаки в деталях сильно колеблются для различных растений и в зависимости от комбинации условий; многие из них не легко поддаются описанию, и если бы встретилась необходимость пользоваться ими не только в главных чертах, то следовало бы подвергнуть их специальному изучению соответственными экспериментами методом вегетационных опытов. Ротамстедские делянки очень богаты такими примерами, и тщательные описания и характеристика растений были зарегистрированы и накопились в нашей библиотеке. В Бернбурге растения выращивались в вегетационных опытах, и внешность их регистрировалась цветной фотографией<sup>4</sup>. Плодовые деревья детально изучались Т. Уоллесом в Лонг-Аштоне<sup>5</sup>. Разные ссылки и детали можно найти на предшествующих страницах при рассмотрении отдельных факторов.

<sup>1</sup> По данному вопросу см. Walter Thomas, Science, 1929, 70, 382.

<sup>2</sup> Jahrb. wiss. Bot., 1908, 46, 121—136.

<sup>3</sup> H. S. Reed and A. R. C. Haas, Journ. Agric. Res., 1923, 24, 753—758; Cal. Agric. Expt., Sta., Tech. Paper, 4, 1923; см. также Carl Philipson, Svensk. Bot. Tidskrift, 1924, 18, 343—370 (на англ. языке).

<sup>4</sup> Рисунки воспроизведены в Zeitschr. des Vereins d. deutsch. Zuckerind., 1927; Mitt. Anhalt. Versuchs-Stat., Bernburg 60—65.

<sup>5</sup> Результаты опубликованы в Journ. of Pomology, 1925, 4, 117 и с полными подробностями в Ann. Applied Biology, 1930, 17, 649.

| Лист                                 |                                                                                          |                                                                   |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Плохой рост листа                    |                                                                                          |                                                                   |
| 1. Карликовые растения               | Желтоватая окраска                                                                       | Недостаток азота                                                  |
|                                      | Сероватая                                                                                | Недостаток фосфора или калия                                      |
|                                      | Серо-синеватый налет (glaucus)                                                           | Затруднение в получении воды, избыток растворимых солей и т. д.   |
| 2. Высокие веретенообразные растения | —                                                                                        | Недостаток света близ почвы                                       |
|                                      | —                                                                                        | Слишком густой травостой растений                                 |
| 3. Плодовые деревья                  | Желтый, оранжевый или красноватый цвет, обычно с красноватыми пятнами                    | Недостаток азота (все английские фрукты)                          |
|                                      | Тускло-пурпуровый цвет, изменяющийся в бронзовый, часто с пурпуровыми или бурыми пятнами | Недостаток фосфора (все английские фрукты)                        |
|                                      | Тускло-зеленые, бурые или сероватые ожоги по краям                                       | Недостаток калия                                                  |
|                                      | Бронзовая окраска                                                                        | Недостаток калия (апельсины) <sup>1</sup>                         |
|                                      | Пожелтение, плохой рост, преждевременное опадение листьев                                | Конкуренция трав и другой растительности                          |
| Хлороз или пожелтение листа          | Однородный по всему листу                                                                | Недостаток железа                                                 |
|                                      |                                                                                          | Избыток карбонатов кальция, натрия, магния или калия <sup>2</sup> |
|                                      |                                                                                          | Избыток марганца                                                  |
|                                      |                                                                                          | Недостаток серы (табак)                                           |
|                                      | Пятнами, распространяясь от средней жилки листа в стороны                                | Недостаток магния                                                 |
|                                      | Мелкая пятнистость                                                                       | Недостаток кальция                                                |
|                                      | Пятнистость                                                                              | Недостаток калия                                                  |

<sup>1</sup> H. S. Reed and A. R. C. Haas, Cal. Agric. Expt. Sta, Tech. Paper № 11, 1923.

<sup>2</sup> См. С. В. Lipman, Soil. Relationships and Citrus Chlorosis; Phytopathology, 1921, 11, 301—306.

Продолжение

|                                                                            |                                                                                                     |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                            | Пожелтение листьев и появление ожогов на вершине и от краев внутрь                                  | Недостаток калия (злаки, томаты, фрукты)                                      |
|                                                                            | Пожелтение листьев и отмирание от средней жилки кнаружи                                             | Недостаток азота                                                              |
| Полосы на листе                                                            | Бурые пятна, похожие на ожоги (фруктовые деревья)                                                   | Недостаток калия                                                              |
|                                                                            | Бурые пятна главным образом в середине                                                              | Недостаток магния                                                             |
| Преждевременное опадение листьев                                           | Бурые пятна                                                                                         | Недостаток кальция<br>Недостаток калия <sup>1</sup> , магния, азота, фосфатов |
| Богато-зеленые листья и большие толстые стебли                             | —                                                                                                   | Обильное снабжение азотом                                                     |
| Темноокрашенные листья, тенденция к сморщиванию                            | —                                                                                                   | Недостаток калия по отношению к азоту                                         |
| Пестрая внешность травяного покрова, местами темнозеленая, местами светлее | —                                                                                                   | Кислотность почвы                                                             |
| <i>Корни</i>                                                               |                                                                                                     |                                                                               |
| Очень хилые                                                                | Кислотность. Недостаток кальция или фосфатов, плохая аэрация; недостаточный дренаж; глинистая почва |                                                                               |
| Большое развитие мочковатых корней                                         | Хорошая аэрация; песчаные почвы                                                                     |                                                                               |
| <i>Плоды</i>                                                               |                                                                                                     |                                                                               |
| Блестяще-красные (яблоки)                                                  | Недостаток азота. Конкуренция трав                                                                  |                                                                               |
| Пятнистость (томаты). Недозрелый вид                                       | Недостаток калия                                                                                    |                                                                               |

<sup>1</sup> Уоллес указывает, что опадение листьев в результате недостатка калия обычно начинается с концов побегов и простирается вниз, так что более старые листья сохраняются дольше. Опадение от недостатка других элементов начинается с основания побегов, так что более старые листья опадают раньше.



|                          |                                                  |
|--------------------------|--------------------------------------------------|
| Хлоротическая внешность  | Недостаток азота или железа                      |
| Тускло-бронзовая окраска | Недостаток фосфора                               |
| <i>Семена</i>            |                                                  |
| Замедленное созревание   | Избыток воды; избыток азота; недостаток фосфатов |
| Отсутствие созревания    | Большой недостаток калия                         |

### Отсутствие вредных веществ

**Кислоты, щелочи, ионы водорода и гидроксиды.** Из того факта, что растения плохо растут на кислых и щелочных почвах, было выведено заключение, что водород и гидроксильные ионы вредны. Они безусловно вредны в больших количествах: внесение в культурный раствор или в почву достаточно сильной кислоты или щелочи, как, например,  $\text{HCl}$  или  $\text{NaOH}$ , скоро убивает растение. Но меньшие концентрации, соответствующие величинам реакции в естественных почвах, представляют более трудную проблему, потому что изменения в реакции действуют на некоторые питательные вещества, в особенности на кальций и железо, заставляя их осаждаться или устраняя их действие иным путем. Поэтому нельзя с уверенностью сказать, является ли вредное влияние следствием прямого действия иона водорода или гидроксильных ионов на растения или косвенного, возникающего вследствие недостатка некоторых необходимых питательных веществ.

Опыты обычно производятся в водных или песчаных культурах; рН самых различных величин может быть осуществлено посредством применения моно-, ди- или трифосфатов калия или иных оснований в питательной среде<sup>1</sup>. Некоторые затруднения возникают из того обстоятельства, что поглощение растением питательных веществ вызывает постоянные изменения реакции питательной среды. Это устраняется частым возобновлением раствора или употреблением растворов в больших объемах или применением каких-нибудь способов, увеличивающих буферность.

Ионы  $\text{OH}$  более ядовиты, чем ионы  $\text{H}$ . Хогланд показал (1917), что состояние кислотности до рН 5,16<sup>2</sup> благоприятствует росту

<sup>1</sup> Например, см. у Д. Р. Хогланда (D. R. Hoagland), 1917.

<sup>2</sup> О значении  $\text{OH}$  см. стр. 177. В ротамедском растворе ячмень растет хорошо при рН 3,8 (стр. 428).

проростков ячменя, тогда как более сильная кислотность вредна, а при 2,16—гибельна. Щелочность гораздо более вредна, чем кислотность: растворы сильнее, чем pH 8,26, оказывали вредное действие, а растворы сильнее pH 9,40 убивали растение. Salter и Mc Ilvaine (1920) получили лучшее произрастание в слегка кислой среде: для пшеницы, сои и люцерны pH = 5,94, а для кукурузы pH = 5,16; pH 2,96 оказывало вредное действие, а 2,16 было смертельным (рис. 15). W. L. Powers также получил лучший рост в слегка кислой среде<sup>1</sup>.

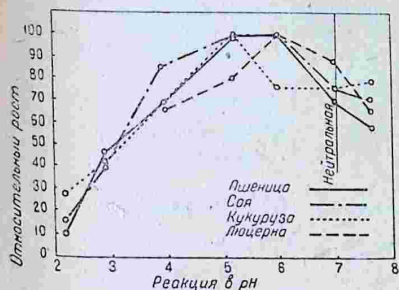


Рис. 15. Отношение между концентрацией водородного иона (pH) и ростом растений в водных культурах (Salter и Mc Ilvaine, 1920).

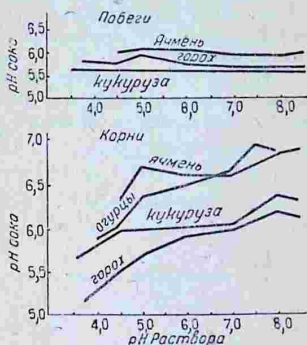


Рис. 16. Реакция клеточного сока под влиянием реакции среды.

С первого взгляда эти результаты кажутся несовместимыми с тем фактом, что почва, имеющая pH 5 или 6, становится после известкования значительно плодороднее для тех же растений. Тем не менее дальше будет показано (стр. 208), что известь оказывает ряд благоприятных влияний на почву и что pH в размере 5 или 6 обычно связано со свойствами, не желательными для плодородия почвы. Даже в лабораторных культурах нельзя полностью избежать ковенных влияний. A. G. Mc Call и I. R. Naag<sup>2</sup> доказывают, что во всяком случае хотя часть вреда, причиняемого пшенице кислотностью (pH от 4 до 7), обязана голоданию железом, тогда как H. S. Reed и A. R. C. Naas<sup>3</sup> приписывают вредный эффект

<sup>1</sup> Soil Sci., 1927, 24, 1. Водные культуры осложнялись изменением реакции, которая имеет место в течение роста растения. О некоторых стабильных растениях см. Р. Цинцадзе. Landw. Versuchs-Stat., 1927, 105, 267.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1921, 12, 69—77.

<sup>3</sup> Amer. Journ. Bot., 1924, 11, 78—84.

высокого рН (8 или 9) на корни грецкого ореха главным образом голоданию кальцием: когда было внесено больше кальция, растение продолжало расти. Измерения Терона (J. J. Thegon)<sup>1</sup> доказывают возможность, а также пределы прямого действия (рис. 16); кислотность сока корней несколько возрастала с усилением кислотности среды, но кислотность сока листьев и стебля не менялась: она оставалась приблизительно равной рН 6. Это является, повидимому, обычной величиной для растительных соков. Вычисления, сделанные Каппеном (Карпен) для сока корней, дали цифры от 5,5 до 6,5<sup>2</sup>. Наружная часть корня растения имеет реакцию, вероятно, около рН 5,5 или даже меньше. В почве рН редко переходит пределы от 4,5 до 8,5 (стр. 181).

Кислотность корней имеет тенденцию уменьшаться с увеличением снабжения азотом<sup>3</sup>. Так сок корней клевера имеет меньшую кислотность, чем у пречихи и у злаков. Установлены следующие величины рН.

| Исследователи      | Гречиха            | Клевер красный |
|--------------------|--------------------|----------------|
| Труог и Меас ham . | 4,0—4,03           | 5,6—5,9        |
| Каппен . . . . .   | 4,9—5,3            | 6,2            |
| Аберсон . . . . .  | 5,7—5,9            | 7,9—8,4        |
| » . . . . .        | 4,8 (зрелое раст.) | 5,8—6,1        |
| Наас . . . . .     | 5,4—5,9 (всходы)   | —              |
| Стоклаза . . . . . | 6,2                | 6,6            |

Леммерман (1907) утверждал, что бобовые резко отличаются от злаковых, имея меньшую кислотность сока; но хотя это часто может случаться, Каппен<sup>4</sup> и Стоклаза<sup>5</sup> оба показывают, что это не является общим правилом. Экспериментальные трудности велики, и имеющиеся факты настоящего времени, повидимому, не позволяют делать обобщения<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Cal. Pub. Agric. Sci., 1924, 4, 413—444.

<sup>2</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1918, 91, 1—40. См. также A. R. C. Haas Soil Sci., 1929, 9, 341 и C. B. Clevenger, ibid. 1919, 8, 217.

<sup>3</sup> W. H. Pearsall and J. Ewing, Annals of Botany, 1929, 43, 27.

<sup>4</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1918, 91, 1—40.

<sup>5</sup> Ber. Deutsch. Bot. Ges., 1924, 42, 183.

<sup>6</sup> Новейшую дискуссию вопроса см. у W. Thomas, Plant Physiology, 1930, 5, 443, по работе которого цитированы выше приведенные цифры; также у James Small, «Hydrogen Ion Con. cocentration in Plant Cells and Tissues», Protoplasma Monographien, Berlin, 1929.

Известное отрицательное влияние атмосферы промышленных городов на растения приписывается отчасти присутствию в ней кислоты, которая поражает как листья, так и корни. Wieler<sup>1</sup> нашел, что на усвоение углекислоты в сильной степени влияет двуокись серы. Наибольший вред причиняется в сырую погоду, когда устьица более широко открыты и газ может свободно проникать в ткани листьев. Crowther и Ruston (1911) получили следующие урожаи тимopheевки в сосудах, показывающие, что кислая вода постепенно убивает растение.

Таблица 31

Действие кислой дождевой воды на рост тимopheевки. Crowther и Ruston (1911)

Вес сухого вещества в граммах, полученный при регулярном поливе растений

|                       | Дождевой во-<br>дой из дере-<br>вья (нейтра-<br>лизованной) | Дождевой во-<br>дой, собран-<br>ной в лиссе<br>(кислой) | Раствором серной кислоты, на<br>100 000 частей воды |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                       |                                                             |                                                         | 1                                                   | 2    | 4    | 8    | 16   | 32   |
| 1-й урожай, 1908 г. . | 28,0 г                                                      | 23,8 г                                                  | 30,5                                                | 28,7 | 28,8 | 24,8 | 23,8 | 14,1 |
| 2-й » 1909 » .        | 24,9 »                                                      | 17,5 »                                                  | 18,2                                                | 17,8 | 10,0 | 8,2  | 1,8  | 0    |
| 3-й » 1910 » .        | 14,7 »                                                      | 6,6 »                                                   | 12,0                                                | 8,0  | 3,9  | 3,7  | 0    | 0    |

**Соли металлов.** В горнопромышленных районах сельские хозяйства иногда жалуются на то, что их посевам наносится вред продуктами отбросов—обычно солями металлов, спускаемых с заводов прямо в реку, в особенности там, где вода нужна для орошения или где, как в Японии, рис выращивается на заливаемых полях. Вред, нанесенный пастбищам свинцовыми рудниками Кардиганшира<sup>2</sup>, был исследован Гриффитом (I. I. Griffith) в Abergy Stwyth. Клевер особенно чувствителен. Сильное известкование оказалось полезным средством.

Цинк также оказывает вредное влияние на почву некоторых областей районов Уэльса<sup>3</sup>.

Mazé считает следы цинка необходимыми (1919). В. Е. Бренчли (1914) при опытах с большими количествами не удалось найти определенных указаний на стимулирующее действие цинка

<sup>1</sup> Bied. Zentr., 1908, 37, 572.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1919, 9, 366.

<sup>3</sup> В Ротамстеде была исследована почва сада из Флинтшира, содержащая 0,78% цинка. Она, как и следовало ожидать, оказалась чрезвычайно неплодородной.



в водных культурах, хотя Жавилье (Javillier)<sup>1</sup> утверждал, что нашел прирост в урожае при культурах в почве. Эренберг (1910) заключает, что соли цинка всегда ядовиты, когда действуют непосредственно на растения, но они могут повести к более успешному произрастанию посредством какого-то косвенного действия, оказываемого на самую почву (стр. 380).

Большое количество опытов показало, что соли меди очень ядовиты в водных культурах или там, где они действительно приходят в соприкосновение с растением; иногда присутствие даже следов меди в дистиллированной воде вредно. Это свойство медных солей находит себе полезное применение при удалении водорослей из воды и уничтожении сорных трав. Например, 3% раствор медного купороса разбрызгивается по хлебным полям ранней весной в размере 50 галлонов на акр (560 л/га) для уничтожения полевой горчицы (*sinapis*)—одной из самых назойливых сорных трав на легких почвах. Раствор удерживается на шероховатых горизонтальных листьях горчицы и убивает растение, а по гладким вертикальным листьям пшеницы скатывается, не причиняя большого вреда. Амосом<sup>2</sup> было найдено, что даже нерастворимые сложные соли меди, находящиеся в бордосской жидкости, которой обрызгивают плодовые деревья для уничтожения грибных болезней, задерживают ассимиляцию листьями углекислоты.

Соли меди, повидимому, не так ядовиты в почве, как в водных культурах (Russel и Darbishire, 1907).

Соли марганца. В некоторых областях Гавайи почва содержит большое количество марганцевых солей, оказывающих вредное влияние на ананасы, задерживающих развитие корней и вызывающих хлороз листьев. Признаки описаны Е. В. Вилькоксом и В. П. Келли (W. P. Kelley)<sup>3</sup>; действие это приписывается происходящему в растении взаимодействию марганца с железом<sup>4</sup>.

Соли закиси железа ядовиты и рассматриваются обычно как одна из причин бесплодия почвы, в которую воздух имеет мало доступа.

Соли алюминия много изучались в качестве одной из причин вредного влияния, приписывавшегося прежде кислотности почвы (стр. 429). В то время как они, повидимому, оказывают благотворное влияние при слабой концентрации (стр. 96), при более сильной они вредны, в особенности в кислых почвах.

В. Е. Бренчли нашел, что соли мышьяковистой кислоты гораздо более ядовиты, чем соли мышьяковой кислоты. Их употребляют для уничтожения сорных трав. Greaves нашел доказа-

<sup>1</sup> Seventh Int. Congress Appl. Chem. Section VII, Agric. Chem. 1910, 163.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci. 1919, 9, 366.

<sup>3</sup> Hawaii Bull. 28, 1912. См. также W. T. Mc George, Soil Sci. 1923, 16, 269.

<sup>4</sup> А. Риппель. Biochem. Zeitsch. 1923, 140, 315.

тельства того, что соединения мышьяка стимулируют находящиеся в почве организмы, фиксирующие азот<sup>1</sup>, в то же время Грин (Green) изолировал бактерии, способные превращать мышьяковистые соли в мышьяковые и наоборот<sup>2</sup>.

Прекрасно действующим противоядием присутствию какой-либо из указанных солей металлов—как причины неплодородия почвы—является внесение большого количества извести.

Соединения бора, приносимые с гор водой, служащей для орошения, наносили вред деревьям цитрусовых и грецкого ореха в южной Калифорнии, вызывая пожелтение и отмирание листьев. Нормальные листья содержали менее 100 частей бора на миллион сухого вещества; поврежденные же листья содержали от 360 до 1 100 частей на миллион<sup>3</sup>.

Разные другие вещества. Сероводород чрезвычайно ядовит, так же как и роданистый аммоний, который прежде доставлял затруднения в качестве посторонней примеси к серно-кислному аммонiu. Теперь он встречается очень редко. К ядовитым азотистым соединениям принадлежат нитриты, которые необходимо устранять из синтетического нитрата кальция, употребляемого для удобрения; дициан-диамид, образующийся из цианамида кальция, и соли аммония при слишком сильной концентрации. Длительность вредного действия ни одного из этих веществ в почве не является, однако, продолжительной, так как все они превращаются в нитраты. Перхлораты (соли хлорной кислоты) вредны и встречаются иногда в азотнокислом натре, но их теперь тщательно удаляют.

**Вещества, вредные в больших количествах.** Карбонат кальция. В большом количестве карбонат кальция оказывает вредное действие на некоторые культуры до такой степени, что они прекращают свой рост. Действие это, повидимому, косвенное, являющееся отчасти следствием осаждения железа, отчего растения заболевают хлорозом, отчасти также следствием целого ряда изменений химических и физиологических свойств почвы в результате излишка карбоната кальция. Это разъясняется на странице 313 и последующих.

**Соли магния.** Ядовитость солей магния открыта Тенантом (1799) при изучении явно вредного действия некоторых известняков, найденных вблизи Донкастера. Тем не менее современные исследования<sup>4</sup> магниезальных известняков не привели к открытию какого-либо вредного действия. Действительно, при про-

<sup>1</sup> Journ. Agric. Res. 1916, 6, 389—416.

<sup>2</sup> H. H. Green 5-th и 6-th Report, Veterinary Research, South Africa, 1918, 593—624.

<sup>3</sup> W. P. Kelley and S. M. Brown, Hilgardia, 1918, 3, 445. Об эффекте на кислых почвах см. J. S. M. Hague, Journ. Agric. Res., 1923, 24, 781.

<sup>4</sup> См. например, New Jersey Bull. 267, 1914 и, с другой стороны, Durham Coll. Bull. 12, 1915.

ведении вобернских (Woburn) опытов Фелькер (1910) получал существенное повышение урожая пшеницы при применении магния ( $MgO$ ), пока применяемые количества были не особенно велики. Но растворимые соли, сульфаты и в особенности хлориды вредны. Лоев приводит случаи, когда соединения нерастворимого магния были причиной бесплодия. Ни один из подобных случаев, однако, не встречался автору при наблюдениях, производимых им в Англии. Почва Гринвильской опытной фермы в штате Юта богата магнием—содержит около 6% магнезии ( $MgO$ ) и замечательно плодородна; она, правда, содержит также 17%  $CaO$  и 20%  $CO_2$ <sup>1</sup>. Как уже было указано, всякое вредное действие может быть устранено известкованием (стр. 89).

Растворимые соли засоленных почв. Во всех странах встречаются большие пространства земли, где среднее количество осадков ниже 15 дюймов (375 мм) в год. Такая почва может содержать в себе значительные количества растворимых солей, а именно: карбонат натрия, хлориды и сульфаты магния, натрия, калия и кальция. Некоторые из них, в особенности хлориды, могут прямо вредить растению, другие, повидимому, препятствуют снабжению растения водой и питательными веществами.

Качественный эффект этих солей на растения, произрастающие в естественных условиях, выражается в том, что они придают им бледный цвет и вызывают восковые отложения на поверхности листьев. В западных штатах в США и других местностях было произведено большое количество исследований предела токсичности этих солей; полученные цифровые данные очень расходятся потому, что приходится принимать во внимание действие многих факторов и, отчасти, благодаря трудности измерения степени вреда. В разбавленных растворах эти соли способствуют прорастанию, росту и транспирации воды растением; в более концентрированных растворах они оказывают вредное действие, а в еще более концентрированных—вызывают смерть. Растения различаются по своей чувствительности. Очень чувствительной является кукуруза; к числу менее чувствительных относятся сахарная свекла, ячмень, люцерна и донник (*Mellilotus alba* и *officinalis*), которые поэтому выращиваются в более холодных районах засоленных почв, а также сорго, хлопчатник, рис, египетский клевер (*Trifolium alexandrinum*) и наименее всех чувствительна финиковая пальма, которая может расти в жарких районах засоленных почв. Степень действия на каждое отдельное растение зависит от его возраста: это действие сильнее всего отражается на молодых всходах и слабее всего на взрослых растениях. Успешная обработка щелочных почв зависит в значительной степени от ухода за растениями в ранний период их роста, например, путем вымывания солей из верхних слоев почвы. Некоторые растения более

<sup>1</sup> J. E. Greaves, R. Stewart and C. F. Hirst, Journ. Agric. Res., 1917, 9, 301.



выносливы, чем другие, на ранней ступени своего развития. По этой причине дощник иногда предпочитается люцерне, так как он легче начинает расти в присутствии солей.

Эффект сильно меняется при действии других солей, в особенности солей кальция, так что вредная концентрация хлористого натрия может сделаться безвредной, если прибавляется сульфат кальция. Свойства среды также оказывают влияние на окончательный результат; растения страдают от известной концентрации соли больше в водных культурах, чем в песчаных, и больше в песчаных, чем в почве.

Карбонат натрия—самая худшая из щелочных солей, однако, не потому, что он более ядовит, а потому, что оказывает вредное влияние на почву, усиливая, таким образом, общий вред, приносимый растению. Хлористый натрий почти одинаково вреден в водных и песчаных культурах, где влияние почвы ограничено, и, согласно Бэффему (В. С. Buffum)<sup>1</sup>, сульфаты и хлориды натрия и калия одинаково вредны при одном и том же осмотическом давлении. При 2 атмосферах (0,27% NaCl) они способствуют прорастанию и росту; при 7,1 атмосферы (0,97% NaCl) они вредны<sup>2</sup>.

### Стимулирующее действие электричества и радия

Исследования Блекмана (V. H. Blackman) показали, что электрические разряды высокого напряжения усиливают рост растений, разreshая, таким образом, давнишний спор. Повидимому, однако, нормальный ток, атмосферный или воздушно-земной, оказывает лишь слабое действие<sup>3</sup>.

*Действие радия.* Горные породы и почвы содержат значительное количество радиоактивных веществ обычно в следующих количествах на грамм:

|                                              | Радий<br>(в граммах)   | Торий<br>(в граммах)  |
|----------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Осадочные породы . . . . .                   | $1,4 \times 10^{-12}$  | $1,6 \times 10^{-5}$  |
| Основные » (базальты) <sup>4</sup> . . . . . | $1,19 \times 10^{-12}$ | $0,8 \times 10^{-5}$  |
| Кислые » (граниты) <sup>5</sup> . . . . .    | $3,34 \times 10^{-12}$ | $2,81 \times 10^{-5}$ |

Кроме того радиоактивны и калийные соединения почвы (испуская однако, только  $\beta$ -лучи)<sup>6</sup>, и благодаря их большому количеству они по общей активности могут сравниться с активностью радия и тория.

<sup>1</sup> Wyoming Bulls 29 (1896) и 39 (1898) и Reports 1899 и 1900.

<sup>2</sup> Литература по этому вопросу хорошо суммирована у F. S. Harris Soil Alkali, изд. Wiley, Нью-Йорк, 1920.

<sup>3</sup> Blackman, Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 240—267; также у A. T. Legg, ibid., 268—286.

<sup>4</sup> A. L. Fletcher, Phil. Mag. 1912, 23, 279; J. H. J. Pool, ibid. 1915, 29, 483.

<sup>5</sup> J. H. J. Poole and J. Joby, ibid. 1924, 48, 819.

<sup>6</sup> A. Holmes and R. W. Lawson, Nature, 1926, 117, 621.



К тому же воздух, находящийся в почве, содержит эманации порядка  $163 \times 10^{-12}$  кюри на литр на глубине 50 см, что превышает во много тысяч раз количества, находящиеся в атмосферном воздухе; это было подробно изучено Смитом<sup>1</sup>.

Было произведено много опытов для того, чтобы выяснить, оказывают ли лучи или эманации какое-нибудь действие на рост растений или на микроорганизмы. Gager<sup>2</sup> нашел, что прямое действие радия, за немногими исключениями, всегда задерживает активность клеток в более молодых и особенно эмбриональных тканях. Действие радия через почву, однако, было иным: ускорились и прорастание и рост; более сильное стимулирующее действие он оказывал на более редко сидящие в почве растения. Аква (Acqua)<sup>3</sup> нашел, что на различные растения, и даже на разные органы одного и того же растения, оказывается различное действие; корневая система вообще более чувствительна, чем зеленые части, и даже прекращала свое развитие в его опытах. Тем не менее сила действия зависит от интенсивности радиации; слабые эманации, до 1,5 микрокюри на два литра воздуха, способствуют прорастанию и развитию ростков *Linum catharticum*, тогда как более сильные эманации, до 40 микрокюри на литр воздуха, вызывали запоздание<sup>4</sup>. Н. Molisch<sup>5</sup> получил подобные же результаты. Рост молодых растений вики, бобов, подсолнуха и т. п. стимулировался при слабых эманациях, но задерживался или совсем прекращался при более сильных. «Период отдыха» (rest period) нарушался действием эманаций радия, заставивших сирень цвести в ноябре, посредством малых количеств хлористого радия, прикрепленного в шпигетках к конечным почкам<sup>6</sup>. В своих первых опытах Молиш, как и Диксон и Вигаму (Wigham)<sup>7</sup> не удалось открыть какого-либо радиотропизма, но позднее он нашел указания на это при наблюдениях над некоторыми гелиотропически-чувствительными растениями, как, например, овсом и викой<sup>8</sup>.

Эти и подобные им результаты естественно породили мысль, что остатки после извлечения радия, содержащие еще радиоактивные вещества, могут иметь известную ценность в качестве удобрений. Опыты показали, однако, что это не так: результаты были совершенно отрицательными, и, насколько можно судить, до настоящего времени удобрения радием, периодически предлагаемые фермерам, остаются бесполезными<sup>9</sup>.

<sup>1</sup> L. B. Smyth, Phil. Mag. 1912, 24, 632.

<sup>2</sup> Mem. New York Bot. Gard., 1908.

<sup>3</sup> Ann. Bot. (Рим), 1910, 8, 223—238.

<sup>4</sup> Фабр (G. Fabre), Compt. Rend. Soc. Biol. (Париж), 1911, 70, 187—188.

<sup>5</sup> Umschau, 1913, 17, 95—202.

<sup>6</sup> Oesterr. Gart. Ztg. 1912, 7, 197—202.

<sup>7</sup> Proc. Roy. Soc., Dublin, 1904, 10, 178—192.

<sup>8</sup> Sitzber. K. Akad. Wiss. (Вена), 1911, 120, 305—318.

<sup>9</sup> Cm. Stoklasa, Chem. Ztg, 1914, 38, 841—844; Martin Sutton, Messrs Sutton's Bull. 6, 1914; T. Wallace, Long Ashton Rpt. 1921, стр. 145.

## Количественное изучение роста растений

В последние годы было сделано много попыток найти математические выражения для отношений между количеством разных присутствующих факторов и динамикой растительной массы.

Было принято два главных метода.

1. Устанавливается гипотеза, которая, повидимому, соответствует фактам; ее выражают уравнением, которое затем применяется к экспериментальным данным.

2. Экспериментальные данные изучаются статистическими методами, и составляется соответствующее эмпирическое уравнение или формула регрессий, без какой-нибудь предварительной гипотезы относительно вызывающих причин.

Исследования распадаются на две группы: 1) все факторы, за исключением одного исследуемого, поддерживаются насколько возможно постоянными; 2) одновременно изменяются два или более факторов.

### ИЗУЧЕНИЕ ОДНОГО ФАКТОРА

#### Питательные вещества растений

Из шести факторов роста питательные вещества в общем наиболее легко поддаются количественному изучению. Общее отношение между снабжением данным питательным веществом и количеством образующегося сухого вещества было принято Либихом в виде простой пропорциональности, но первые хорошие экспериментальные исследования были сделаны Гельригелем в Dhamе в 80-х годах прошлого столетия. При культуре ячменя в сосудах с песком он обильно снабжался всеми необходимыми факторами, за исключением лишь одной питательной соли, количество которой варьировало в разных сосудах. Вес образовавшегося сухого вещества приводится в таблице 32.

Таблица 32

*Эффект снабжения азотистой пищей на рост ячменя в песчаных культурах.*

Гельригель и Вильфарт (1888)

|                                                        | 0     | 56    | 112    | 168    | 280    | 420    |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Внесенный азот (в мг) . . . .                          | 0     | 56    | 112    | 168    | 280    | 420    |
| Сухое вещество урожая<br>(в г) . . . . .               | 0,742 | 4,856 | 10,803 | 17,528 | 21,289 | 28,727 |
| Прирост урожая на каждые<br>добавочные 56 мг азота . . | —     | 4,114 | 5,947  | 6,725  | 1,880  | 2,975  |
| Процент зерна в сухом ве-<br>ществе урожая . . . . .   | 11,9  | 37,9  | 38     | 42,6   | 38,6   | 43,4   |
| Вес одного зерна (в мг) . .                            | 19,5  | 30    | 33     | 32     | 21     | 30     |

## Эффект калийных солей на рост ячменя.

Гельригель и Вильфарт (1888)

|                                         |       |       |       |        |        |        |        |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| $K_2O$ на сосуд (в мг) . . . . .        | 0     | 23,5  | 47    | 70,5   | 94     | 188    | 282    |
| Образовавшееся сухое вещество при даче: |       |       |       |        |        |        |        |
| $KCl$ . . . . .                         | 2,271 | 5,414 | 9,024 | 9,963  | 15,322 | 21,246 | 24,417 |
| $K_2SO_4$ . . . . .                     | 2,549 | 5,140 | 5,283 | 13,363 | 14,768 | 21,593 | 23,774 |
| $KNO_3$ . . . . .                       | —     | 4,552 | 6,621 | 9,949  | 14,576 | 21,499 | 24,206 |
| $KH_2PO_4$ . . . . .                    | —     | 4,687 | 6,346 | 9,931  | 12,377 | 17,171 | —      |
| $K_2HPO_4$ . . . . .                    | —     | —     | 6,684 | —      | 11,736 | 20,255 | —      |
| Среднее . . . . .                       | 2,410 | 4,948 | 6,791 | 10,801 | 13,755 | 20,357 | 24,132 |

Результаты для вариантов снабжения азотом изображены графически на рисунке 17. Первая порция азота произвела некоторый прирост урожая, но вторая и третья порции произвели про-

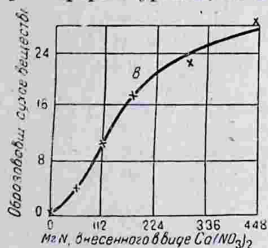


Рис. 17. Эффект снабжения азотистой пищей на рост ячменя (Гельригель).

порционально больше, что дает большее использование, чем можно было ожидать, если бы, по предположению Либиха, эффект был просто пропорционален присутствующим количествам. Однако четвертая и пятая порции произвели меньший эффект. Таким образом, получается кривая, похожая на букву «S», названная сигмоидом; это обычная форма для кривых, показывающих общий рост, происшедший по истечении известного периода времени, хотя, может быть, эта форма менее обычна для кривых, относящихся к окружающим факторам. Результаты для калия также дают сигмоидальную кривую; это подтверждается и новейшими цифрами Висеманна<sup>1</sup>. Полевые опыты приводят к подобным же

<sup>1</sup> H. Wiessmann, Zeit. f. Pflanz. Düng. 1923, A. 2. 1—79.

результатам; результаты, полученные в Ротамстеде, приводятся в таблице 33<sup>1</sup>.

Таблица 33

*Пшеничное поле Бродбок.*  
Средние урожаи за 56 лет, 1852—1907

|                                                            | Делянка<br>5 | Делянка<br>6 | Делянка<br>7 | Делянка<br>8 |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Азот, внесенный в удобрения<br>(в фунт/акр) . . . . .      | 0            | 43           | 86           | 129          |
| Общая продукция (солома и зерно)<br>(в фунт/акр) . . . . . | 2 315        | 3 948        | 5 833        | 7 005        |
| Прирост на каждые 43 фунта<br>азота . . . . .              | —            | 1 633        | 1 885        | 1 172        |

При других опытах не всегда получались сигмоидальные кривые, а более простая форма, показывающая непрерывное падение эффекта питательного вещества, причем первая порция производит наибольший эффект, а последующие порции—все меньший и меньший, пока в конце концов не получается уже никаких дополнительных приростов, а иногда даже замечается и отрицательное действие.

Еще неизвестно, что более верно отражает нормальный эффект питательных веществ на рост растения—сигмоидальная кривая или же кривая непрерывного падения. Возможно, что обычной кривой является сигмоидальная, но первая вносимая порция удобрения бывает иногда настолько большой, что точка перегиба ускользает.

Эффект этот не является простым, так как в нем участвуют, по меньшей мере, два типа факторов: вызывающие новый рост, с увеличением поверхности листьев, и поддерживающие уже достигнутый рост.

Постепенность кривой наводит на мысль, что она может быть выражена математическими уравнениями, и некоторыми исследователями делались попытки составить их. В числе первых был Митчерлих, который шел следующим путем: если бы все условия были идеальны, то был бы получен известный максимальный урожай; но, поскольку какой-либо существенный фактор находится в недостатке, происходит соответствующее сокращение урожая. Урожай возрастает, если прибавляется какой-либо из недостающих факторов, и возрастание это происходит тем сильнее, чем больше

<sup>1</sup> А. Е. W. Richardson и E. F. Fricke не получили сигмоидальной кривой (Journ. Agric. South Australia, 1931, 35, 57).



урожай пал перед этим. Митчерлих выражает это следующим образом: прирост урожая, производимый единицей порции недостающего фактора, пропорционален отставанию от максимума\*. Преимуществом этой формулировки является то, что она может быть выражена математически:

$$\frac{dy}{dx} = (A - y)C,$$

где  $y$  есть урожай, полученный, когда  $x$  — количеству присутствующего фактора,  $A$  — максимальный урожай, который может получиться в случае присутствия всех факторов в избытке ( $A$  вычисляется из уравнения), и  $C$  — есть константная величина. После интегрирования и принимая, что  $y=0$ , когда  $x=0$ , получается:

$$y = A(1 - e^{-cx}).$$

Опыты Митчерлиха производились с растениями в песчаных культурах при снабжении в избытке всеми питательными веществами, кроме одного изучаемого. Таблица 34 показывает результат, полученный с овсом при монофосфате кальция. Митчерлих претендует, основываясь на опыте, доказать, что фактор пропорциональности (называемый Митчерлихом «Wirkungswert» или «faktor») остается постоянным для каждого удобрения независимо от культуры, почвы или других условий. Если бы это оказалось верным, то экспериментатор, зная величину  $C$ , мог бы, на осно-

Таблица 34

Урожай овса при различном удобрении фосфатами.

Митчерлих (1909)

| $P_2O_5$ в удобрении (в г) | Полученное сухое вещество (в г) | Урожай, вычисленный по формуле (в г) | Разность | Разность, выраженная в процентной ошибке <sup>1</sup> |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------|
| 0,00                       | 9,8±0,50                        | 9,80                                 | —        | —                                                     |
| 0,05                       | 19,3±0,52                       | 18,91                                | —0,39    | —0,8                                                  |
| 0,10                       | 27,2±2,00                       | 26,64                                | —0,56    | —0,3                                                  |
| 0,20                       | 41,0±0,85                       | 38,63                                | —2,37    | —2,8                                                  |
| 0,30                       | 43,9±1,12                       | 47,12                                | +3,22    | +2,9                                                  |
| 0,50                       | 54,9±3,66                       | 57,39                                | +2,49    | +0,7                                                  |
| 2,00                       | 61,0±2,24                       | 67,64                                | +6,64    | +3,0                                                  |

\* У Митчерлиха мы находим следующую формулировку его закона: «Der Pflanzenenertrag ( $y$ ) steigt proportional dem an einem Höchstertrage ( $A$ ) fehlenden Ertrage mit dem Zufuhr eines Wachstumsfaktors ( $x$ ). «A. Mithcherlich. Die Bestimmung des Düngebedürfnisses des Bodens» 2Auflage, 1925, стр. 30. Прим. перев.

<sup>1</sup> Если в этом столбце цифра меньше 3, то совпадение считается удовлетворительным.

вании отдельного полевого опыта, предсказать урожай, которые получились бы при любом внесенном количестве удобрения, что дало бы результат высокой практической ценности. Кроме того оказалось бы возможным определить прямыми вегетационными опытами количество усвояемой пищи растений в почве, что является одной из наиболее трудных почвенных проблем. Митчерлих действительно применял свою формулу для этой цели<sup>1</sup>, и в 4-м издании (1923) своей очень интересной *Bodenkunde* он применяет свое выражение разнообразными путями, хотя, нужно признаться, не очень убедительно. Прескотт также пользовался этой

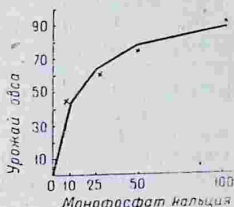


Рис. 18. Кривая Митчерлиха, показывающая отношение между урожаем овса и количеством внесенного фосфата.

формулой для вычисления наиболее выгодного размера удобрения суперфосфатом для пшеницы в Австралии<sup>2</sup>.

Работа Митчерлиха чрезвычайно стимулировала исследования этого рода; она вызвала постоянное наводнение противоречий, и количество изданий по этому предмету было колоссально.

Пфейффер<sup>3</sup> указывает, что кривые должны подвергнуться глубоким изменениям другими факторами, влияющими на рост растений, тогда как Фрелих, вполне справедливо, возражает против метода калькуляции результатов или, скорее, против отбора их. Бриггс, в Англии, подверг серьезной критике весь митчерлиховский подход к проблеме<sup>4</sup>. В Германии Риппель был одним из наиболее суровых критиков его<sup>5</sup>.

Бауле (1918) признал эту критику и изменил выражение, сохранив, однако, основную концепцию. Он предполагает, что каждый из факторов, влияющий на рост растения, действует соглас-

<sup>1</sup> Die pflanzenphysiologische Lösung der chemischen Bodenanalyse (Landw. Jahrb., 1923, 58, 601—617).

<sup>2</sup> «Law of Diminishing Returns in Agricultural Experiment», Economic Record, 1928, vol. 4.

<sup>3</sup> Th. Pfeiffer, E. Blanck und M. Flügel. «Wasser und Licht als Vegetationsfaktoren und ihre Beziehungen zum Gesetze von Minimum» (Landw. Versuchs-Stat., 1912, 76, 169—236).

<sup>4</sup> Annales de Botany, 1925, 39, 475—502.

<sup>5</sup> A. Rippel, «Wachstumsgesetze bei höheren und niederen Pflanzen», изд. P. Datterer Freising, München, 1925. Cp. с A. Rippel и R. Meyer (Ertragsgesetz gegen Wirkungsgesetz) Zeit. f. Pflanz. Düng., 1929, A, 14, 1. См. также H. Niklas и M. Miller, Fortschr. Landw., 1929, 4, 681, и Zeit. f. Pflanz. Düng., 1930, A, 15, 193.

но гипотезе Митчерлиха и что окончательный урожай является произведением всех отдельных выражений. Таким образом, получаемый урожай

$$y = A(1 - e^{-c_1 x_1})(1 - e^{-c_2 x_2})(1 - e^{-c_3 x_3}) \text{ и т. д.}$$

Эффективность питательного вещества или иного фактора, называемого Баулле «Wirkungsmenge», выражается в таком случае

$$h = \frac{\log e^2}{c} = \frac{0,7}{c},$$

где  $c$  — фактор действия (Wirkungsfaktor) Митчерлиха<sup>1</sup>.

К. А. Бондорф<sup>2</sup> принял во внимание возможности, которые до того не были замечены Митчерлихом. Если какой-либо фактор присутствует в избытке, то он вредит росту растений; Бондорф предполагает, что этот вредный эффект не появляется внезапно, а что он действует все время, но только в разных стадиях маскируется полезным действием. Таким образом, окончательный урожай является разностью между полезными и вредными эффектами, и уравнение приобретает вид:

$$y = cx^m - kx^n + a,$$

где  $y$  — урожай,  $x$  — количество фактора,  $c$ ,  $k$ ,  $m$  и  $n$  — постоянные величины (константы) и  $a$  — урожай, когда не присутствует ни один из факторов.

$cx^m$  выражает полезный эффект, а  $kx^n$  — вредный эффект фактора. Для большинства экспериментов с удобрениями  $m = 1$ ; однако иногда оно бывает больше чем 1, и в таком случае кривая становится сигмоидом; это является обычным для температуры и света. Митчерлих<sup>3</sup> признал необходимость принятия во внимание вредного эффекта и изменил свое первоначальное уравнение следующим образом:

Исходя из

$$\frac{dy}{dx} = (A - y)C \quad (\text{стр. 120}).$$

<sup>1</sup> «Die Wirkungsmenge» определяется как количество фактора, необходимого, чтобы дать половину максимального урожая, возможного при увеличении рассматриваемого фактора, если все остальные факторы остаются постоянными.

$x = h$ , когда величина  $x$  такова, что  $y = \frac{1}{2} A$ ;  
тогда  $1 - e^{-ch} = \frac{1}{2}$

и  $h = \frac{\log e^2}{c} = \frac{0,7}{c}$ .

<sup>2</sup> Nord. Jordbr.-forsk. 1923, 5, 136, и Kungl. Veter. Landbo. Medd. 3, 1924 (с французским резюме).

<sup>3</sup> Zeit f. Pflanz. Düng. 1928, A, 12, 273—282.

$\frac{dy}{dx}$  является приростом урожая, измеряемым весом и зависящим от прибавления единицы порции удобрения.

$\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dx}$  является приростом урожая, измеряемым как доля всего урожая, т. е. относительным приростом урожая.

Тогда

$$\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{(A-y)c}{y}$$

Митчерлих принимает, что вредный эффект удобрений на этот относительный прирост урожая пропорционален количеству присутствующего удобрения; поэтому, чтобы выразить это, он вводит член  $2kx$ :

$$\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{(A-y)c}{y} - 2kx.$$

После интегрирования получается:

$$y = A(1 - 10^{-cx}) 10^{-kx}.$$

Митчерлих называет эту константу  $k$  «вредным фактором» (Schädigungsfaktor) или «фактором повреждения» для данного удобрения;  $c$  как и прежде остается «фактором действия» (Wirkungsfaktor). В этой форме уравнение становится пригодным с достаточным приближением для случая, когда изменяется только один фактор, другие же остаются постоянными. Однако оно все же игнорирует точку перегиба, которая обнаруживается при более точных работах (стр. 118).

Из уравнения Митчерлиха можно сделать два важных вывода.

1. Оно применяется, как уже было сказано, для определения количества растительной пищи, присутствующей в почве; к этому вопросу мы еще возвратимся ниже (стр. 412).

2. Уравнение предполагает, что, если два фактора  $L$  и  $M$  изменяются одновременно, то каждый из них должен произвести свой собственный эффект, независимо один от другого. Так, например, если  $y$ ,  $y'$  представляют урожай, когда количество фактора  $L$  равняется  $x$ ,  $x'$ , причем количество фактора  $M$  остается постоянным, то:

$$y = A(1 - e^{-cx}),$$

$$y' = A(1 - e^{-cx'}),$$

где  $A$  — максимальный урожай, который возможно получить при любом количестве фактора  $L$ , но при данной величине фактора  $M$ .

Отсюда:

$$\frac{y}{y'} = \frac{1 - e^{-cx}}{1 - e^{-cx'}}.$$



Это отношение является, таким образом, независимым от величины  $A$ , т. е. оно независимо от уровня, на котором берется  $M$ .

Таким образом, отношение урожаев, получающихся при различных количествах одного фактора, остается неизменным независимо от того, как может варьировать другой фактор, так как последний может повлиять только на  $A$ , т. е. на величину, которая является устраненной из этого отношения. Другой способ выражения результата заключается в следующем: если некоторое изменение одного фактора происходит на разных уровнях второго фактора, то все же отношение урожаев должно оставаться постоянным. Это случается иногда. Таблица 35 показывает результаты одного вегетационного опыта с овсом, выращивавшимся в песке, получавшем различные количества фосфатов и воды; относительный эффект разных доз воды оставался одним и тем же независимо от того, сколько давалось фосфатов.

Однако Бальмуканд в Ротамстеде показал, что это не всегда так, и разработал другое уравнение, которое, повидимому, лучше соответствует фактам и поэтому дает большее приближение к уравнению Митчерлиха (стр. 129).

Таблица 35

*Урожай овса в вегетационных опытах с варьирующим снабжением фосфатами и водой (по методу Митчерлиха)*

| Фосфат калыпи    | 1 доза воды<br>( $y$ ) | 2 дозы воды<br>( $y'$ ) | Отношение<br>$\frac{y'}{y}$ |
|------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| $x=0$ . . . . .  | 6,4                    | 11,0                    | 1,72                        |
| $x=1$ . . . . .  | 14,6                   | 25,6                    | 1,75                        |
| $x=2$ . . . . .  | 22,6                   | 36,6                    | 1,62                        |
| $x=4$ . . . . .  | 29,7                   | 53,1                    | 1,79                        |
| $x=8$ . . . . .  | 41,3                   | 70,5                    | 1,71                        |
| $x=16$ . . . . . | 50,8                   | 77,5                    | 1,53                        |
| $x=32$ . . . . . | 55,7                   | 88,5                    | 1,59                        |

### Температура

Влияние изменяющихся количеств воды и температуры на урожай подвергалось изучению, но благодаря большим экспериментальным трудностям получавшиеся данные не вполне подхо-

дят для математической обработки. Результаты температуры зависят от заметного влияния фактора времени, который вносит важную разницу в степени, хотя и не в характере действия, между общим происходящим ростом и отдельными процессами ассимиляции и т. д., когда эти явления изучаются за короткие периоды времени в лабораторных условиях. В опытах Маттеи<sup>1</sup> (G. L. C. Matthaei) эффект температуры на ассимиляцию углерода напоминает эффект обычных химических реакций при условии, что остальные факторы поддерживались на уровне, не препятствовавшем темпу ассимиляции; то же относится и к дыханию (респирации). Маттеи нашла, что количество углекислоты, ассимилированной листом лавровишневого дерева, на 30 см<sup>2</sup> в час при разных температурах было следующим:

|                                                |        |        |        |        |        |        |        |        |                  |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| Температура °C . .                             | -6°    | +8,8°  | 11,4°  | 15°    | 23,7°  | 30,5°  | 37,5°  | 40,5°  | 43° <sup>2</sup> |
| Вес ассимилированной CO <sub>2</sub> (в г) . . | 0,0002 | 0,0038 | 0,0048 | 0,0070 | 0,0102 | 0,0157 | 0,0238 | 0,0149 | 0,0102           |

Путем интерполяции можно найти величины для температур 0°, 10°, 20° и т. д., и тогда видно, что темп ассимиляции приблизительно удваивается на каждые 10°, что является увеличением порядка обычных химических реакций<sup>3</sup>:

|                                                           |      |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| Температура . . . . .                                     | 0°   | 10° | 20° | 30° | 37° |
| Количество CO <sub>2</sub> , ассимилированной в 1 час . . | 17,5 | 42  | 89  | 157 | 238 |
| Приращение на 10° C . .                                   | —    | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,8 |

Однако общий сухой вес, производимый растением в течение всей жизни его, с повышением температуры возрастает иным путем.

<sup>1</sup> Phil. Trans., 1905, B, 197, 47—105.

<sup>2</sup> При высоких температурах указанные темпы ассимиляции удерживались только в течение короткого времени.

<sup>3</sup> Другие данные и полная трактовка вопроса имеются у H. Lundegardh, «Die Temperaturfaktor bei Kohlensäureassimilation und Atmung» (Biochem. Zeitsch. 1924, 154, 195—234).

При температурах ниже 15° величины превышали 2; выше 20° они были ниже 2.

Бялоблочкий<sup>1</sup> получил для ячменя следующие результаты:

|                                        |     |      |      |      |      |
|----------------------------------------|-----|------|------|------|------|
| Температура . . . . .                  | (0) | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  |
| Образовавшееся сухое<br>вещество (в г) | (0) | 7,64 | 8,22 | 3,85 | 0,93 |

Обе кривые изображены на рисунках 19 и 20.

Насколько известно, каждый из отдельных процессов—ассимиляция, дыхание и т. д.—дает кривые, подобные изображенной на рисунке 19, непрерывные на всем протяжении температур почти до смерти растения. Однако за пределами некоторой тем-

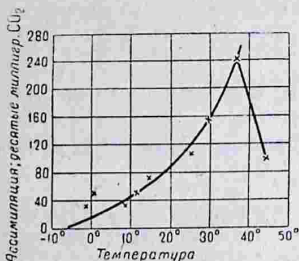


Рис. 19. Отношение между температурой и ассимиляцией (Маттен).

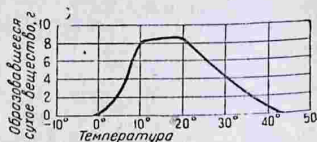


Рис. 20. Отношение между температурой и ростом растения (Бялоблочкий).

пературы кривая хорошо сохраняется только на короткое время, так как иначе протоплазма скоро начинает повреждаться.

Для удовлетворительного же роста целого растения необходимо, чтобы все эти процессы работали гармонично и чтобы протоплазма оставалась здоровой, жизнеспособной и энергичной в течение всей жизни растения. Это возможно только в известных узких пределах температуры; за пределами же известной точки, различной для разных растений, дальнейшее повышение температуры уже не увеличивает роста, но нарушает соотношение, и, таким образом, кривая начинает склоняться вниз (рис. 20).

Легко заметить близкое сходство между этой кривой и кривой, полученной Дюкло<sup>2</sup> для отношений между действием энзим и температурой. На рисунке 21 линия *AB* показывает отношение между действием энзимы и температурой до тех пор, пока деятельность первой не нарушается; *CD* показывает отношение между температурой и количеством энзимы в случае, когда энзима разрушается с повышением температуры; *AOE* является равно-

<sup>1</sup> Landw. Versuchs-Stat. 1871, 13, 424—472.

<sup>2</sup> E. Duclaux, *Traité de Microbiologie*, Tome 2, Paris, 1899.

действующей, показывающей отношения между температурой и активностью данного исходного количества энзимы.

В этом случае падение активности при более высоких температурах ( $OE$ ) происходит благодаря разрушению энзимы; у растений причиной падения являются два фактора—несогласованность процессов и повреждения протоплазмы.

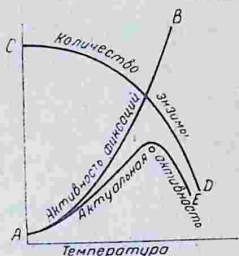


Рис. 21. Влияние температуры на действие энзимы, показывающее падение в количестве, но возрастание в активности с поднятием температуры (Дюкло).

#### ИЗМЕНЕНИЯ ДВУХ ИЛИ БОЛЕЕ ФАКТОРОВ

Простой случай, с изменением только одного фактора не является обычным в естественных условиях, где вообще одновременно изменяются два или большее число факторов.

Такие явления можно иллюстрировать исследованиями Зеельхорста над эффектом на рост растений снабжения водой. В одном из своих исследований Туккер и Зеельхорст (1898) поставили три ряда сосудов с почвой, в которых влажность поддерживалась в определенном количестве; в первом ряду почва была слегка влажная, во втором—влажнее и в третьем—еще более влажная. Каждая серия сосудов была разделена далее на три другие группы, из которых одна не получала никаких азотистых удобрений, другая—одну дозу и третья—две дозы азота. Во всех девяти группах был посеян овес; результаты опыта приводятся в таблице 36.

В присутствии небольшого количества воды возможен был лишь небольшой рост растения, для которого снабжение азотом почвы было достаточным. Поэтому прибавление 0,5 г азота здесь не способствовало никакому дальнейшему росту, хотя некоторое количество этого азота и ассимилировалось растением. При большем снабжении водой возможен был больший рост, и добавочный азот мог утилизироваться: урожай здесь повысился на 10 г. Однако далее снабжение водой ставит новый предел, и вторые 0,5 г азота остаются без эффекта. Когда же дается обильное снабжение водой, то первые 0,5 г азота дают 20 г урожая, т. е. вдвое больше предыдущей прибавки; но даже и этим не исчер-



пываются все возможности, так как вторые 0,5 г азота дают еще дальнейший прирост 15,5 г. Эти отношения показаны на кривых рисунка 22.

Таблица 36

Влияние снабжения водой на эффективность удобрения.  
Зельхорст и Туккер (1898)

Сухой вес урожая овса

| Удобрение                             | Ряд с азотом |       |        | Прирост урожая от |                |
|---------------------------------------|--------------|-------|--------|-------------------|----------------|
|                                       | KP           | KPN   | KP, 2N | 1-й дозы азота    | 2-й дозы азота |
| I. Влажная почва <sup>1</sup> . .     | 67,5         | 68,5  | 68,5   | 1,0               | 0              |
| II. Более влажная почва               | 83,6         | 93,4  | 94,0   | 9,8               | 0,6            |
| III. Наиболее влажная почва . . . . . | 99,5         | 119,5 | 135,0  | 20,0              | 15,5           |

K = 1 г K<sub>2</sub>O на сосуд в форме K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; P = 1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на сосуд в форме Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> на сосуд; N = 0,5 г N на сосуд в форме NaNO<sub>3</sub>.

| Удобрение                               | Ряд с фосфором |      |       |        | Первая доза P | Вторая доза P | Прирост от полного удобрения KNP |
|-----------------------------------------|----------------|------|-------|--------|---------------|---------------|----------------------------------|
|                                         | O              | KN   | KNP   | KN, 2P |               |               |                                  |
| I. Влажная почва <sup>1</sup> . . . . . | 41,5           | 38,5 | 68,5  | 79,2   | 30,0          | 10,7          | 20,7                             |
| II. Более влажная почва . . .           | 47,2           | 40,0 | 93,4  | 108,0  | 53,4          | 14,6          | 46,2                             |
| III. Наиболее влажная почва .           | 68,5           | 63,5 | 119,5 | 127,5  | 56,0          | 8             | 51                               |

Полевые опыты, давшие в общем такие же результаты, были произведены Грегори и Краудером в Гезире (Судан)<sup>2</sup>. Вода составлялась в трех дозах и сульфат аммония—в двух дозах. Урожай хлопка-сырца (в кантарах на феддан) получились следующие<sup>3</sup>:

<sup>1</sup> Влажная почва содержала 14,35% воды (41,6% от полного насыщения), более влажная почва—15,41% вначале, возросшие до 18,43 (51,7% от насыщения) в процессе опыта, и наиболее влажная почва 16,44% вначале, возросшие до 22,59% (63,7% от насыщения).

<sup>2</sup> Sudan Govt. Agric. Research Rpt. 1928—29, Physiol. Section, 95—117.

<sup>3</sup> 1 кантар на феддан=300 фунт/акр=336 кг/га.

|                              | Степень снабжения водой |         |         |
|------------------------------|-------------------------|---------|---------|
|                              | Слабая                  | Средняя | Сильная |
| Без внесения азота . . . . . | 1,38                    | 1,54    | 1,58    |
| 300 сульфата аммония . . . . | 1,98                    | 2,45    | 2,80    |
| 600 сульфата аммония . . . . | 2,28                    | 3,04    | 3,79    |

Добавочная вода не оказывала эффекта без добавления азота, но она сильно повысила урожай, когда азот был внесен.

Блэкман ввел термин «ограничивающий фактор» для обозначения фактора, недостаток которого препятствует другим факто-

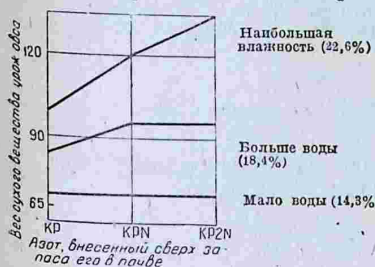


Рис. 22. Влияние снабжения водой на эффективность удобрения (Зеельхорст и Тукер).



Рис. 23. Общее отношение между отдельным фактором и ростом растения. Возрастание фактора обуславливает усиление роста до точки, когда какой-либо из факторов становится ограничивающим после чего дальнейшее возрастание не оказывает эффекта; наконец, избыток фактора вызывает какой-нибудь вредный эффект, причиняемый им.

рам проявить эффект на рост растений. Эта концепция оказалась очень полезной и дала возможность выражать графически общую зависимость между количественной величиной роста и количеством какого-либо отдельного фактора, как это показано на рисунке 23. Однако кривая эта имеет значение только для цели иллюстрации: она не имеет количественного значения.

Бальмуканд в Ротамстеде дал более полное, но менее простое выражение, основанное на формуле сопротивления Маскелла<sup>1</sup>. Он рассматривает каждую функцию растения (например, темп роста, накопление сухого вещества) как определяемое потенциальной возможностью и комплексом сопротивлений, из которых ка-

<sup>1</sup> Е. J. Maskell, 1925 г., диссертация в библиотеке Кембриджского университета. Proc. Roy-Soc. 1928, 102, B, 467. В. Balmukand, Journ. Agric. Sci. 1928, 18, 602.

ждое представляет какой-либо из внешних факторов. Эффект изменения количества какого-либо одного фактора наиболее резко проявляется, когда остающиеся «сопротивления» относительно малы, и проявляется меньше, когда они велики, но все они участвуют в процессе в течение всего времени.

Зависимость между какой-либо частной функцией растения и внешними факторами может быть выражена общим уравнением:

$$\frac{1}{y} = F(A) + F'(B) + F''(C) + \dots + K,$$

где  $y$ —действие и  $A, B, C$ —факторы. Маскелл выражает эффект снабжения питательными веществами на общий рост растения, т. е. на урожай, уравнением:

$$\frac{1}{y} = F(N) + F'(K) + F''(P) + \dots + K,$$

где  $y$ —урожай,  $N, K, P$ —функции внесенных количеств этих питательных веществ, и эти функции имеют форму:

$$\frac{a_n}{n+N}, \frac{a_k}{k+K}, \frac{a_p}{p+P},$$

где  $N, K, P$  представляют внесенные количества этих питательных веществ;  $n, k, p$  представляют количества в семенах и усвояемое количество в почве;  $a_n, a_p, a_k$ —константы, выражающие значение питательного вещества для растения или способность последнего извлекать питательные вещества из почвы; количественно они являются такого же порядка, как минимальные количества питательных веществ в урожае, выращенном в условиях голодания.

Выражение Маскелла, как и митчерлиховское, предполагает, что каждый фактор действует независимо от всех остальных, т. е. что взаимодействия между ними не происходит.

Бальмуканд<sup>1</sup> применял уравнение к вегетационным опытам Грегори с овсом в Ротамстеде, в которых сосуды (по два), получавшие одинаковое количество фосфатов, различались только по снабжению азотом. Согласно уравнению Митчерлиха, отношения урожаев разных пар сосудов должны были бы оставаться постоянными (стр. 124); согласно уравнению Маскелла, должны были бы оставаться постоянными разницы между взаимными отношениями урожаев; таблица 37 показывает, что последнее более близко к действительности.

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci. 1928, 18, 602.

Таблица 37

Урожай ячменя в сухом веществе на сосуд.

Данные Грегори, использованные Бальмукамдом

| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на сосуд (в мг) | Азот (N) на сосуд<br>(в мг) |       | $\frac{y}{y'}$ | $\frac{1}{y} - \frac{1}{y'}$ |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------|----------------|------------------------------|
|                                               | 15                          | 1215  |                |                              |
| 5 . . . . .                                   | 3,06                        | 15,00 | 4,902          | 0,2602                       |
| 15 . . . . .                                  | 3,36                        | 17,88 | 5,321          | 0,2417                       |
| 45 . . . . .                                  | 3,03                        | 29,60 | 9,769          | 0,2963                       |
| 135 . . . . .                                 | 2,39                        | 68,10 | 20,089         | 0,2784                       |
| 405 . . . . .                                 | 3,60                        | 86,40 | 24,000         | 0,2663                       |

Из уравнения Маскелла, как и из уравнения Митчерлиха, можно вычислить величину количества питательного вещества, первоначально присутствовавшего в почве, т. е. количество усвояемого питательного вещества: оно получается при определении  $n$ ,  $k$  и т. д. и вычитании отсюда количества, находившегося в семенах. Однако усвояемость выражается здесь скорее в эффекте внесенного удобрения, чем в абсолютных количествах в почве.

#### ПОЛЕВЫЕ УСЛОВИЯ. ОДНОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ФАКТОРОВ

В полевых условиях пределы колебаний гораздо шире, чем в опытах с сосудами, описанных выше, и не представляется возможным поддерживать многие из факторов на постоянном уровне; они могут, таким образом, варьировать непрерывно в течение всего опыта. Отношение между разными факторами и урожаем может, однако, изучаться специальными статистическими методами. Эти методы применяются в Ротамстеде для изучения эффекта климатических условий на урожай<sup>1</sup>. Рисунки 3 и 4 (стр. 39), иллюстрируют характер полученных результатов.

<sup>1</sup> R. A. Fisher, Studies in Crop Variation: I. «An Examination of the Yield of the Dressed Grain from Broadbalk», Journ. Agric. Sci., 1921, 11, 107.

W. A. Mackenzie, Studies in Crop Variation: III. «An Examination of the Yield of Dressed Grain from Hoos Field», Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 434.

R. A. Fisher, «The Influence of Rainfall on the Yield of Wheat at Rothamsted», Phil. Trans. Roy. Soc., Series B. 1924, 213, 89.

J. Wishart and W. A. Mackenzie, Studies in Crop Variation: VII. «Influence of Rainfall on the Yield of Barley at Rothamsted», Journ. Agric. Sci. 1930, 20, 417.

L. H. C. Tippett, «On the Effect of Sunshine on Wheat Yield at Rothamsted», Journ. Agric. Sci., 1926, 16, 159.

R. A. Fisher, «Statistical Methods for Research Workers», Edinburgh, Oliver and Boyd, 2nd edition, 1928.



## БОЛЕЕ ПОЛНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

### ТЕМП РОСТА

Цифры окончательного урожая выражают общий рост растения, но они не дают полного представления о жизни растения. Темпы роста дают более подробную информацию; они имеют то преимущество, что представляют компоненты, из которых суммируется окончательный урожай, показывая более детально и более определенно, чем конечный урожай, влияние на рост растения различных условий, питательных веществ и т. д. и позволяя также сделать лучшую оценку замечаемых эффектов температуры, осадков и других факторов. Эти эффекты отражаются в форме кривых роста, равно как и неправильности, корреляцию которых можно установить с метеорологическими и другими данными.

Для измерения роста применяется несколько методов.

1. Темп прироста сухого веса.
2. Темп увеличения поверхности листа, измеряемый с помощью планиметра или каким-либо другим способом; изучение этих темпов было широко использовано Крейслером (1875) при его исследованиях с.-х. культур.
3. Темп прироста высоты злаков.

Для целей обсуждения эти величины могут сопоставляться одна с другой: так, например, полезным показателем темпа является прирост сухого вещества на единицу листовой площади в единицу времени [«темп прироста на единицу листа» («Unit Leaf Rate») по Весту, Бриггсу и Кидду; по Грегори—«темп чистой ассимиляции»], который, повидимому, мало изменяется в первые периоды роста, а также с увеличением возраста или веса сухого вещества растения или при изменениях количества азотистого удобрения (стр. 64), по который зависит от факторов солнечного света (радиация), температуры, воды и давления паров (Грегори, 1926).

**Темп прироста сухого вещества.** Прирост сухого вещества в единицу времени (за единицу времени удобно брать неделю или 10 дней) можно измерять, выдергивая хороший образец растений из экспериментальной группы в конце каждой единицы времени, высушивая их в паровом сушильном шкафу и взвешивая их; из последовательных результатов может быть выведен средний темп прироста для всей группы этих растений за целый период. Кривые темпов имеют обычно, хотя и не всегда, форму сигмоида или буквы S, как на рисунке 16<sup>1</sup>. Они могут быть использованы для

<sup>1</sup> Кривые, показывающие общий рост за известное время,—сигмоидальны, тогда как кривые, показывающие относительный темп роста с течением времени, могут быть в общих чертах перевернутым сигмондом, иногда с предварительным поднятием.

сравнения одного набора условий с другими или же для установления корреляции темпа роста с внешними условиями<sup>1</sup>. Исследование этих результатов показывает, что жизнь растения не протекает равномерно, но распадается на периоды, которые необходимо ясно различать при этом изучении. В первый период растение выбрасывает свои корни и поглощает значительное количество питательных веществ из почвы, не производя соответствующего количества сухого вещества; позднее образуется много листьев и стеблей; это является периодом активного вегетативного роста; еще позднее—накопленные материалы передвигаются к семеню, которое образуется в это время.

Однако биологи не удовлетворяются изучением этих кривых простым обзором; они используют возможность выражения этих кривых математическими уравнениями. Уравнение дает удовлетворение своей полнотой и точностью; подобно фотографической камере, оно не может не отражать действительности, но может вводить в заблуждение. Общим уравнением, которое подходит к каждой кривой, является следующее:

$$\frac{dw}{dt} = a + bw + cw^2 + dw^3 + \dots \text{и т. д.} \quad (1)$$

В применении к кривой роста  $w$  является сухим весом, производимым во время  $t$ ;  $a$ ,  $b$  и  $c$  и т. д.—«константы» в том смысле, что они не зависят от  $w$ . Они могут, однако, изменяться с течением времени, увеличиваясь или уменьшаясь по величине с возрастом растения. В этом случае они называются «функциями» времени. Это уравнение удовлетворяет существенным условиям согласования со следующими фактами.

1. Темп роста любого растения зависит от количества уже образовавшихся листьев и корней и изменяется по мере увеличения размеров растения и увеличения его абсорбирующей и ассимилирующей поверхности.

2. Рост не продолжается бесконечно, но по истечении некоторого времени замедляется и приходит к концу<sup>2</sup>.

3. Растение изменяется в течение всего времени вегетации; следовательно, темп роста не является строгим константным, но подвергается изменениям в зависимости от изменений в самом растении.

Но это уравнение, будучи слишком общим, страдает неопределенностью и не оказывает особенной помощи ни биологу ни исследователю почвы. Для удобства пользования оно нуждается в упрощении, а процесс упрощения вызывает необходимость раз-

<sup>1</sup> См., например, C. West, G. E. Briggs and F. Kidd, New Phytologist, 1920, 19, 200—207.

<sup>2</sup> Некоторые из членов уравнения требуют придания им отрицательных величин.

ных допущений. Таким образом, опасность математических выражений лежит в допущениях, которые они скрывают в себе. В научной литературе нетрудно найти примеры, когда в математическом уравнении принимались допущения, которые вызвали бы некоторое удивление, если бы были высказаны как самостоятельные утверждения.

Уравнение сводится к своей простейшей форме, если отбросить вторую и высшие степени:

$$\frac{dw}{dt} = bw \quad (1)$$

или, как пишут чаще:

$$\frac{dw}{dt} = rw. \quad (2)$$

Если  $r$  остается константным, т. е. не зависит от времени  $t$ , то это уравнение после интегрирования становится:

$$w = w_0 e^{rt}, \text{ или } \log_e \frac{w}{w_0} = rt,$$

где  $w_0$ —первоначальный вес;  $w$ —вес по истечении времени  $t$ ;  $e$ —основание натуральных логарифмов;  $r$ —темп прироста за единицу времени.

Это уравнение устанавливает, что темп роста во всякое данное время пропорционален количеству уже образовавшейся массы, и оно выражает в определенной форме хорошо известный факт, что рост листовой поверхности сопровождается увеличением роста всего растения. То же самое уравнение выражает сложные проценты, и, применяя его к росту растения, Блэкман называет его «законом сложных процентов», а темп прироста ( $r$ ) называет показателем (индексом) эффективности, так как он представляет собой эффективность растения по производству нового вещества.

Это уравнение может быть применимо, очевидно, только к тому периоду жизни растения, пока идет увеличение его массы, так как при этом подразумевается, что рост идет непрерывно, постоянным темпом нарастания. Оно не применимо, когда кривая начинает падать<sup>1</sup>.

Факт падения и окончательного прекращения роста не может быть выражен, пока остается второй член. В таком случае уравнение становится:

$$\frac{dw}{dt} = Kw(W - w) \quad (3)$$

<sup>1</sup> Уравнение (2) применимо в течение всего роста растения для определения относительного темпа роста ( $r$ ), но  $r$  изменяется с течением времени, так что уравнение не имеет простого интеграла.



или, если  $t_1$ , есть время, в течение которого произошла половина роста,

$$\log_e \frac{w}{W-w} = k(t - t_1),$$

где  $k$  есть постоянная величина и  $W$  равно количеству окончательно образовавшегося сухого вещества. Это уравнение констатирует, что темп роста во всякое данное время пропорционален уже образовавшейся массе роста и количеству, которое должно еще образоваться впоследствии до достижения растением максимального веса. Оно показывает, таким образом, темп роста, который сначала возрастает и затем падает, становясь нулевым, когда будет достигнут полный вес растения; коротко говоря—это выражение для сигмоидальной кривой на рисунке 16. Уравнение это довольно хорошо подходит к величинам, получаемым при некоторых исследованиях темпов численного прироста одноклеточных организмов. Оно является также уравнением для химического автокатализа, на основании чего Брейльсфорд, Робертсон<sup>1</sup> и его последователи принимали, что рост является автокаталитическим процессом. Однако совпадение этих уравнений ничего не доказывает, и гипотезе автокатализа предстоит удержаться или отпасть в зависимости от будущего подтверждения ее прямой очевидностью. Многие темпы изменений, в которых нет никаких намеков на автокатализ, могут быть представлены сигмоидальной кривой, как, например, скорость поезда от своего отправления с одной станции до прихода на другую. Более того, Грегори находит, что это уравнение не соответствует данным, получаемым и в активный период роста ячменя, хотя оно и соответствует данным последующего роста.

Однако при пользовании уравнением в этой простой форме. даже применительно лишь к короткому активному росту растения, нужно твердо помнить, что каждое новое упрощение вызывает необходимость введения новых предположений.

На основании уравнения (2) предполагается:

1. Что вся масса или постоянная доля сухого вещества растения является активной для производства новой растительной массы.

2. Что относительный темп роста<sup>2</sup> является постоянным и не нарушается с возрастом растения.

Уравнение (3) предполагает, что изменение в относительном темпе роста зависит только от веса сухого вещества, а не от одного, например, возраста. Является мало вероятным, чтобы ка-

<sup>1</sup> О нормальном темпе роста отдельного растения и биологическом значении его см. Arch. f. Entwicklungsmechanik, 1908, 25. См. также P. Enriques, Wachstum und seine analytische Darstellung, Biol. Centralblatt, 1909, 24, 331.

<sup>2</sup> Т. е. темп роста на единицу веса.



кое-либо из этих предположений было строго правильным или чтобы какое-либо уравнение твердо выражало темпы роста. Критерием ценности математического выражения является чисто прагматическое испытание—будет ли оно пригодным для какой-нибудь полезной цели или не будет. Это может показать только время<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Дальнейшие обсуждения см. Gregory, *Annals of Bot.*, 1926, 40, 1, 1928, 42, 531; C. West, C. E. Briggs and F. Kidd, *Ann. Applied Biology*, 1920, 7, 103, 202, 403; *New Physiologist*, 1920, 19, 88, 200—207; R. A. Fisher, *Ann. Applied Biology*, 1921, 7, 367—372; Rippel, *Journ. Landwt.*, 1922, 70, 9—44.

### Г Л А В А III

#### СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва первоначально образовалась из горных пород, отчасти путем раздробления, отчасти путем химического разложения их. В общих чертах картина такова: отщепленные куски горных пород рано или поздно уносились водой и отлагались на дне рек и морей. Здесь они смешивались с остатками животных организмов, которые затем играли значительную роль в истории почвы в качестве главного источника углекислого и фосфорнокислого кальция. С течением времени материал этот скапливался, образуя значительные толщи; затем, когда в результате некоторых изменений земной коры вода отступала, отложенный материал оставался в виде почвенной супи или скал. Как только материал этот подвергался воздействию воздуха, в нем начинались процессы разрушения и распада. Воздух, вода и низкая температура—все это принимает участие в процессе разрушения; ветер, вода, в том числе иногда и лед, действуют в качестве переносящих агентов. В течение громадного ряда веков частицы этого материала подвергались воздействию всех этих сил, и факт, что они еще сохранились, свидетельствует о громадной сопротивляемости их и практически о неизменяемости в течение коротких периодов времени. Частицы верхнего слоя почвы, который подвергался выветриванию еще со времени отложения почвы, а затем в течение сотен лет возделывания ее, почти не отличаются от частиц подпочвы, защищенной от всех этих воздействий.

Однако частицы почвы не являются совершенно неизменяемыми. Дождевая вода и растворенная в ней углекислота оказывают легкое растворяющее действие, почему почвенная вода всегда содержит в растворе небольшое количество соединений кальция и магния, силикатов, а также и других веществ.

Каждая частица теряет только незначительное количество своего вещества в почвенной воде, и жизнь ее чрезвычайно продолжительна. Тем не менее растворение и разложение имеют место постоянно, и в наиболее выветрившихся и повторно осаждавшихся почвах юго-восточной Англии двумя главными состав-

ными частями почв являются кварц и глина. Далее коллоидальные вещества поверхностных слоев подвергаются дисперсии и затем переносятся в глубь почвы; в более низких глубинах они вновь коагулируются; при этом в результате могут происходить, таким образом, значительные изменения. Одним из общих следствий является то, что почва нормально содержит меньше мельчайших частиц, чем подпочва.

Природа и степень этих изменений глубоко видоизменяются количеством и состоянием комбинации присутствующего кальция. Кальций является наиболее важным из отдельных элементов в составе почвы.

Во всякой местности, где условия в отношении осадков и температуры благоприятны, почва быстро покрывается растительностью; даже голая поверхность скал не остается без своей флоры. Первая растительность должна была, очевидно, получать свою минеральную пищу из растворившегося материала частиц почвы, но когда эта растительность умирала и сгнивала, то все взятое ею из почвы вещества возвращались обратно в почву, так что последующая растительность получала уже пищу из двух источников: веществ, прямо растворенных из почвенных частиц во время жизни растения, и из веществ, растворенных ранее и взятых предыдущими поколениями растений. Таким образом, в естественных условиях и там, где растительность не удаляется, минеральная пища может быть использована вновь и вновь, поскольку она не вымывается дождевой водой.

Отмершая растительность может: а) оставаться на поверхности почвы, где она и сгнивает, образуя торф, или б) смешиваться с почвой в результате деятельности различных живых организмов, образуя гумус. Второй случай является наиболее обыкновенным процессом; на рассмотрении его мы и остановимся в настоящей главе.

Остатки умерших растений возвращают почве больше, чем эти растения взяли из нее во время своей жизни. Растениями в течение их жизни синтезируется крахмал, целлюлоза, протейны и другие сложные вещества; большая часть всех этих веществ поступает обратно в почву после смерти растения. Эти добавочные органические вещества производят существенные изменения, так как они содержат закрепленные запасы энергии, полученной хлорофиллом растений от солнечного света. Различие между возникающей таким образом почвой и первоначальным скоплением минеральных веществ заключается в том, что почва содержит источники энергии, которых не содержат минеральные вещества. Почва скоро делается местом пребывания ряда различных организмов, извлекающих свое питание и свою энергию из органических веществ и, вместе с тем, производящих известные изменения, на изучении которых мы остановимся несколько позднее. Некоторые из организмов, как мы увидим ниже, способны свя-

зывать газообразный азот и таким образом увеличивать запасы протеинообразных соединений, между тем как другие могут усваивать углекислоту.

Таким образом, тот комплекс, который мы называем почвой, состоит из следующих четырех частей.

1. Минеральные вещества, образовавшиеся из горных пород и составляющие остов почвы. Они, в основном, остаются в коротком промежутке времени неизменными, но содержат некоторые продукты разложения, способные вступать в реакции.

2. Углекислый и фосфорнокислый кальций (последний обычно в значительно меньшем количестве) и органическое вещество, происшедшее из морских или иных организмов, отложившихся одновременно с почвой.

3. Почвенная вода—слабый раствор углекислоты, содержащий небольшое количество всех растворимых частей почвы.

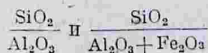
4. Остатки тех растений, которые жили, начиная с того момента, когда почва сформировалась. Остатки эти состоят из минеральной пищи растений, извлеченной ими из почвенной воды, и из части сложного органического вещества, синтезированного растениями в течение их жизни. Последнее является источником энергии для населения почвы и может рассматриваться как отличительная особенность почвы.

В засушливом (аридном) климате в почвах могут встречаться растворимые соли; наиболее часто встречается гипс, но встречаются также хлориды и сульфаты кальция и хлориды магния, натрия и калия, а при соответствующих обстоятельствах также карбонаты натрия и калия.

В этой главе мы рассмотрим минеральные органические составные части почвы и обратимся к почвенному раствору позднее.

## Процесс выветривания

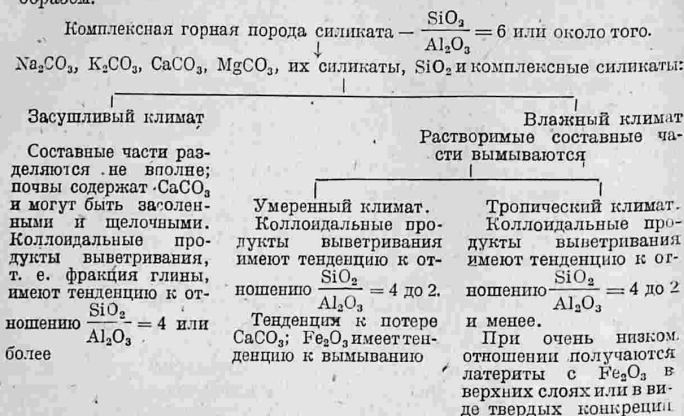
Горные породы почвы представляют собой главным образом сложные алюмосиликаты. В присутствии воды и углекислоты они подвергаются легкому разложению, давая щелочный раствор, содержащий карбонаты и силикаты калия и натрия; образуются также карбонаты и силикаты кальция и магния и свободная кремневая кислота. В засушливых районах все эти соли могут находиться вместе, в результате чего почва становится засоленной (щелочной); однако во влажных районах щелочные растворы вымываются дождевой водой, и разложение продолжается. Главный эффект этих процессов состоит в более быстром удалении  $\text{SiO}_2$ , чем алюминия и железа, в результате чего молекулярное отношение





падает. За пределами известной критической стадии характер продуктов выветривания меняется коренным образом, и вновь получающийся материал настолько выделяется внешним видом, что получил специальное название — латерита.

Эти стадии изменений могут быть представлены следующим образом.



Е. М. Краудер (Crowther) (1930) показал, что отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  в продуктах выветривания, т. е. в коллоидальной глине, находится в обратной зависимости от осадков и в прямой — от температуры; другими словами, это значит, что в то время, как возрастание осадков понижает отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ , возрастание температуры стремится повысить его. Эффективным агентом является не количество осадков, а количество воды, просачивающейся через почву, которое падает с повышением температуры благодаря усилению испарения.

В почвах США повышение температуры на  $1^\circ\text{C}$  в средней годовой температуре уравнивает эффект 40 мм годовых осадков; таким образом, когда осадки и температура повышаются одновременно (как это часто бывает в США), отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  при одинаковой материнской породе изменяется лишь незначительно. Это влияние осадков, маскирующее влияние температуры, может служить объяснением интересных наблюдений Ван Барена<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> J. van Baren, A. Te Wechel, L. Möser, C. van Aggelen, Mitt. Geolog. Inst. Wageningen, 1930, № 16.

Таблица 38

Состав фракций, полученных из сильно вымытой и выветрившейся почвы (юго-восточной Англии), где в крупная часть не остается практически ничего кроме кварца, по сравнению с менее разложившейся почвой из Абердина, в которой остается более значительная часть горных минералов (гравий) (1911)

(Холл и Рассель—для юго-восточной Англии и Гендрик и Орт (1916—1920)—для Абердина)  
Химический анализ механических фракций, перечисленных в % на сухое вещество

|                         | SiO <sub>2</sub>    |         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |         | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |         | CaO                 |         | MgO                 |         | K <sub>2</sub> O    |         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |         |
|-------------------------|---------------------|---------|--------------------------------|---------|--------------------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|-------------------------------|---------|
|                         | Юго-вост.<br>Англия | Абердин | Юго-вост.<br>Англия            | Абердин | Юго-вост.<br>Англия            | Абердин | Юго-вост.<br>Англия | Абердин | Юго-вост.<br>Англия | Абердин | Юго-вост.<br>Англия | Абердин | Юго-вост.<br>Англия           | Абердин |
| Мелкий гравий . . . . . | 94,4                | 85,0    | 3,0                            | 8,6     | 2,1                            | 1,1     | 0,4                 | 0,9     | 0,8                 | 0,4     | 0,6                 | 1,5     | 0,06                          | 0,07    |
| Крупный песок . . . . . | 93,3                | 83,9    | 1,6                            | 9,3     | 1,2                            | 1,1     | 0,4                 | 1,8     | 0,5                 | 0,4     | 0,8                 | 1,8     | 0,05                          | 0,08    |
| Мелкий » . . . . .      | 94,0                | 73,9    | 2,0                            | 13,5    | 1,2                            | 4,2     | 0,4                 | 3,0     | 0,04                | 1,0     | 1,5                 | 1,7     | 0,02                          | 0,1     |
| Пыль . . . . .          | 89,4                | 70,1    | 5,1                            | 14,0    | 1,5                            | 5,8     | 0,8                 | 2,1     | 0,3                 | 1,1     | 2,3                 | 1,5     | 0,03                          | 0,2     |
| Мелкая пыль . . . . .   | 84, <sup>1</sup>    | 67,2    | 7,2                            | 18,9    | 2,6                            | 7,8     | 1,1                 | 1,4     | 0,2                 | 1,6     | 3,2                 | 2,5     | 0,1                           | 0,3     |
|                         | 64, <sup>3</sup>    |         | 19,3                           |         | 7,6                            |         | 2,2                 |         | 0,4                 |         | 5,0                 |         | 0,4                           |         |
| Глина . . . . .         | 53, <sup>2</sup>    | 44,1    | 21,2                           | 27,6    | 13,2                           | 21,8    | 1,6                 | 0,6     | 1,0                 | 1,6     | 4,9                 | 1,1     | 0,4                           | 0,4     |
|                         | 49, <sup>4</sup>    |         | 29,8                           |         | 13,1                           |         | 1,5                 |         | 1,0                 |         | 3,4                 |         | 0,7                           |         |

<sup>1</sup> Фракция 0,01—0,004 мм.

<sup>2</sup> Из плодородной почвы.

<sup>3</sup> Фракция 0,004—0,002 мм.

<sup>4</sup> Из менее плодородной почвы.

что выветривание известняка идет по очень сходным линиям как в тропической Индии, так и в умеренной Голландии.

Когда выветрившиеся минеральные частицы вымываются в реки и отлагаются вновь, выступает роль второго фактора. В воде они вступают во взаимодействие с растворимыми силикатами, образуя более кремнекислотой и повышая таким образом<sup>1</sup> свое от-

ношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ . Таким образом, высокое отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  может происходить от:

- 1) низких осадков;
- 2) большой переработки в воде.

Низкое отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  возникает при высоких осадках в случае, если они не сопровождаются высокой температурой.

В Кенте, Суррее и Суссексе Холл и Рассель нашли эти отношения близкими к 4; в более влажном Северном Уэльсе Робинсон находил во многих случаях отношение ниже 3 (табл. 38).

Окись железа освобождается в процессе выветривания в форме коллоидального золь, который имеет тенденцию к вымыванию в глубь почвы. В жарком климате этот золь легко разлагается, так что железо осаждается на поверхности или близ нее, давая хорошо известные красноземы, характерные для этих районов. В умеренном климате золь является более стойким и вымывается глубоко в почву, прежде чем успеет отложиться; в этом случае он образует характерные отложения железистого ортштейна и подобные ему.

## Минеральное вещество почвы

Для изучения составных частей почвы было разработано три метода: валовой химический анализ, минералогический анализ в целях идентификации различных минералов и физические методы для разделения почвы на ее составные части по величине частиц, так как было найдено, что многие из свойств почвы зависят от величины частиц, а не от состава их.

В течение долгого времени эти различные методы не давали какой-либо корреляции между собой; однако в настоящее время результаты их сводятся, и каждый из этих методов дает дополнительную информацию к другим.

## СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ПОЧВЫ

Прежние химики рассматривали почву как целое и производили многочисленные полные химические анализы, в надежде интерпретировать с помощью их взаимоотношения с растениями. Получавшиеся цифры не оказались особенно ценными для этой

<sup>1</sup> G. W. Robinson, Nature, 1928, 121, 903.

цели и постепенно выяснился факт, что снабжение почвы водой и воздухом в такой же степени зависит от размера, как и от химического состава частиц ее, тогда как запасы питательных веществ почвы не могли быть определены с достаточной ясностью. Добени (1845) показал своими классическими исследованиями, что только часть питательных элементов почвы являлась «активной», или, по современному выражению, «усвояемой», остальная часть оставалась «спящей». Семь лет спустя Уэй (1852) показал, что силикаты почвы также распадаются на две группы—реактивную и нереактивную. Исследования Уэя привели к усиленному развитию изучения почвы; в то же время они представляют большой интерес как факт, показывающий, как часто практическая проблема сельского хозяйства может открыть путь к новому направлению работы большой научной важности. Фермеров издавна смущали потери аммиака из навозных куч и из навозной жижи, и один хозяин в Йоркшире, Томсон<sup>1</sup>, из Моат Холла, в Йорке нашел, что почва может поглощать этот аммиак и останавливать потери его. Уэй признал важность этого открытия и продолжил его. Он нашел, что поглощенный аммиак вытесняет эквивалентное количество кальция. Таким образом, он рассматривал это действие, как обыкновенное двойное разложение или осаждение и постарался открыть составные части почвы, в которых имел место этот обмен. Он нашел, что ни карбонат кальция, ни песок, ни разложенные горные породы—хотя бы и тонко размельченные, а также и органическое вещество<sup>2</sup> не являлись интересовавшей его составной частью. Активной составной частью была глина, и более того—она теряла это свойство при прокаливании. Ни один из известных простых силикатов не обладал этими свойствами, но Уэй приготовил несколько «двойных силикатов» из извести и глинозема и т. д., которые проявляли эти свойства; таким образом, они вели себя, подобно глине, образуя с аммиачными солями почти нерастворимый двойной силикат аммония и растворимую кальциевую соль; как и глина, они теряли это свойство после прокаливании. Хотя Уэем и не было установлено присутствие таких «двойных силикатов» в почве, но сходство их с реактивными составными частями почвы было настолько близко, что он счел себя вправе допустить присутствие их и в почве.

Эта работа продолжалась в трех направлениях.

Возникли противоречия относительно самого механизма аб-

<sup>1</sup> Впоследствии под именем Генри С. Мэйси-Томсона он сделался одним из наиболее выдающихся агрономов. В его экспериментах ему оказывал помощь один квакер, Джонс Спенс, химик в Йорке. Работа была произведена в 1845 г. и опубликована в 1850.

<sup>2</sup> Вслед за этим Кенигом (König, Landw. Jahrb., 1882, 11, 1—56) было показано, что органическое вещество обладало резко выраженным свойством поглощения аммиака из фосфата аммония.



сорбции (поглощения). Уэй рассматривал его как простую реакцию химического обмена; с другой стороны, Либих считал его физическим явлением, сходным с поглощением аммиака древесным углем; так же смотрел и Ван Беммелен. Это физическое объяснение поддерживали в целом ряде опубликованных работ между 1907—1915 гг. Камерон, Паттен и Паркер из Почвенного бюро в Вашингтоне и многие другие<sup>1</sup>; в этих работах указывалось, что количество оснований, освобождающихся из почвы, не обязательно является эквивалентным количеству поглощенных оснований. Ценность этого довода исчезла, однако, с открытием, что ионы водорода обычно вытесняются так же легко, как и ионы металлов, и если принимать их в расчет, то общее количество вытесненных катионов становится эквивалентным общему количеству поглощенных катионов. В виду этого Гедройц, Хиссиник и другие поддерживали химическую гипотезу Уэя. Однако различие между химическим и физическим процессом в настоящее время потеряло большую долю своего значения с тех пор, как то и другое объясняются электрическими явлениями.

Во-вторых, продолжались поиски активных составных частей почвы. Существование предполагавшихся Уэем «двойных силикатов» никогда не было установлено, но после открытия, что свойствами, приписывавшимися им, обладали также и цеолиты— группа кристаллических силикатов, образующихся от разложения фельдшпатов основных вулканических пород, стали предполагать, что в почве должны были присутствовать цеолиты, которые и являлись реактивной составной частью ее. Но и относительно цеолитов никогда не было доказано присутствие их в почве, и во всех этих предположениях исчезла всякая необходимость после открытия Лемберга, что и многие другие силикатные минералы, кроме цеолитов, являются также реактивными при обмене основаниями с растворами солей<sup>2</sup>. По современным взглядам, главными агентами здесь являются глина и часть органического вещества.

Третья группа исследований касалась функций замещаемых или обменных оснований в питании растений. Уэй предполагал, что они именно и являлись актуальными питательными веществами, и этот взгляд был значительно развит Кнопом (1871), ко-

<sup>1</sup> F. K. Cameron and H. E. Patten, «The Distribution of Solute between Water and Soil», Journ. Phys. Chem., 1907, 11, 581—593, E. G. Parker, «Selective Adsorption by Soils», Journ. Agric. Res., 1913, 1, 179—188; См. также A. Baumann, «Untersuchungen über Humussäuren», Mitt. d. k. bayr. Moorkulturanstalt, 1909, 3, 53—123; E. Gully, «Die Humussäuren im Lichte neuerzeitiger Forschungsergebnisse», Int. Mitt. Bodenkunde, 1915, 5, 232—247 и 347—368.

<sup>2</sup> Zeit. deutsch. geol. Gesell. 1870, 22, 335, 803; 1872, 24, 187; 1876, 28, 537; 1877, 29, 483. Общий обзор этих важных исследований см. E. A. Fisher, Trans. Faraday Soc., 1922, 17, 305—316.

торый показал, что общее количество поглощенных оснований могло служить показателем плодородия почвы. Он выражал это общее количество в переводе на эквивалент аммония, который он определял прямо, учитывая аммиак, поглощенный из 0,5% раствора хлористого аммония, считая поглощенный аммоний эквивалентным общему количеству вытесненных оснований. К обоснованию этого взгляда мы возвратимся еще на стр. 410; эти исследования представляют для нас здесь интерес в виду того, что метод определения этих оснований с помощью хлористого аммония с тех пор стал общепринятым, с некоторыми изменениями для преодоления тех затруднений, что хлористый аммоний растворяет также некоторые количества карбоната и сульфата кальция.

Эти исследования показали, что некоторые из оснований почвы отличались от остальных в том, что они легко поддавались удалению и замещению, не вызывая перманентных изменений в самой почве.

Между тем, блестящим голландским химиком Ван Беммеленом были произведены важные исследования над кислотной частью силикатов; хотя Ван Беммелен никогда не был на Яве, но он заинтересовался замечательными латеритными почвами ее и начал важные почвенные исследования, которые он много лет вел в Голландии, и что, также не менее важно, положил начало традициям, которые впоследствии поддерживались выдающимся рядом его преемников—Хиссинком, Ван Бареном, Мором, Худигом и другими.

Ван Беммелен (1877 и след.) начал с исследования минеральных силикатов в образовании почвы. Он разделял почвенные силикаты на две группы:

1) невыветрившуюся часть, встречающуюся даже в глине в форме кристаллов, которым может быть придана химическая формула;

2) выветрившуюся часть, которая содержит две группы силикатов:

Силикат А, совершенно разлагаемый при кипячении с концентрированной соляной кислотой, в котором молекулярное отношение  $\text{SiO}_2$  колеблется между 3 и 6<sup>1</sup>. Основания удерживаются слабо, и он рассматривал комбинацию их скорей как поглощающий комплекс  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{pAl}_2\text{O}_3$ ,  $\text{qFe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{rCaO}$  и т. д., а не как химические соединения, которые можно было бы выразить определенной формулой. Этот силикат является коллоидальным.

<sup>1</sup> Для голландских почв Хиссинк дает средний состав силиката А, как  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,56 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3,6 \text{ SiO}_2 \cdot 2,9 \text{ H}_2\text{O}$ .

Силикат В, на который соляная кислота не действует и который может быть разложен только горячей концентрированной серной кислотой. Отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  колеблется здесь между 2 и 3. Основания удерживаются очень сильно, и эта часть силикатов имеет лишь незначительное влияние на продуктивность почвы. Она сходна с каолином.

Он подчеркивал важную роль, которую играют в определении некоторых свойств почвы «аморфные цеолитные силикаты, возникающие при выветривании», выражаясь его собственными словами; они не подвергаются коагуляции; они высыхали в твердую компактную массу; далее, они поглощают различные вещества из растворов и участвуют в двойном разложении с различными солями. Его анализы силикатов, выветрившихся в эти два вещества «А» и «В», наводили на мысль, что силикат А являлся реактивной частью, обусловливавшей явления, выдвинутые Уэем, и определявшей отчасти коллоидальные свойства почвы. Этот взгляд получил широкое распространение, и соляная кислота стала общепринятой для определения количества цеолитных или реактивных оснований почвы<sup>1</sup>.

Однако важные исследования Гедройца (1916) показали, что силикат А, описанный выше, заключал в себе больше, чем одни реактивные составные части. Соляная кислота выносила из почвы более значительные количества оснований, чем те, которые могли вытесняться при взаимодействии с растворенными солями, как, например, с раствором хлористого аммония.

Кроме того она выносила из почвы также кремнезем и глинозем, которые растворами солей не затрагивались. Еще более важным является то, что соляная кислота вызывала в почве необратимые изменения, так как раз железо, глинозем и кремнезем удалялись из почвы, то они уже не могли вступить в нее обратно, и почва не могла возвратиться к своей первоначальной форме.

Белякова<sup>2</sup>, работая с почвами трех разных типов—подзолистыми, степными и солонцовыми, исследовала отношения между общим количеством различных составных частей разных фракций глины и частью, растворимой в соляной кислоте. Почти все количество железа и кальция тонкоглинистых фракций и большая часть алюминия были растворимы, и только около 60% кремневой кислоты и магния. Таким образом, силикат А Ван Беммелена обнимает большую часть фракций тонкой глины, за исключением некоторого количества кремневой кислоты.

<sup>1</sup> См. Хиссинк (Int. Mitt. Bodenkunde, 1915, 5, 1—24), а также некоторые результаты у Ганса, там же, 1913, 3, 529—571.

<sup>2</sup> Сборник, посвященный памяти Глинки, Ленинградский с.-х. ин-т (1928), стр. 91—162.

Таким образом, минеральные составные части почвы заключают в себе следующие группы силикатов:

1. Силикаты, легко разлагаемые кипящей соляной кислотой (силикат А Ван Беммелена).

Некоторые из этих оснований являются обменными, т. е. они легко могут быть замещены другими или водородом без постоянного нарушения почвы, и все происходящие в ней изменения легко обратимы.

2. Силикаты, не легко разлагаемые кипящей  $\text{HCl}$ , но разрушающиеся при продолжительных обработках серной кислотой или при сплавлении с карбонатом натрия, фтористым аммонием и т. д.

Распределение этих разных групп иллюстрируется таблицей 39, представляющей данные Хиссинка для голландских глин.

Количество и пропорция обменных оснований в типичных почвах приведены в таблице 40.

Таблица 39

Количества «замещаемых», или «обменных», и «кислотно-растворимых» оснований силиката А в некоторых голландских почвах.

По Хиссинку<sup>1</sup>

| Основания                       | Процентное содержание |                                |                       |                                                     | На каждые 100 частей оснований приходится |                              |       |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-------|
|                                 | Обменные основания    | Кислотно-растворимые основания | Сумма=общие основания | % обменных оснований от общего количества оснований | В обменной форме                          | В кислотно-растворимой форме | Всего |
| $\text{CaO}$ . . . . .          | 0,844                 | 0,251                          | 1,085                 | 76,9                                                | 84,2                                      | 8,8                          | 28,2  |
| $\text{MgO}$ . . . . .          | 0,080                 | 1,340                          | 1,420                 | 5,6                                                 | 11,3                                      | 65,5                         | 51,6  |
| $\text{K}_2\text{O}$ . . . . .  | 0,024                 | 0,825                          | 0,850                 | 2,8                                                 | 1,4                                       | 17,2                         | 13,1  |
| $\text{Na}_2\text{O}$ . . . . . | 0,033                 | 0,270                          | 0,303                 | 10,9                                                | 3,1                                       | 8,5                          | 7,1   |
|                                 | —                     | —                              | —                     | —                                                   | 100                                       | 100                          | 100   |

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Эффективные методы минералогического анализа почв были первоначально разработаны Делажем и Лагатию (1904) и Ван дер

<sup>1</sup> Trans. Faraday Soc., 1925, 20, 551—566; также в Int. Mitt. für Bodenkunde, 1922, 12, 81—172.



Кольком (1906) и значительно развиты Штейнриде<sup>1</sup> и Ван Барен<sup>2</sup> в Вагенингене.

Они показали, что составные части почвы образуют две группы:

1. Неизменные горные минералы.
2. Продукты выветривания.

Наиболее обычным из неизменных горных минералов является кварц ( $\text{SiO}_2$ ); действительно, во вторично отложившихся и переработанных почвах юго-востока Англии и в сходных почвах (приморского типа) США крупные частицы редко состоят из чего-либо другого. Палеозонические почвы Северного Уэльса и Шотландии содержат много неразложившихся минеральных силикатов [Робинсон<sup>3</sup>, Гендрик и Огг (1916), (1920)], равно, как и гранитные почвы Южной Франции [Делаж и Лагатию (1904)] и почвы в засушливых частях США (табл. 41).

Из других минералов, кроме кварца, наиболее обычными являются:

Ортоклаз.

Роговая обманка, преимущественно  $\text{Ca}(\text{MgFe})_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$  с  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$  и  $(\text{MgFe})_2(\text{AlFe})_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$ .

Плагиоклаз, изоморфная смесь  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  и  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ .

Эпидот,  $\text{Ca}_2\text{H}(\text{AlFe})_3\text{Si}_3\text{O}_{13}$ .

Слюда.

В обычной практике эти методы применяются лишь для сравнительно больших кристаллов 0,02 мм и более в диаметре, и до последнего времени более тонкий материал оставался неразличимым. Но, применяя соответствующие изменения (определение плотности, с помощью тяжелых жидкостей, и показатели преломления, при применении иммерзионной техники), представляется возможным распространить эти методы на фракцию пыли, т. е. на частицы выше 0,002 мм в диаметре. Более мелкие частицы представляют большие затруднения.

В последнее время были разработаны два других метода, с помощью которых могут изучаться минералогически тончайшие частицы почвы. Об этом говорится на стр. 155. Эти методы обнаруживают, что минералы размером приблизительно ниже 0,002 мм в диаметре отличаются от частиц большего размера тем, что состоят главным образом из продуктов разложения; более мелкие частицы неизменной первоначально горной породы составляют только небольшую пропорцию.

<sup>1</sup> Anleitung zur mineralogischen Bodenanalyse, Лейпциг (1921). Изучающие найдут превосходную коллекцию в Геологическом институте с.-х. университета в Вагенингене.

<sup>2</sup> Ван Барен, «Микроскопические, физические и химические исследования известняков и известковых почв Восточного Индийского архипелага», Mitt. Geol. Inst., Wageningen, 1928, № 14.

<sup>3</sup> Journ. Agric. Sci., 1917, 8, 338—384.

Таким образом, химический и минералогический методы согласуются в разделении почвенных силикатов на две группы, проводя пограничную линию приблизительно близ фракции диаметра около 0,002 мм; выше этой границы частицы состоят главным образом из кварца или раздробленных фрагментов горной породы, тогда как ниже этой линии они состоят из продуктов выветривания и разложения.

Таблица 40

Процентный состав обменных оснований разных кислых или нейтральных почв.

100 частей обменных оснований содержат:

| Почва                                               | Чернозем    | Подзол      | Глина       | Песчан. гумус | Разные    | Разные            | Ротам-степ          | Вобэрн             |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-------------------|---------------------|--------------------|
| Страна                                              | СССР        | СССР        | Голландия   | Голландия     | Шотландия | Калифорния        | Англия              | Англия             |
| Исследователи                                       | Гедройц (а) | Гедройц (а) | Хиссинк (б) | Хиссинк (б)   | Смит (в)  | Келли и Браун (г) | Пейдж и Вильямс (д) | Краузер и Базю (е) |
| Са . . . . .                                        | 82,1        | 80,5        | 79          | 76            | 88        | 63                | 92                  | 79                 |
| Mg. . . . .                                         | 15,1        | 13,4        | 13          | 13            | 7         | 25                | 5                   | 13                 |
| K. . . . .                                          | 2,7         | 6,1         | 2           | 3             | 2         | 4                 | 3                   | 3                  |
| Na. . . . .                                         | —           | —           | 6           | 8             | 3         | 8                 | —                   | 5                  |
| Всего в мг-экв. на 100 г почвы <sup>1</sup> . . . . | 54,8        | 6,2         | 38,3        | 19,8          | 11,2      | 30,3              | 14,7                | 5,2                |

(а) К. К. Гедройц, 1927.

(б) Хиссинк, Int. Mitt. Boden., 1922, 12, 81.

(в) Среднее из 17 почв. А. М. Смит, Journ. Agric. Sci., 1925, 15, 466.

(г) Среднее из 7 нейтральных почв. В. П. Келли и С. М. Браун, Calif. Univ. Agric. Expt. Sta., 1924, Tech. Paper 15.

(д) Почва Бродбока, в Ротам теле, после непрерывной культуры пшеницы без удобрения в течение 80 лет. Н. J. Page and W. Williams, Trans. Farad. Soc., 1925 20, 513.

(е) Вобэрнская почва, среднее из 4 делянок после непрерывной культуры пшеницы или ячменя без удобрения в течение 50 лет. Е. М. Crowther and J. K. Basu, Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 689.

<sup>1</sup> Т. е. сумма отдельных оснований.

Таблица 41

Процент кварца и других минералов во фракциях песка и пыли,  
выделенных из почв США.

W. J. Mc Caughey and W. H. Fry<sup>1</sup>

| Метод образования                  | Тип почвы               | Фракция<br>песка          |       | Фракция<br>пыли           |       |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
|                                    |                         | Процент                   |       | Процент                   |       |
|                                    |                         | Минералы,<br>кроме кварца | Кварц | Минералы,<br>кроме кварца | Кварц |
| Преимущественно де-<br>зинтеграция | Засушливая . . . . .    | 37                        | 62    | 42                        | 58    |
| Промежуточный                      | Residual * . . . . .    | 15                        | 85    | 21                        | 79    |
|                                    | Ледниковая и лессовая . | 12                        | 88    | 15                        | 85    |
| Преимущественно раз-<br>ложение    | Приморская . . . . .    | 5                         | 95    | 8                         | 92    |

Failyer, Smith и Wade (1908)

|       |                  | % K <sub>2</sub> O в: |      |       | % CaO в: |      |       | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в: |      |       |
|-------|------------------|-----------------------|------|-------|----------|------|-------|------------------------------------|------|-------|
|       |                  | песке                 | пыли | глине | песке    | пыли | глине | песке                              | пыли | глине |
| Тип 1 | Засушливая . . . | 3,05                  | 4,15 | 5,06  | 4,09     | 9,22 | 8,03  | 0,19                               | 0,24 | 0,45  |
| Тип 2 | Ледниковая . . . | 1,72                  | 2,30 | 3,07  | 1,28     | 1,30 | 2,69  | 0,15                               | 0,23 | 0,46  |
| —     | Residual * . . . | 1,60                  | 2,37 | 2,86  | 0,50     | 0,82 | 0,94  | 0,07                               | 0,22 | 0,70  |
| Тип 3 | Прибрежная . . . | 0,37                  | 1,33 | 1,62  | 0,07     | 0,19 | 0,55  | 0,03                               | 0,10 | 0,34  |

<sup>1</sup> U. S. Dept. Agric. Bureau of Soils, Bull. 91, 1913.

\* Residual soil — почва, образовавшаяся из остатков горной породы на месте. В нашей терминологии не имеется краткого выражения для этого понятия. Прим. перев.

## Разделение почвы на фракции по группировке частиц различных размеров

Физический и механический анализы оказались более успешными, чем химический анализ, для объяснения разных отношений между почвой и растущим растением. Многие из важных свойств почвы более тесно связаны с размером почвенных частиц, чем с химическим составом их. Причина этого в конечном итоге кроется в химической стороне дела: более крупные частицы настолько стойки, что являются почти неизменными, и их химические свойства, помимо их инертности, имеют меньшую важность по сравнению с их физическими свойствами.

Влияние размеров частиц на свойства почвы изучается с помощью выделения из почвы частиц, лежащих по величине в известных условных пределах. В настоящее время вообще принимается пять групп; в старой британской системе их было шесть и в старой американской—семь. Разделение более крупных групп производится с помощью сит, а более мелких взмучиванием в воде, основанным на принципе, что более крупные частицы опускаются быстрее, чем более мелкие. На практике разделение никогда не является полным, так как оно осложняется тем фактом, что на темп оседания влияют форма и удельный вес частиц; удельный же вес различных составных частей минералов может колебаться в пределах от 1,8 до 3. Но, когда операция производится при строго определенных условиях, она дает сравнимые результаты, которые оказались весьма ценными при почвенных исследованиях, хотя и в ограниченных рамках. Результаты выражаются в условных терминах. Частицы делятся на специфические группы по их скоростям оседания или же по диаметру, которым они обладали бы, если бы они были правильно-сферической формы, известной определенной плотности и такого размера, чтобы могли опускаться в воде одинаковым темпом.

Это разделение на группы приведено в таблице 42, а более детально в приложении на стр. 497 и след.<sup>1</sup>

Гораздо лучшим приемом было бы, если бы представилось возможным разделить почву на бесконечно большое число групп, которые можно было бы нанести на график в виде прилегающих друг к другу колонн (столбиков). Кривая, соединяющая вершины этих столбиков, известна под именем кривой распределения массы. Такой способ все же остается еще в значительной степени искусственным, так как и здесь представляется необходимым удерживать условные «эффективные» или «эквивалентные» диаметры, рассматривая частицы не такими как они есть, а такими, какими они были бы в случае совершенно сферической формы. По метод этот

<sup>1</sup> Полное описание и обсуждение техники анализа см. у Кия и Геснер. *Die Schlammanalyse*, 1931, Leipzig.



имеет громадное преимущество, давая кривые, более подходящие для детального изучения, чем данные, получавшиеся при более старых методах механического анализа.

Первым, кто приступил к получению кривых этого типа, был Оден. Он применял автоматические весы для регистрирования навесок частиц, осаждавшихся за данное время, и анализировал результаты в блестящем ряде своих работ, описанных в монографии Кина. Вигнером был разработан прерывистый, но менее точный метод, основанный на измерении изменений гидростатического давления колонны суспензии, изменяющегося с отложением твердого вещества.

Робинсон<sup>1</sup> принял другой метод процедуры. Он описывает частицы в выражении их скоростей осаднения, а не размеров их. Логарифмы этих скоростей при нанесении на график рядом с процентом соответствующих фракций дают плавные кривые механического состава, на которых можно отсчитывать количества, получающиеся при каком-либо из обыкновенных методов. Результаты, калькулируемые таким образом, совпадают с актуально найденными количествами.

**Более крупные частицы:** гравий (нем. Kies) выше 2 мм диаметром; грубый песок (Sand) 2,0—0,2 мм диаметром. Эта группа состоит главным образом из раздробленной горной породы. В сильно выветрившихся почвах юго-востока Англии они состоят почти полностью из кварца. Характерным свойством их является их инертность. Они не оказывают никакого химического действия в почве; они не проявляют никаких коллоидальных свойств, ни способности поглощения воды или растворимых веществ, никакой связности или пластичности. Однако эти отрицательные свойства очень важны в почве. Так как частицы очень неправильны по форме, то они не соприкасаются плотно друг с другом, так что в них остаются промежутки широких пор, облегчающие аэрацию, дренаж и выщелачивание. Таким образом, почвы, в которых преобладает крупный песок, хорошо дренируются, имеют тенденцию к высыханию и к обеднению питательными веществами. Далее, отсутствие коллоидальных свойств означает отсутствие связности; поэтому эти почвы не образуют комков или глыб, а остаются в форме раздельных частиц, которые легко поддаются обработке и могут даже сдуваться сильным ветром. В умеренной степени эти свойства благоприятны для роста растений; песок как крупный, так и мелкий или и тот и другой вместе является существенной составной частью плодородной почвы; но когда эти свойства песка сильно преобладают, то почва становится неплодородной. В таком случае она по существу уже перестает даже быть почвой и становится дюнным песком. В итоге мы можем сказать, что влияние песка в почве уравновешивает влияние глины

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 626.

Название и размеры фракций, получаемых при механическом анализе почв в различных странах

| Старая британская система<br>(изменена в 1828 г.) |                              | Американская система (Почвенного бюр <sup>1</sup> ) |                              | Старая германская система <sup>2</sup><br>(Verband Landw. Versuchs-Stat.) |                              | Британская и интернациональная<br>(на основе Агберговской) <sup>3</sup> |                              |
|---------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Название фракций                                  | Диаметры<br>частиц<br>(в мм) | Название фракций                                    | Диаметры<br>частиц<br>(в мм) | Название фракций                                                          | Диаметры<br>частиц<br>(в мм) | Название фракций                                                        | Диаметры<br>частиц<br>(в мм) |
| Мелкий гравий . . .                               | 3—1                          | Мелкий гравий                                       | 2—1                          | Stein . . . . .                                                           | Более 5                      | Гравий (Kies) . .                                                       | Более 2                      |
| Грубый песок . . .                                | 1—0,2                        | Грубый песок .                                      | 1—0,5                        | Grand . . . . .                                                           | 5—2                          | Грубый песок . .                                                        | 2,0—0,2                      |
| Мелкий песок . . .                                | 0,2—0,04                     | Средний песок                                       | 0,5—0,25                     | Sehr grober Sand.                                                         | 2—1                          | Мелкий песок<br>(Mo, Fein-Sand)                                         | 0,2—0,02                     |
| Пыль . . . . .                                    | 0,04—0,01                    | Мелкий песок .                                      | 0,25—0,10                    | Grober Sand . . .                                                         | 1—0,5                        | Пыль (Silt,<br>Schluffstaub) . .                                        | 0,02—0,002                   |
| Мелкая пыль . . .                                 | 0,01—0,002                   | Очень мелкий<br>песок . . . . .                     | 0,10—0,05                    | Mittelskorniger<br>Sand . . . . .                                         | 0,5—0,2                      | Ил (Clay. Ton,<br>Schlamm) . . . .                                      | Ниже 0,002                   |
| Глина . . . . .                                   | Ниже 0,002 <sup>4</sup>      | Пыль . . . . .                                      | 0,05—0,005                   | Fein-r sand<br>Sehr f in-r Sand                                           | Ниже 0,2                     |                                                                         |                              |
|                                                   |                              | Глина . . . . .                                     | Ниже 0,005                   | Min ral-Staub                                                             |                              |                                                                         |                              |
|                                                   |                              | Коллоидная<br>фракция . . . .                       | Ниже 0,002                   | Ton . . . . .                                                             |                              |                                                                         |                              |

<sup>1</sup> L. B. Olmstead, L. T. Alexander, H. E. Middleton, U. S. Dept. Agric. Tech. Bull. 170, 1930. За исключением «коллоидальной фракции», сохранена старая группировка Whitney.

<sup>2</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1893, 43, 335. Первые 5 фракций разделяются ситами, а остальные отлучиванием в шлиндре Kuhn'a. Раман принял американские пределы размеров, но делит глину на тонкую пыль (Feiner Staub) 0,005—0,0015 мм и ил (Schlamm) ниже 0,0015 мм.

<sup>3</sup> Int. Mitt. Bodenkunde, 1912, 2, 312—342.

<sup>4</sup> По всей вероятности мельче: вычисленная величина верхнего предела—0,0014.

и при рассмотрении плодородия почвы обе эти составные части всегда рассматриваются вместе.

Мелкий песок (0,2—0,02 мм в диаметре). Эти частицы укладываются между собой более плотно, чем частицы грубого песка, и поэтому не так легко допускают дренаж и аэрацию. Далее, они легко прилипают в присутствии небольшого количества глины или гумуса.

Почвы, содержащие 40% и более мелкого песка, склонны к образованию на поверхности после дождя твердой корки, через которую молодые растения пробиваются лишь с трудом, если ее не разбить катком. Эти почвы не обладают большой водоудерживающей способностью или поглотительной способностью, присущих почвам с преобладанием более мелких фракций; если в почве находится еще большее количество мелкого песка, то она, по выражению фермеров, становится «голодной» и не способной противостоять засухе. Известные своим бесплодием пески Багнота и пустынные вересковые пространства Вест-Суррея состоят главным образом из этой фракции, содержание которой в них доходит иногда до 70%; содержание же глины здесь невелико, и в общем почва отличается сухостью.

Пыль (0,02—0,002 мм в диаметре). До последнего времени эту фракцию обыкновенно разбивали на две группы: крупная пыль и тонкая пыль, причем границы деления проходят на частицах диаметра 0,01 мм, а верхним пределом для крупной пыли служит 0,04 мм в диаметре. Однако это деление едва ли заслуживает того, чтобы ему придавать значение, и в настоящее время оставлено.

Частицы пыли могут слегаться вместе плотнее, чем частицы какой-нибудь другой составной части почвы; таким образом, они обладают значительной силой препятствия движению воздуха и воды. До некоторой степени пыль является по своим свойствам средней между песком и глиной, но с очень важной разницей.

Частицы пыли проявляют некоторые коллоидальные свойства, хотя и очень слабо развитые. Они обладают слабой способностью поглощения воды и слабой теплотой смачивания, но они почти лишены связности при высыхании. Влияние электролитов на суспензии пыли зависит от материала, составляющего пыль. Если преобладает кварц, то, как показали Матсон (1922) и Туорила (1928), пыль коагулируется нормально в кислых и нейтральных растворах. Но в присутствии кальция или других двувалентных металлов в щелочных растворах она подвергается ненормально быстрой коагуляции. Кермак и Вильямсон<sup>1</sup> показали, что суспензии каолина подчиняются нормальной коагуляции, за исключением случаев, когда присутствует фосфат кальция; но если частицы были

<sup>1</sup> W. A. Kermack and W. T. Williamson. Proc. Roy. Soc. Edin., 1925, 45, 59; 1927, 47, 202.

покрыты кремневой кислотой, то они подвергаются этой ненормально быстрой коагуляции в щелочной среде в присутствии кальция. Комбер<sup>1</sup> еще раньше получал подобные результаты с образцом пылевой почвы с фермы Лидского университета, которую он изучал.

Некоторые из более ранних работ были несколько искажены присутствием в пыли коагулированной глины, которая не переводилась в дисперсное состояние при действии слабого раствора аммиака, употреблявшегося в то время. Современные окисляющие агенты, как, например, перекись водорода, являются более эффективными для удаления цементирующего органического вещества и, таким образом, разбивают эти агрегаты; при этом дисперсия в форме натриевой глины происходит более быстро и полно, чем дисперсия в форме аммонийной глины.

Влияние этих свойств в почве выражается значительным повышением водоудерживающей способности и замедлением потерь через испарение и дренаж. До известного предела—это благоприятно. Однако почвы, содержащие много пыли, например, в Англии, содержащие 15—20% мелкой пыли, часто бывают трудны для обработки и дренажа, и это плотное слеживание, будучи результатом формы частиц, а не каких-либо специальных коллоидальных свойств, не может устраняться обычными способами известкования. Такие случаи встречаются близ угольных копей в Северном Уэльсе (например, на ферме колледжа в Абере) и в других местностях.

### ГЛИНА

К сожалению, название «глина» употребляется двумя различными группами работников в двух совершенно различных смыслах. Почвоведы применяют это название ко всем минеральным материалам почвы, частицы которых, если бы они были шарообразны, имеют меньше 0,002 мм в диаметре\*. С другой стороны, химики в керамике допускают гораздо более широкий предел в размере до 0,01 мм в диаметре, но они ограничивают применение этого названия только группой минералов, обладающих известными свойствами; как тип глины они принимают каолинит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , хотя согласно Россу, он встречается сравнительно редко и его обычно смешивают с анокситом  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , от которого его нельзя отличить при физических испытаниях и который гораздо более распространен<sup>2</sup>. Как мы увидим ниже, каолинит едва ли обладает типичными свойствами глины в понятии агрономов<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> N. M. Comber, Journ. Agric. Sci., 1920, 10, 425.

\* В СССР к фракции глины относят частицы диаметром  $< 0,001$  мм, а к мелкой пыли 0,01—0,001 мм. П р и м. п е р е в.

<sup>2</sup> C. S. Ross, Proc. First. Int. Congress Soil Sci., 1927, vol. 4, стр. 555. Специальный бюллетень 165 E. U. S. Geolog. Survey, 1931.

<sup>3</sup> Обсуждение разницы между тем и другим см. у S. R. Hind, Trans. Ceramic Soc., 1927—28, 27, 5.



Глина (в нашем смысле слова) является одной из наиболее характерных и отличительных составных частей почвы. В отличие от песка и пыли она реактивна химически, и ее химические свойства сходны со свойствами солей в том, что она легко вступает в реакцию двойного разложения. Однако в отличие от солей она обладает резко выраженными физическими свойствами, напоминая во многих отношениях электроотрицательные коллоиды. Однако эти отличительные свойства выявляются только тогда, когда глина смочена водой, и в гораздо меньшей степени—в случае других полярных жидкостей; свойства эти окончательно теряются при прокаливании, на основании чего можно предполагать, что они зависят от некоторой специальной структуры.

До сравнительно недавнего времени глина считалась аморфной; но в настоящее время, двумя различными методами, обнаружено, что она кристаллична: при изучении двойной рефракции и при испытании X-лучами. Маршалл (1930в) определял двойную рефракцию частиц глины в суспензии, подвергавшейся переменному электрическому току, и из результатов испытаний вывел, что глина имеет кристаллическую структуру, которая нарушается катионами; он пришел к заключению, что катионы занимают в сетке кристалла определенное положение, а не являются поглощенными просто на удачу.

Анализ X-лучами применялся американскими исследователями. «Модель» строения («Pattern») зависит только от «ацидофильной» части глины, а не от реактивных катионов. Минералы глины делятся на три группы:

1. Группа каолинита, включающая:

Халлоизит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Апоксит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Бейделлит ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3 или более  $\text{SiO}_2$ , около  $4\text{H}_2\text{O}$ ), часто заключающий  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , частично замещающую  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , или зависящую от примеси изоморфного нонтроита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 3 или более  $\text{SiO}_2$ , около  $4\text{H}_2\text{O}$ ).

2. Монтмориллонит ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ )  $\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3, 4 или 5, обычно же  $4\text{SiO}_2$ , около  $5\text{H}_2\text{O}$ .

3. Глины, заключающие калий, встречающиеся в метаморфизованном бентоните, глины металлорудных жил и разрушающихся вулканических пород; однако является неуверенность относительно того, может ли эта группа как «модель» быть воспроизведена примесью кварца к группе монтмориллонита.

Из этих минералов бейделлит и монтмориллонит, повидимому, являются наиболее обычными в почве. Монтмориллонит встречается также в фуллеровской земле\* и в бентонитах.

Замечательно, что ни слюда, ни полевой шпат, ни лимонит,

\* Fuller's earth (нем. Walckerde)—род глины, употребляемой для отделки и очистки шерстяных тканей. Прим. перев.

гематит или магнетит не были найдены в коллоидальной глинѣ. Далее оказывается, что в каждом почвенном коллоиде находится только один кристаллический компонент<sup>1</sup>. Келли, Дор и Браун (1931) вывели из своих фотографий X-лучами, что кристаллы бен-тонита имеют структуру, связанную с кубической сеткой, с край-ми в 9 ангстремов (единица длины)<sup>2</sup>, тогда как почвенные кол-лоиды имеют более сложную структуру.

**Система глина—вода.**—Когда частицы глины находятся в суспензии и взболтаны в чистой воде, то струя ее имеет характерный шелковистый вид от несферических частиц, и частицы плавают в воде очень долгое время, некоторые почти бесконечно; они в два или три раза тяжелее воды, но поддерживаются в таком состоянии благодаря их броуновскому движению. Их свойства позволяют нам получить представление об этой системе, хотя верность этого представления является скорее делом догадок, чем прямых доказательств. Конечная частица, или мицелла, как называют ее Дюкло, а также Вигнер, состоит из кристаллической сетки или ультрамикрона, окруженного своими основаниями, но эта система, хотя и является в целом нейтральной, окружена двойным электрическим слоем Гельмгольца: внутренний притягивающий слой анионов кремневой кислоты или гидроксильных ионов от глинозема и внешний «рой» катионов, которые электрически уравнивают анионы. Электрокинетический потенциал на частице возрастает с расстоянием между двумя слоями, а последнее возрастает с гидратацией ионов, так как мы можем предположить, по Вигнеру, что сильно гидратированные ионы не могут приблизиться к ультрамикрону так близко, как ионы, менее гидратированные. Стабильность суспензий, определяемая отталкиванием между частицами, зависит от электрокинетического потенциала, а поэтому и от гидратации ионов; отсюда порядок мощности всех этих свойств сохраняется одним и тем же; для ионов одинаковой валентности он идет уменьшаясь с возрастанием атомного веса, а для ионов различных валентностей, но в пределах немногих единиц того же атомного веса, он уменьшается с возрастанием валентности. Таким образом, для моновалентных ионов порядок будет:  $Li > Na > K$ , а для дивалентных ионов  $Ca > Ba$ <sup>3</sup>. Мы постоянно

<sup>1</sup> C. S. Ross, «The Mineralogy of Clays», Proc. First Int. Congress Soil Sci., 1927, vol. 4, стр. 555; E. T. Wherry, C. S. Ross and P. F. Kerr. Colloid Symp. Ann., 1930, 7, 191; S. B. Hendricks and W. H. Fry, Soil Sci., 1930, 29, 457.

<sup>2</sup> 1 единица ангстрем = 0,1  $\mu$ . 1 000  $\mu$  = 1  $\mu$  = 0,001 мм.

Диаметр молекулы водорода = 0,24  $\mu$ .

Кристаллическая сетка хлористого натрия = 0,28  $\mu$ , т. е. 2,8 единицы ангстрема.

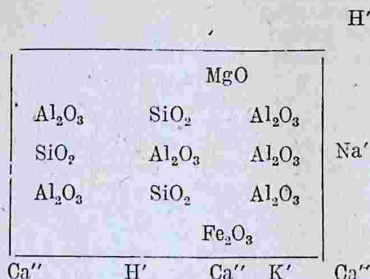
<sup>3</sup> Измерения Albareda в лаборатории Вигнера показали:

| Глина . . . . .   | Li   | Na   | K    | Ca   | Ba   |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Милливольты . . . | 74,9 | 69,0 | 68,2 | 30,6 | 22,5 |

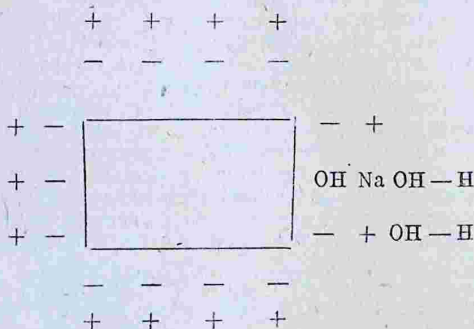
по G. Wigner, Journ. Soc. Chem. Ind. 1931, 59, 64T).

находим этот порядок, соблюдающийся в свойствах глины, в особенности для моновалентных ионов. Для дивалентных ионов могут возникать осложнения, вызываемые явлениями растворения (стр. 168).

Вигнер представляет эту систему следующим образом<sup>1</sup>.



и когда эта система попадает в воду, то внешние ионы гидратируются и рассеиваются, образуя двойную оболочку, причем натрий движется дальше и отодвигается дальше, чем калий, а последний дальше, чем кальций. Новая система приобретает таким образом следующий вид.



Так изображаются единицы, из которых построены частицы глины. Однако частицы эти неоднородны по своей величине. Водная суспензия содержит частицы всех градаций от 0,002 мм

<sup>1</sup> Для ясного усвоения взглядов и исследований Вигнера см. его английские лекции. Journ. Soc. Chem. Ind., 1931, 50, Т. 55, 65 и 103.

в диаметре и ниже, без перерывов. Это было показано остроумным методом Маршалла (1930 а), при котором сила мощной центрофуги заменяла силу тяжести, так что осаждение становилось достаточно быстрым, чтобы позволить применение закона Стокса:

Таблица 43

Распределение по величине частиц четырех типов глины <sup>1</sup>

| Г л и н а                   | Концентрация % | 2 $\mu$ — 1 $\mu$ | 1 $\mu$ 0,5 $\mu$ | 500 — 200 $\mu\mu$ | 200 — 100 $\mu\mu$ | 100 — 50 $\mu\mu$ | 50 $\mu\mu$ |
|-----------------------------|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------|
| Ротамстедская . . . . .     | 0,5            | 15,2              | 12,1              | 18,7               | 14,3               | 10,3              | 29,4        |
| Путнамская . . . . .        | 0,5            | 7,8               | 6,6               | 11,8               | 11,6               | 21,3              | 40,9        |
| Натровый бентонит . . . . . | 0,5            | 15,1              | 18,7              | 20,9               | 10,1               | 7,9               | 27,3        |
| Каолин . . . . .            | 0,2            | 66,0              | 21,0              | 7,0                | 6,0                | —                 | —           |

С другой стороны, у каолина градация частичек падает резко, практически все частицы его крупнее, чем 0,001 мм в диаметре.

Как бы то ни было, частицы глины не остаются постоянными по величине; их сравнительно легко сделать более мелкими с помощью чисто физических способов. Как Брадфильду, так и Джозефу удавалось непрерывно разбивать их простым взбалтыванием с водой и вторичным пропусканием через центрофугу<sup>2</sup>. Обработка перекисью водорода ведет к дальнейшему расщеплению некоторых частиц, повидимому, благодаря удалению органического вещества, склеивавшего их как цемент.

Как бы то ни было, размер частиц глины определяется некоторыми специфическими условиями. Маршалл (1930b) показал, что порядок дисперсии разных глин, в которых преобладает катион, является следующим: Li (дисперсирующий наиболее) > Na > K > NH<sub>4</sub> > H > Ca, который дисперсирует всего<sup>3</sup>.

Здесь участвуют два явления: образование частиц и целл, через агрегацию конечных единиц—процесс, до сих пор

<sup>1</sup> С. Е. Marshall, «Clays as minerals and Colloids», Trans. Cera. 1931, 30, 81. Эти цифры для натрового бентонита были сообщены в этом образе.

<sup>2</sup> Trans. ceramic Soc., 1927—1928, 27, 1.

<sup>3</sup> Гедройц (1924), по легкости дисперсии глины, располагает их в следующем порядке: Na > K > Mg > Ca > Ba.



едва исследуемый, но может быть аналогичный росту кристалла, и агрегация этих частиц в хлопья в присутствии электролита.

**Коагуляция**<sup>1</sup>. Это соединение агрегатов частиц глины в хлопья имеет большое значение для почвы, и оно много изучалось исследователями почвы. Наиболее простым и наглядным методом служит прибавление небольшого количества электролита к суспензии глины в воде, причем частицы быстро падают на дно и раствор осветляется. Явление это, однако, оказалось чрезвычайно сложным, так как в нем участвуют действия двух различных родов: химическая реакция между глиной и электролитом, причем может образоваться новая глина, имеющая совершенно другие свойства, и некоторое электрическое взаимодействие, которое заставляет мельчайшие частицы соединяться в агрегаты или хлопья и оседать. Последнее и есть собственно коагуляция. Но это явление само по себе является сложным и делится Вигнером на две части:

**Перикинетика**, происходящая в результате столкновения частиц при броуновском движении.

**Ортокинетика**, являющаяся результатом массового движения одной группы частиц, по отношению к другой, как, например, при падении более крупных частиц через группу более мелких, под действием тяжести в системе, где частицы имеют разные размеры, т. е. в полидисперсной системе.

Каждое из этих явлений, в свою очередь, может быть подразделено на:

**ориентированную коагуляцию**, вызываемую, например, при медленной коагуляции несферических частиц, как, например, частиц иглообразной формы  $V_2O_5$ , бензопурпурина  $4B^2$  и т. д., которые систематически соединяются наподобие кристаллизации;

**случайную коагуляцию**, когда процесс происходит быстро, и тогда, насколько известно, тенденций к определенному построению не имеется.

Эти вопросы долго изучались исследователями коллоидных явлений, в особенности Вигнером и его учениками (Wigner, 1929b). Применялось четыре разных метода исследования:

1. Старейшим, еще наиболее употребительным методом служит наблюдение изменений во внешности жидкости за определенное время после прибавления электролита.

2. Подсчет с помощью ультрамикроскопа числа частиц в данном объеме суспензии через определенные интервалы времени после прибавления электролита. Это, повидимому, лучший метод, но очень кропотливый. Электролиты сравниваются, подбирая такие концентрации разных солей, которые вызывают приближи-

<sup>1</sup> Полное рассмотрение явлений коагуляции см. E. W. Russell, Journ. Agric. Sci., 1932.

<sup>2</sup> G. Wiegner и C. E. Marshall. Zeit.f. phys., Chem., 1929, A, 140, 39—63.

тельно одинаковый процент уменьшения числа частиц в установленное время.

3. Измерение изменений вязкости вискозиметром Освальда.

4. Измерение быстроты движения под влиянием электродвижущей силы.

Нам нет надобности давать детальное описание этих методов, так как подробное описание их дано в Keen's Monograph; мы дадим только главные результаты, относящиеся к этому предмету. Хотя единицы являются электрически уравновешенными, однако всегда имеется некоторая диссоциация, остающаяся в них отрицательный заряд, который способствует стабилизации суспензии, так как частицы, имея одинаковые заряды, стремятся отталкиваться друг от друга. Высокая гидратация катионов, высокий потенциал частиц (стр. 156) и высокая стабильность суспензии—все это сопровождается одно другое и обратно. Однако, как только заряд нейтрализован, частицы могут присоединяться одни к другим. Эта нейтрализация вызывается электролитом и может явиться результатом или электростатического притяжения или распределения обыкновенных ионов<sup>1</sup>.

Стабильность суспензий, определяемая минимальной концентрацией электролита, необходимого для коагуляции, зависит как от кислотной, так и основной части единицы глины, а именно:

а) от отношения  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ : чем выше это отношение, тем более высокая концентрация электролита требуется для коагуляции<sup>2</sup>;

б) от катионов; порядок их следующий: Na (электролит, требующийся в наибольшем количестве)  $> \text{K} > \text{Ca} > \text{H}$ ; однако этот порядок осложняется обменом оснований. Ионы водорода, как коагулирующий агент, являются наиболее могущественными; за ними идут тривалентные ионы, далее двувалентные; последние в порядке  $\text{Ba} > \text{Ca} > \text{Mg}$ ; затем одновалентные ионы, в порядке  $\text{K} > \text{Na} > \text{Li}$ , как наиболее слабые коагуляторы.

Однако при трехвалентных ионах явление осложняется: после коагуляции они могут изменить заряд частиц, таким образом пептизируя суспензию; позднее же они могут коагулировать ее.

Щелочные гидраты оксидов могут вызывать обратный эффект и поддерживать состояние суспензии. Но действие их является сложным: они вытесняют водород и другие катионы, но в конце концов, по мере повышения pH, возрастает их действие на самое ядро, до растворения из него кремнезема и глинозема. Гидраты же оксидов магния, кальция, бария и стронция могут образовывать на поверхности частиц нерастворимые соли, таким образом радикально изменяя свойства их.

<sup>1</sup> Новейший разбор механизма коагуляции см. S. Mattson, Soil Sci. 1929, 28, 179, 373.

<sup>2</sup> Только в воде, но не в алкоголе (Маттсон, Soil Sci, 1929, 28, 373).

Когда к суспензии глины раствор соли прибавляется в щелочной среде, то коагуляция происходит более быстро и полно, чем в нейтральной среде. Это любопытное явление наиболее резко замечается, когда прибавленная соль и щелочь вступают в реакцию с образованием нерастворимого гидрата окиси, например,  $MgCl_2 + NaOH$ ,  $NiCl_2 + NaOH$ ; это было впервые отмечено Гедройцем (1915) и много изучалось последующими работниками<sup>1</sup>. Туорила предложил очень остроумное объяснение. Нерастворимый гидрат окиси, оставаясь отдельной частицей или покрывая какую-либо глинистую частицу, становится электропозитивным в условиях получающейся щелочности, т. е. заряженным, противоположно глине, вследствие чего коагуляция происходит очень быстро.

Другое замечательное явление наблюдалось Джозефом и Оакли<sup>2</sup>. Смеси  $NaOH + NaCl$  или  $Ca(OH)_2 + CaCl_2$ , взятые в известных соотношениях, коагулируют водородную глину в известных пределах концентрации, затем, при более высоких концентрациях, хлосья глины дисперсируются и при еще более высоких концентрациях они коагулируются еще раз. Первая коагуляция является нормальной; дисперсия происходит вследствие превращения коагулированной водородной глины добавочными ионами кальция или натрия в кальциевую или натриевую глину, которая, коагулируясь труднее, чем водородная глина, начинает дисперсироваться; вторая коагуляция является коагуляцией этой новой глины, когда концентрация электролита достигает достаточного уровня.

#### Химические свойства глины. «Ацидоидная» часть

Кислотная, или, лучше сказать, «ацидоидная», часть глины является комплексом алюмо-кремневой кислоты, обычно содержащей железо и часто кроме того небольшие количества марганца, магния и калия, но, как общее правило, не кальция. Этот комплекс довольно стоек по отношению к солям, что определяет многие свойства глины: он может реагировать с растворами солей, образуя ряд различных глин. Но эти реакции обратимы, так что первоначальная глина всегда может быть восстановлена. Однако по отношению к кислотам и щелочам он не стоек; он распадается, давая окись алюминия, железа и кремневую кислоту, и после этого не может уже быть восстановлен известными до сих пор средствами. После этого составные части его становятся в почве

<sup>1</sup> N. M. Comber, Journ. Agric. Sci., 1920, 10, 425; *ibid.* 1921, 11, 450; *ibid.* 1922, 12, 372; F. Hardy, Journ. Phys. Chem., 1926, 30, 254; A. F. Joseph and H. B. Oakley, Nature, 1926, 117, 624; W. O. Kermack and W. T. H. Williamson, Proc. Roy. Soc. Edin., 1925, 45, 59; *ibid.*, 1927, 47, 202; S. Mattson, Kolloidchem. Beih., 1922, 14, 227; H. B. Oakley, Nature, 1926, 118, 661; H. B. Oakley, Journ. Chem. Soc., 1927, стр. 3054; P. Tuorila, Kolloidchem. Beih., 1928, 27, 44.

<sup>2</sup> A. F. Joseph and H. B. Oakley, Nature, 1926, 117, 624.



более подвижными. Состав его сложен, но существенной частью его является, повидимому, алюмо-кремневая кислота, и многие из свойств глины указывают на правильную градацию, тесно следующую за изменениями молекулярного отношения  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Типичные свойства глины—связность, осадка (уменьшение объема при высыхании) и общие коллоидальные свойства, как общее правило, не проявляются, когда указанное отношение составляет 2 или меньше; по мере возрастания отношения до 5 или 6 (стр. 170) эти свойства становятся более и более интенсивными. Этому должен быть, однако, предел, так как одна  $\text{SiO}_2$  не проявляет этих свойств в заметной степени. Способность к обмену основаниями и способность к поглощению воды или аммиака также возрастают с возрастанием этого отношения (табл. 44, рис. 24).

Бентонит, который имеет наивысшее отношение из найденных до сих пор и поэтому сделался любимым материалом для исследователей почвы, встречается в больших количествах в Канаде и США и является конечным продуктом взаимодействия между вулканической золой и морской водой, в которую она падала<sup>1</sup>.

Таблица 44

Зависимость между молекулярным отношением  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ , впитанной водой<sup>2</sup> и пластичностью. Джозеф<sup>3</sup>

| Состав фракций глины   |                                 |                                                    |                                                        | Впитанная вода | Описание                     |
|------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|------------------------------|
| Процент $\text{SiO}_2$ | Процент $\text{Al}_2\text{O}_3$ | Процент $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ | Отношение $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ |                |                              |
| 46,6                   | 38,5                            | 0,90                                               | 2,05                                                   | 0              | Слабая глина                 |
| 47,0                   | 38,7                            | 1,20                                               | 2,06                                                   | 0              | Гончарная глина              |
| 46,8                   | 37,6                            | 0,88                                               | 2,11                                                   | 5              | Слабая глина                 |
| 47,8                   | 37,3                            | 1,07                                               | 2,18                                                   | 7              | " "                          |
| 47,6                   | 36,3                            | 2,16                                               | 2,23                                                   | 19             | Сильная "                    |
| 49,3                   | 31,4                            | 1,12                                               | 2,66                                                   | 44             | Ball clay (глина)            |
| 44,6                   | 20,0                            | 1,53                                               | 3,77                                                   | 79             | Аллювиальная почва           |
| 46,7                   | 20,2                            | 1,02                                               | 3,90                                                   | 101            | ва                           |
| 68,3                   | 16,6                            | 1,66                                               | 6,96                                                   | 261            | Пластичная почва<br>Бентонит |

<sup>1</sup> J. Wherry, Wasch. Acad. Sci., 1917, 7, 582; Sargent, Quart. Journ. Geol. Soc., 1917, 73, 11; R. M. Woodman and E. Mc Kenzie Taylor, Journ. Soc. Chem. Ind., 1929, 48, G, 121.

<sup>2</sup> Впитанная вода определяется как объем воды, задержанный 100 см<sup>3</sup> почвы в эквиваленте влажности центрофуги, минус объем ксилена, задержанного той же почвой после стандартной обработки центрофугой.

<sup>3</sup> A. F. Joseph, Trans. Ceram. Soc., 1927—28, 27, 4.



Отношение молекулярной пропорции  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  к обмену ионов. Маттсон <sup>1</sup>

Обмен на 1 г коллоида естественной почвы

| Пропорция<br>$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ | Обмен в милли-<br>эквивалентах<br>на 1 г | Пропорция<br>$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ | Обмен в милли-<br>эквивалентах<br>на 1 г |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 0,55                                                      | 0,164                                    | 2,82                                                      | 0,671                                    |
| 1,63                                                      | 0,207                                    | 3,18                                                      | 0,796                                    |
| 1,89                                                      | 0,331                                    | 3,82                                                      | 0,947                                    |

Материал, имеющий отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2$  и менее, приближается по своим свойствам к латеритам. Мартин принимает следующие пределы:

Латеритные почвы . . . . . 2 до 1,33  
Латериты . . . . . 1,33 и менее.

В плодородных почвах юго-восточной Англии это отношение было 4,2 и в менее плодородных почвах 2,8 (стр. 141).

Отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  в глинѣ определяется частью ее происхождением и частью климатическими условиями, которым она подвергалась. Краудер (1930) показывает, что в США, для которых имеются более полные данные, чем для большинства других стран, отношение возрастает по мере перехода материнской породы через серии: твердые породы, которые дают наинизшее отношение; аллювий из твердых горных пород; морские отложения из твердых пород; глациальные и лессовые отложения; аллювий из лѣсса, который дает наивысшее отношение. Робинсон находит, что отношение в глинѣ из вулканических пород ниже, чем в менее плотных породах <sup>2</sup>.

Эффект климатических условий рассматривается в следующей главѣ.

Прежние исследователи изучали отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ , которое они обычно писали  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ . В настоящее время более простое отношение  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  считается более пригодным и стало общепринятым.

<sup>1</sup> S. Mattson, Soil Sci. 1928, 25, 289; другие примеры см. E. W. Parker and W. W. Pate, Journ. Amer. Soc. Agr. 1926, 18, 470.

<sup>2</sup> Nature, 1928, 121, 903.

Место железа в глинѣ еще неизвестно: оно может присутствовать, как часть аниона, в виде железо-кремневой кислоты, подобной алюмо-кремневой кислоте, или же как катион, как силикат железа или может просто встречаться в виде примеси некристаллической окиси железа. Однако оно не встречается среди

Зависимость между  $\text{NH}_3$  поглощенным почвенными коллоидами и отношением в них

Зависимость между теплотой смачивания и отношением в почвенном коллоиде

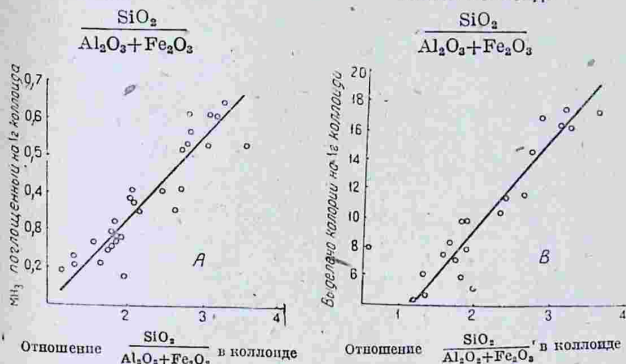


Рис. 24. Влияние химического состава глины на ее свойства:

А—количество аммиака, поглощаемого на 1 г глины; В—теплота смачивания. M. S. Anderson and S. E. Mattson (1926).

обменных оснований и не растворяется разведенными растворами кислот, применяемыми для извлечения этих оснований.

**Основания или катионы.** Обычными катионами в естественных глинах являются кальций, магний, калий, натрий и водород; нет явной очевидности, чтобы к ним могли принадлежать марганец, железо или алюминий. Катионы распадаются на две группы: легко замещаемые и незамещаемые легко; кальций обычно принадлежит исключительно к первым, тогда как магний и калий частью замещаются, частью нет. Прежде предполагалось, что это указывает на некоторую фундаментальную разницу в способе комбинаций, но Келли, Дор и Браун (1931) недавно выдвинули очень заманчивую гипотезу, что все эти катионы удерживаются на краях кристаллической сетки одинаковым образом, но что одни из них находятся внутри сетки, а другие вне. Обмениваются только те, которые находятся вне; те же, которые находятся внутри, не обмениваются, так как сетка недостаточно открыта, чтобы позволить вхождение новых ионов или выход старых. В доказательство они указывают на то, что, после раздробления кристаллов чрезвычайно тонким растиранием, стано-

вится более легко обменной большая часть необменных магния, кальция и натрия (табл. 45).

Эта гипотеза представляет громадный интерес и обещает дать объяснение некоторой разнице между почвенными коллоидами и пермутитами, которые благодаря удобному обращению с ними широко использовались при исследованиях обмена оснований. В пермутитах сетка имеет, повидимому, более широкие пространства, так что «внутренний» обмен становится так же легко возможным, как и внешний, поскольку катионы не являются слишком большими<sup>1</sup>.

Общее количество каждого катиона определяется после сплавления. В то время, как в глинах нормальных почв вообще встречаются все обычные катионы, один из них обыкновенно настолько доминирует, что своими свойствами накладывает отпечаток на всю глину. В плодородных британских почвах доминирующим катионом является кальций, который может составлять до 80% от эквивалента всех катионов. Во многих частях света, в особенности в засушливых (аридных) странах, преобладает натрий. Примеры приводятся в главе IV.

Таблица 45

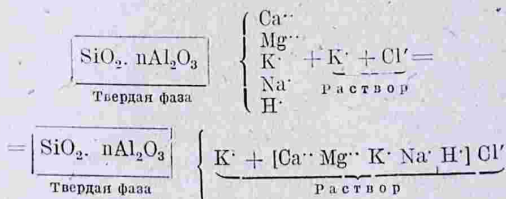
Эффект толстого растирания на обменность катионов глины  
Миллиэквивалентов на 100 г почвы

| Почва  | Са          |                  |       | Mg          |                  |       | К           |                  |       | Na          |                  |       |
|--------|-------------|------------------|-------|-------------|------------------|-------|-------------|------------------|-------|-------------|------------------|-------|
|        | Обменный    |                  | Всего | Обменный    |                  | Всего | Обменный    |                  | Всего | Обменный    |                  | Всего |
|        | Нерастертая | После растирания |       | Нерастертая | После растирания |       | Нерастертая | После растирания |       | Нерастертая | После растирания |       |
|        |             |                  |       |             |                  |       |             |                  |       |             |                  |       |
| 7 083  | 58,1        | 60,4             | 80    | 6,1         | 109,3            | 142   | 0,3         | 29,0             | 22    | 1,1         | 5,4              | 22    |
| 431    | 54,7        | 59,9             | 58    | 2,5         | 71,2             | 68    | —           | 25,3             | 20    | —           | —                | 11    |
| 3 232  | 54,0        | 57,3             | 60    | 2,7         | 21,0             | 38    | 1,0         | 19,3             | 25    | 1,4         | 13,6             | 15    |
| 7 680  | 32,8        | 41,7             | 101   | 2,3         | 27,3             | 155   | —           | 26,0             | 33    | 1,0         | —                | 22    |
| 11 954 | 14,2        | 14,0             | 14    | —           | 6,8              | 20    | 0,2         | 7,3              | 7     | 3,9         | 6,0              | 7     |

<sup>1</sup> G. Wiegner и K. W. Müller, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1929, 14, A, 321. В своем частном сообщении Маршалл выдвигает альтернативу, что большая часть обменной способности глины обязана внутренним каналам, которые составляют часть кристаллической сетки: в этих каналах катионы занимают определенное место.

## Обмен основаниями

В лабораторных условиях очень легко вытеснять все эти обменные основания одно другим: глина кальциевая, водородная или натриевая могут быть приготовлены с помощью пропускания через глину раствора кальциевой соли, кислоты или натриевой соли. Вытеснение происходит очень быстро в отличие от обыкновенных взаимодействий между твердыми веществами и жидкостями, где равновесие может быть установлено лишь через несколько дней после взбалтывания. Поэтому оно рассматривается как чисто поверхностное действие. Температура едва влияет на него; количество обмена не пропорционально взятым количествам почвы и соли. Наиболее удовлетворительным является объяснение этого простым химическим взаимодействием между ионами растворенной соли и катионами на поверхности конечной частицы глины, что может быть изображено следующим образом:



Комплекс глины, равно как и катионы, заключенные внутри его, не принимают никакого прямого участия в обмене; тем не менее вследствие нерастворимости его и больших размеров его по сравнению с обыкновенными катионами он оказывает значительное влияние на реакцию.

Делались многочисленные попытки найти удовлетворительные формулы, выражающие состояние равновесия при всякой данной концентрации реагирующей соли, но эти вопросы необходимо изучать по оригинальным работам<sup>1</sup>.

Не все ионы поглощаются одинаково легко<sup>2</sup>. Гедройц (1918)

<sup>1</sup> Закон действия масс: V. Rotmund und G. Kornfeld (1918), Zeit. f. anorg. u. all. Chemie, 103, 129, ibid., 1919, 108, 215; F. O. Anderegg and R. P. Lutz, Soil Sci. 1927, 24, 403; H. W. Kerr, Journ. Amer. Soc. Agron., 1928, 20 309; Soil Sci., 1928, 26, 385. Теория абсорбции Langmuir'a: P. Vageler, Landbouw (Java), 1928 № 5, 244; P. Vageler u. Wolsterdorf, Zeit. f. Pflanz. Düng, 1930, A, 15, 329. Модификация уравнения Фрейндлиха: G. Wiegner und H. Jenny, Koll. Zeit., 1927, 42, 268; G. Wiegner und K. W. Müller, Zeit. f. Pflanz. Düng. 1929, A, 14, 321.

<sup>2</sup> Гедройц упреждает выражение «энергия поглощения», измеряя относительную энергию количеством различных ионов, удерживаемых из растворов их солей эквивалентных концентраций.



показал, что для глины, насыщенной данным катионом, вытесняющая сила катионов щелочного металла возрастает с атомным весом: ион калия, например, является более сильным вытеснителем, чем ион натрия, и легче поглощается глиной. То же правило сохраняется и для щелочно-земельных катионов; они, однако, являются более сильными вытеснителями, т. е. они более сильно поглощаются, чем соответствующий щелочной ион. Наиболее легко поглощаемые ионы щелочно-земельных металлов не обязательно более прочно удерживаются при выщелачивании; так, например, кальций более сильно поглощается, чем магний, глиной, насыщенной только одним катионом, но в то же время он и легче вытесняется. Подобным же образом барий поглощается более сильно, чем кальций, но также вытесняется более легко. Вигнер и Jenny<sup>1</sup> получили такие же результаты с пермутитом; однако они показали, что щелочные катионы вели себя различно постольку, поскольку с возрастанием атомного веса, наряду с возрастанием легкости поглощения пермутитом, возрастала и трудность вытеснения. Они приписывают эту разницу между щелочными и щелочно-земельными катионами разнице в способе удержания ионов на поверхности. Они предполагают, что катионы связаны с поверхностью посредством гидроксильных или сходных групп, так как сила удержания зависит от гидратации катионов и от растворимости связывающей группы, которая в свою очередь определяется растворимостью гидроокиси. Для щелочных катионов легкость вытеснения зависит только от ионной гидратации, так как все окислы гидратов легко растворимы, но в ряду щелочных земель легкость вытеснения определяется преимущественно растворимостью связывающей группы. Так как гидрат окиси магния более нерастворим, чем гидрат окиси кальция, то ион магния связан с поверхностью более прочно, чем кальций.

По своему поведению бросаются в глаза два важных иона. Аммоний помещается в списке между калием и натрием. Водород стоит во главе списка, являясь наиболее сильно поглощаемым и более крепко удерживаемым, чем все другие; кроме того после вытеснения им некоторого количества обменных катионов он проникает в ядро и разбивает его.

**Обменная способность.** В отличие от нормальных кислот кислотность глины не имеет определенной емкости для комбинаций с основаниями: не представляется возможным выразить в определенных величинах эквивалентный вес ее или способность к насыщению, так как последняя варьирует с рН окружающей среды. Однако при известных определенных условиях

<sup>1</sup> G. Wiegner, u. H. Jenny, Koll. Zeitschr., 1927, 42, 268, H. Jenny, Kolloidchem. Beih., 1927, 23, 428.

получаются величины, являющиеся полезными для целей сравнения. Вот некоторые из этих цифр:

Хиссинк, 1225 (крайние величины, 1033—1450) . . . . Trans. Far. Soc. 1924, 20, 551.  
Турнер, 4 100. . . . . Journ. Agric. Sci., 1932.

Цифры эти несравнимы, так как цифры Хиссинка основываются на его величине «Т», представляющей общее количество оснований, способных к поглощению при определенных условиях, тогда как Турнер пользуется другим методом. Интерес этих цифр заключается в сравнении их с величинами для гумуса (стр. 198).

**Сила кислотности глины.** Глина—слабая кислота, и, как все слабые кислоты, при титровании она достигает нейтральности, сохраняя в себе еще водород; при измерениях Хиссинка, при pH 7,1 оставалось еще свыше 50% водорода. Бадфильд показал, что еще не весь водород был замещен, пока pH не достигало 10 или 11.

С помощью электродиализа Бадфильд получал кислые глины, имевшие pH между 3,0 и 3,5<sup>1</sup>.

**Попытки синтеза глины.** Нарисованная нами картина частицы глины не может быть вполне проверена, пока не удастся получить искусственной глины в лаборатории. Это не было еще достигнуто, и даже синтез цеолитов не решил бы этой проблемы в виду того, что, как мы уже видели, свойства их указывают на совершенно отличную конституцию, хотя разница может быть заключаться только в степени. Со времени прежних опытов Уэя<sup>2</sup> в этом направлении мало было сделано нового (стр. 143).

**Физические свойства глины.** Наиболее важным физическим свойством глины в отношении ее к плодородию почвы является ее способность удерживать воду, ее связность, сопротивление движению обрабатывающих орудий или корней растений, ее способность разбухать в мокром состоянии и садиться при высыхании и способность цементировать между собой более крупные частицы, образуя комочки почвы. Эти свойства трудно определить и чрезвычайно сложны; они исследовались физиками почвы и сводились к терминам более определенных свойств, как, например, пластичности, связности и т. д.; так, например, сопротивление движению плуга через почву тесно связывается со статической инертностью почвенного «теста»<sup>3</sup>. Все эти физические свойства

<sup>1</sup> Proc. First. Int. Congr. Soil Sci., Washington, 1927, vol. 2, стр. 264.

<sup>2</sup> Например, M. Nekritsch, Zeit. f. anorg. Chemie, 1928, 177, 86. O. C. Magistad, Journ. Amer. Soc. Agron., 1929, 21, 1045. P. S. Burgess and W. T. McGeorge, Arizona Agric. Exp. Station Tech. Bull. № 15, 1927. O. C. Magistad, Ariz. Agric. Exp. Sta.; Tech. Bull. № 22, 1928. P. S. Burgess, Ariz. Agric. Exp. Sta.; Tech. Bull. № 28, 1929.

<sup>3</sup> B. A. Keen and G. W. Scott Blair, Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 684.

зависят от присутствия воды, и для каждого данного свойства имеются два порядка преобладающих отношений: одно—с водяной пленкой, которое доминирует при высоком содержании воды, и другое—с твердым телом, что доминирует при низком содержании воды. Таким образом, влажная почва является сравнительно вязкой, а сухая почва относительно хрупкой. Но нет возможности указать, где кончается вязкость и где начинается хрупкость. Аттенберг<sup>1</sup> считает, что он нашел переломы в кривых пластичности, указывающие—где перестает доминировать водная пленка, но Хейнс не нашел никаких переломов, а только непрерывность. Для связности и прилипаемости замечается более резкая перемена: сухая почва несвязна, но с постепенным прибавлением влаги наступает точка, когда глина внезапно слипается; Харди рассматривает это, как точку, когда почвенные коллоиды поглотили воду до своей максимальной насыщенности, так что после этого остается свободная вода, по которой частицы могут скользить; однако это простое объяснение не получило всеобщего признания. Отрицательный электрический заряд, который частицы глины принимают в присутствии воды, ведет к некоторым интересным результатам. Он заставляет их откладываться на аноде при прохождении электрического тока через суспензию глины; этим свойством можно пользоваться для очистки глины. Другой способ проявления того же результата заключается в том, что при прохождении через глину электрического тока вода откладывается на катоде. Краудер и Хейнс уменьшали силу тяги плуга с помощью пропускания через почву тока, генерированного трактором: отвал соединяется с катодом и вследствие этого постоянно смачивается отлагающейся водяной пленкой<sup>2</sup>.

Основные взаимоотношения между глиной и водой в системе глина—вода обстоятельно представлены в монографии Киппа (Keen's Monograph). Здесь нам необходимо ограничиться только рассмотрением того, каким путем на эти изменения влияет лишь сама глина.

Простейшие взаимоотношения указываются отношением  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ . Типичные свойства глины—пластичность, связность, способность к разбуханию при смачивании и к осадке при высыхании, сила цементации, выделения теплоты при смачивании и способность поглощения аммония—все это возрастает с возрастанием молекулярного отношения  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  от 2 до 6 или 7 (стр. 163.) Однако катионы проявляют не столь простой порядок отношения к свойствам глины: здесь замечается много специфического, как и вообще с солями. Для теплоты смачивания и поглощения влаги М. С. Ан-

<sup>1</sup> Int. Mitt. Bodenkunde, 1911, 1, 10—43.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 221.



дерсон<sup>1</sup> нашел следующий порядок катионов:  $\text{Ca}, \text{Mg} > \text{Na}, \text{H} > \text{K}$ . Для степени разбухания, эквивалента влажности, катафореза и концентрации водородного иона в дисперсном состоянии в воде этот порядок был:  $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{H}$ .

Джозеф и Оаклей<sup>2</sup> нашли следующий порядок:

Для пластичности  $\text{Li} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}, \text{NH}_4 > \text{H}$   
 » осадки  $\text{Li} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}, \text{H} > \text{NH}_4 > \text{H}$   
 » эквивалента влажности и впитываемой воды  $\text{Na} > \text{Li} > \text{Mg}, \text{H} > \text{Ca} > \text{K}$ .

Порядок этот меняется в зависимости от того, начинают ли с влажной или с сухой глины.

Калийная глина сходна с натриевой глиной по свойствам обмена оснований, а с кальциевой — по пластичности.

Однако в отношении устойчивости комковатой структуры и стабильности комплекса глины получается следующий порядок:  $\text{Ca} > \text{H} > \text{Na}$ . Вообще кальциевая глина обладает наиболее благоприятными свойствами для роста растений. Поскольку мы сосредоточиваем внимание в нашем обсуждении на отношении к плодородию почвы, мы можем рассматривать кальциевую глину как нормальную плодородную глину и как стандарт для сравнения с другими видами глины.

Свойства различных глин более подробно будут рассмотрены в следующей главе.

**Является ли глина единственным минеральным коллоидом в почве?** Большинство исследователей почвы молчаливо принимает, что фракция глины и минеральные коллоидальные вещества в почве — одно и то же. Но вопрос о том, так это или не так, обсуждался много. Дюмонт (1909) выдвинул точку зрения, что все минеральные частицы одеты коллоидальным слоем и поэтому все они до известной степени обладают коллоидальным свойством. Однако прямой опыт показывает, что коллоидальные свойства песка и пыли очень невелики, и поэтому большая часть коллоидальных свойств почвы должна быть приписана глине и органическому веществу. Еще более трудно определить, обладает ли полными коллоидальными свойствами вся фракция глины или лишь более тонкая часть ее: Гедройц (1924) считает, что эти свойства соединены с частью ниже  $0,25 \mu$  в диаметре, а не со всеми частицами от  $2 \mu$  в диаметре и ниже. Это различие теряет свое значение в виду результатов, полученных Джозефом и Брайфилдом, приведенных на стр. 159.

Другое молчаливое допущение заключается в том, что неорганические материалы, обладающие свойствами обмена основа-

<sup>1</sup> Journ. Agric. res. 1929, 38, 565.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci. 1929, 19, 121. Общий обзор по влиянию состава на свойства глины см. Imp. Bureau of Soil Sci. (1931) Techn. comm. № 16.



ниями, являются фракцией глины. Свойства эти ясно сосредоточиваются в глинистой фракции, так как более крупный материал, даже мелкая пыль, лишен этих свойств или обладает ими только в слабой степени.

### Влияние свойств глины на плодородие почвы

Свойства глины имеют громадное значение для плодородия почвы; присутствие в определенной пропорции в почве ни для одной из составных ее частей не является столь важным, а избыток—столь вредным, как это имеет место в отношении глины. Глина регулирует движение воды в почве и удерживает ее в верхних слоях в пределах, доступных корням растений, делая, таким образом, почву способной к удержанию воды. Однако избыток глины чрезвычайно сильно нарушает движение воды, «спекая» почву в плотную массу во время сухого сезона, даже в случае близости поверхности постоянного уровня воды, и делает ее заболоченной в сырую погоду, препятствуя проникновению воздуха к корням и понижая температуру почвы. Свойство связности глины заставляет почвенные частицы соединяться в те агрегаты, от которых зависит структура, придаваемая обработкой (tilth), без чего почва была бы рассыпчатой, как песок. Однако избыток глины наносит вред и делает почву столь вязкой, что она прилипает к обрабатывающим орудиям и задерживает движение их, а наряду с этим такая почва имеет тенденцию к образованию глыб, не благоприятных для растительности. Указанные свойства усиливаются в сырую погоду; почва делается вязкой или «заплывает» и не должна обрабатываться в таком виде, иначе структура (tilth) ее портится на долгое время. Другой эффект, вызываемый избытком глины в почве,—это сильная осадка, или уменьшение в объеме при высыхании, в результате чего в летнее время на поле появляются широкие трещины. Разбухание глины после увлажнения также может оказаться вредным<sup>1</sup>. Приведенные крайности в свойствах глины смягчаются коагуляцией, производимой известкованием или органическим веществом, и, наоборот, они усиливаются от декоагуляции, вызываемой излишним или неправильным применением жидких удобрений (навозной жижи) или натриевой селитры. Кроме того, как будет показано дальше, глина «связывает» и задерживает аммиак и калий, вносимые с удобрением. В Англии, как правило, содержание от 8 до 16% глины является удовлетворительным количеством ее в почвах, где осадки составляют от 20 до 30 дюймов (500—750 мм) в год. Более высокое содержание ее (до 40%) встречается в Нижнем Лиазе и на лондонских глинистых почвах. К счастью, содержание глины

<sup>1</sup> Когда в Гезире (Судан) впервые проводилась ирригация, разбухание глины было настолько велико, что сдвинуло каменную кладку регуляторов местами до 10 см, причинив этим значительные затруднения.

при высоких осадках является неустойчивым, так что почвы очень влажных районов редко содержат ее много; так в Северном Уэльсе тонкий материал почвы представлен главным образом мелкой пылью<sup>1</sup>; в засушливых же условиях глина сохраняется: в некоторых частях Судана Джозефф отмечает содержание ее до 76%<sup>2</sup>.

### ОБЩИЙ ОБЗОР СВОЙСТВ ПОЧВ «КАЛЬЦИЕВЫХ», «ВОДОРОДНЫХ» И «НАТРИЕВЫХ»

**Кальциевая почва.** Это нормальная плодородная почва во влажных умеренных районах, к которой особо приспособлены все сельскохозяйственные приемы. Она нейтральна: pH ее может варьировать от 6,5 до 8,5 в зависимости от количества присутствующей углекислоты или бикарбоната кальция; она является устойчивой, и физические свойства ее очень хорошо приспособлены для роста растений и для обработки. После замерзания или высыхания эта почва образует хорошую комковатую структуру, которая не разрушается дождем, и по сравнению с почвами, насыщенными другими катионами, удерживает больше влаги в воздушно-сухом состоянии и меньше — в мокром состоянии. Обработка ее допускается в больших пределах содержания влаги, она менее вязка, более проницаема и поэтому дренируется более легко. Кальциевая почва может также накапливать нейтральный гумус, который не только усиливает желательные физические свойства в почве, но делает ее более плодородной, служа резервом питательных веществ растений. В кальциевой почве создаются благоприятные условия для корней растений с хорошей аэрацией и водным режимом.

**«Водородная» или кислая почва.** Эти почвы встречаются обычно в районах влажных или с низким испарением и образуются при вымывании оснований из первоначальной почвы просачивающейся водой. Этот процесс идет сравнительно быстро, так как дождевая вода обычно содержит ионы водорода, как единственные, имеющиеся в ней катионы, и, таким образом, регулярное снабжение ими почвы постоянно продолжается; кроме того ионы водорода очень легко вытесняют другие катионы и сами удерживаются почвой прочнее их. Вигнер<sup>3</sup> определяет, что водородный ион удерживается почвой приблизительно в 55 раз сильнее, чем натрий, и примерно в 35—45 раз сильнее, чем двувалентные щелочно-земельные катионы; однако Гедройц<sup>4</sup> сводит эти цифры соответственно к 17 и к 4. Таким образом, водород легко поглощается из воды и вытесняется лишь с трудом. «Водо-

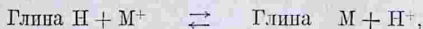
<sup>1</sup> G. W. Robinson, Journ. Agric. Sci., 1917, 8, 338—384; G. W. Robinson and C. F. Hill, ibid., 1919, 9, 259—282.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 490.

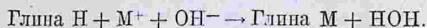
<sup>3</sup> Journ. Soc. Chem. Ind., 1931, 50, 103, T-112 T.

<sup>4</sup> В издании Народного комиссариата земледелия, Ленинград, 1922 г.

родная почва» кисла<sup>1</sup>, часто очень кисла и может содержать некоторое количество кислого гумуса, который менее ценен, чем нейтральный гумус, как по своей способности улучшать почву, так и в качестве резерва питательных веществ для растений. Физические свойства кислых почв не так благоприятны, как свойства кальциевых почв. Кислые почвы хотя и дают прекрасную комковатую структуру при замерзании, но образующиеся комочки менее стойки в воде, чем комочки кальциевой почвы. Кислые почвы более связны и менее проницаемы для воды, чем кальциевые почвы, и поэтому создают менее благоприятную среду для роста большинства с.-х. растений. В с.-х. практике стараются частично превратить «водородную» почву в кальциевую с помощью известкования, удобрения мелом или мергелем, чтобы сделать ее более плодородной и более легкой для обработки. Необходимо внесение именно извести или мела, но не гипса или хлористого кальция, так как ионы водорода не легко вытесняются другими катионами, пока реакция протекает по уравнению:



где  $M^+$  — катион; но если присутствуют анионы, как, например, гидроксил, или анионы карбоната, которые могут вытеснить ионы водорода из раствора, образуя слабо диссоциированные соединения, то вытеснение водорода становится более полным:



Кислая почва характеризуется также недостатком в ней кальция, а иногда также присутствием в ней солей железа и алюминия, которые могут оказывать вредное влияние на рост растений.

**Натриевая почва.** Натриевая глина легко гидролизуется, придавая раствору щелочную реакцию, которая неблагоприятна для роста на этой почве большинства растений. В присутствии дождевой или иной достаточно чистой воды почва декоагулируется и вследствие этого приобретает весьма нежелательные физические свойства. Она очень связна, непроницаема для воздуха и высыхает в твердые большие глыбы, которые размокают в воде в тестообразную массу. Вследствие этого такая почва трудно поддается обработке, и в ней создаются условия, не благоприятные для жизни растений. Однако, если вода содержит достаточно солей, чтобы поддерживать почву в коагулированном состоянии, то физические свойства ее значительно улучшаются, так как она остается более проницаемой для воды и воздуха и образует лучшую комковатую структуру, которая сохраняется устойчивой под

<sup>1</sup> А. Aslander (Nordisk Jordbrug, 1928, 177) дает иллюстрации, подчеркивающие факт, что кислотность почвы определяется «не кислыми горными породами» и не «щелочными», а дождевыми осадками.



этой водой. Если только вода не слишком щелочная, чтобы быть вредной для растений, т. е. если соли состоят только из хлоридов и сульфатов, а не из карбонатов, то почва образует приемлемо-хорошие условия для роста многих растений.

### ПОЧВЕННЫЕ КИСЛОТЫ

Давно уже было известно, что многие почвы являются кислыми на лакмусовую бумагу, но становятся нейтральными при внесении извести или карбоната извести. Прежние химики держались простого взгляда, что эти почвы содержат кислоту, которую они отождествляли с кислотой, находящейся в торфе, и следовательно органической и образующейся от разложения растительных остатков в условиях плохой аэрации при отсутствии дренажа.

Однако последующие наблюдения показали, что некоторые кислые почвы находились в условиях хорошего дренажа и хорошей аэрации и были бедны органическим веществом; в этом случае являлось, повидимому, необходимым допустить минеральные кислоты, как, например, комплекс кремневой или алюмо-кремневой кислоты.

Никому, однако, никогда не удавалось извлечь кислоту из почвы, и в первые годы XX столетия многие поддерживали взгляд, что эти явления были главным образом физическими, как результат предпочтительной или избирательной абсорбции, которая обычно проявляется коллоидальными веществами. Предполагалось, что основание из синего лакмуса поглощалось, оставляя, таким образом, после себя кислоту или красный лакмус.

Развитие кислой реакции при прибавлении соли к кислой почве равным образом приписывалось предпочтительной абсорбции основания, причем указывалось, что кислоты почвы и торфа настолько слабы, что они едва ли могли бы вытеснить кислоты из нейтральных солей. В конце концов, указывалось, что это разложение не следует законам обычных стехиометрических реакций. Бауман и Гулли<sup>1</sup> высказывались в пользу этих взглядов для торфа, а Камерон<sup>2</sup>, Паркер<sup>3</sup> и Харрис<sup>4</sup> — для почвы.

Необходимость допущения специальной физической абсорбции, однако, исчезла, когда было показано, что эти явления протекают по линии обыкновенного химического обмена. Дайкухара<sup>5</sup> нашел, что взаимодействие кислой почвы с нейтральной солью не было простой абсорбцией: алюминий отдавался почвой в ко-

<sup>1</sup> Mitt. d. k. bayr. Moorkulturanstalt, 1911, Heft 4, стр. 314; Int. Mitt. Bodenkunde, 1915, 5, 232 и 347.

<sup>2</sup> F. K. Cameron, Journ. Phys. Chem., 1910, 14, 320, 393.

<sup>3</sup> E. G. Parker, Journ. Agric. Res., 1913, 1, 179.

<sup>4</sup> J. E. Harris, Mich. Agric. Exp. Sta., Tech. Bull., 19, 1914; Journ. Phys. Chem., 1917, 21, 454.

<sup>5</sup> Bull. Imp. Centr. Agric. Exp. Sta., Tokyo, 1914, 2, № 1, 1—40.



личестве, приблизительно эквивалентном поглощенному основанию, а так как соли его окрашивают синий лакмус в красный цвет, то раствор естественно оказывался кислым. Труог<sup>1</sup> показал, что это взаимодействие следует обыкновенным стехиометрическим законам, хотя эти явления могут осложняться вторичными действиями. С тех пор появился большой объем работ с глиной, органическим веществом почвы и по обмену основаниями, показавших, что почва содержит два типа кислот: органические кислоты гумуса и неорганические кислоты глины, и что те и другие обладают всеми обычными свойствами кислот, лишь с теми изменениями, которые присущи специальному характеру комплексного аниона.

Важность почвенной кислотности при определении свойств почвы и характера растительности сделала необходимым разработку способов для детального изучения ее как в поле, так и в лаборатории.

Вообще применяются два метода.

Наиболее простой—старый метод титрования щелочью до желаемой конечной точки. Он применялся к почвам различными путями, в надежде найти метод определения количества извести для нейтрализации кислой почвы, т. е. так называемой «потребности в извести». К сожалению, он страдает многими дефектами. Реакция между известью и почвой является не простой нейтрализацией, но гораздо более сложна. Более серьезным и существенным препятствием служит то, что метод титрования хотя и дает возможность измерить количество кислоты, однако не делает никакого различия между сильной кислотой, как, например, серной, и слабой кислотой, как, например, молочной. Таким образом, большая разница в действии этих двух родов кислотности на жизнь растения совершенно не затрагивается. Кроме того многоосновные кислоты, являющиеся к тому же наиболее многочисленными, дают несколько величин титрования, смотря по тому, замечается ли один, два или больше атомов водорода. В виду этого разные индикаторы дают различные количественные результаты. Кроме того смесь слабых кислот, которая встречается во многих биологических жидкостях, может не давать резкой «конечной точки» при титровании, какой бы индикатор ни применялся.

Второй метод—определение интенсивности кислотности, т. е. концентрации водородных ионов, оказался более полезным. Для удобства обращения с широким диапазоном величин концентрации водородного иона обычно принимают зернисенское обозначение  $pH$ , где  $pH = -\log [H]$ . Растворы сильных кислот являются вполне диссоциированными, и концентрация водородных ионов их почти тождественно совпадает с общей концентрацией кислоты. Во время титрования разведенных растворов сильной кислоты силь-

<sup>1</sup> Journ. Phys. Chem., 1916, 20, 457—484.

ным основанием происходит постоянное уменьшение концентрации водородных ионов, но оно становится очень быстрым, когда нейтрализуются последние следы кислоты; здесь имеется резкая конечная точка. Однако слабые кислоты ведут себя иначе. Диссоциируется только небольшая доля кислоты, и концентрация водородных ионов в процессе титрования изменяется медленно, так как она зависит от логарифма отношения свободной кислоты к присутствующей соли в каждый данный момент<sup>1</sup>, которое изменяется также медленно. В результате приходится прибавлять значительное количество щелочи, чтобы вызвать сравнительно малое изменение pH. Принято называть такую систему буферной. Другое выражение для того же самого явления—это «резервная кислотность», так как прибавляемая щелочь нейтрализует не только свободные ионы водорода, но также и некоторое количество их, образующееся при дальнейшей диссоциации свободной кислоты.

Кислые почвы сходны со слабыми кислотами в том отношении, что во всякий данный момент в них находится в диссоциированном состоянии до свободных водородных ионов лишь очень небольшая часть кислот, но при прибавлении возрастающих количеств оснований диссоциируются и нейтрализуются новые количества. Даже если действительная природа кислоты неизвестна, то все же является очень удобным измерять кислотные свойства по кривым, указывающим величины pH, наносимые в соответствии с прибавленным основанием.

Эти кривые титрования почв не показывают никаких резких перегибов или определенных «конечных точек», соответствующих полной нейтрализации индивидуальных кислот, и поэтому становятся невозможным определить константы диссоциации почвенных кислот или точно определить точку полной нейтрализации или насыщения почвы основаниями. Почва продолжает нейтрализовать или поглощать прибавляемые основания до точки, при которой щелочность становится уже столь большой, что разлагается и коллоидальный комплекс. Как бы то ни было, форма кривых титрования показывает первоначальную кислотность и протяжение буферности; последняя измеряется наклоном кривой. Часто является полезным определить количество освобожденной кислоты или нейтрализованного основания при реакции, продолжающейся лишь до известной, произвольно выбранной точки. Многие из таких реакций используются для приблизительного определения «потребности в извести», и результаты иногда называются измерением «степени ненасыщенности», или количеством «обменного водорода». Однако все эти качества не имеют точного физико-химического значения и в лучшем случае являются удобным вы-

<sup>1</sup> Величина pH в каждый данный момент зависит также от константы диссоциации кислоты.

ражением для количества кислоты, освобождающейся при произвольно выбранных эмпирических условиях. Таким образом, разные методы были основаны на количестве кислоты, освобождающейся при обработке почвы соляным раствором<sup>1</sup>, кондуктометрическом титровании щелочью, на количестве оснований, поглощенных при произвольно выбранных условиях, и на увеличении обменного кальция, когда почва приводится приблизительно в равновесие с карбонатом кальция и атмосферным воздухом.

Первые измерения концентрации водородного иона в почвенных суспензиях были сделаны П. Зейделем в 1913 г.<sup>2</sup> и последующее развитие этого метода оказалось чрезвычайно полезным для интерпретации поведения кислых почв. Фундаментальный метод водородного электрода также часто применяется, но он несколько кропотлив; методы сурьмяного и стеклянного электродов находятся пока в предварительной стадии испытания и еще ненадежны; наиболее широко распространен метод хингидронного<sup>3</sup> электрода Вейльмана, который очень хорошо отвечает в диапазоне pH от 3 до 8, но прерывается при более высоких величинах. Он не пригоден также, когда присутствует двуокись марганца; этот случай был очень полно исследован Гейнце и Краудером<sup>4</sup> и явился предметом критических коллективных исследований Комитета Интернационального общества почвоведения<sup>5</sup>. Для полевых работ были разработаны быстрые колориметрические методы. Существенная

<sup>1</sup> См., например, H. Kappen, *Landw. Versuchs-Stat.*, 1916, 88, 13—104, и многие последующие работы, суммированные в *Die Bodenazidität nach agriculturchemischen Gesichtspunkten dargestellt*, Berlin, 1929.

Каппен различает следующие степени кислотности: «гидролитическая», когда кислота освобождается от гидролиза соли ацетата натрия, но не из сильно диссоциированной соли, как, например, из хлористого натрия; «обменная» кислотность, когда из почвы освобождается алюминий и весь он учитывается, как кислота (в настоящее время Каппен отказался от своих прежних взглядов, что эта «обменная» кислотность возникает из поглощенных ионов алюминия); «разложение нейтральной соли», когда имеется большее количество титруемой кислотности, чем то, которое может быть отнесено за счет алюминия, и «актуальная» кислотность, когда, повидимому, не имеется обменных оснований. Другими предложенными различиями были: «скрытая» (latent) или «обменная» кислотность для кислоты, развивающейся после прибавления нейтральной соли; «актуальная» или «активная» кислотность, показываемая суспензией почвы в воде, и «общая» (total) кислотность, измеряемая количеством основания, потребного для нейтрализации почвы.

<sup>2</sup> Bull. Sect. Sci. Acad., Rumanie, 1913, 2, 38 (Изложение в *Chem. Ztrbl.*, 2, 536).

<sup>3</sup> E. Bijlman. *Journ. Agric. Sci.*, 1924, 14, 232.

<sup>4</sup> S. G. Heintze and E. M. Crowther, *Trans. Second Comm. Int. Soc. Soil Sci.*, Budapest, 1929, A, 102.

О сравнении водородного и хингидронного электродов на некоторых австралийских почвах см. R. J. Best, *Journ. Agric. Sci.*, 1931, 21, 337. E. F. Snyder в U. S. Dept. Agric., *Circ.* № 56, 1928, и *Soil. Research*, 1929, 1, 225, описывает ряд методов, применявшихся для определения pH в почвах.

<sup>5</sup> *Soil Research*, 1930, 2, 77—140.



трудность в получении чистых почвенных экстрактов без изменения реакции часто ведет при колориметрических методах к серьезным ошибкам, но в этом методе были введены существенные улучшения применением специальной формы сульфата бария («про-Рентген» Мерка) для осветления смеси раствора почвы и индикатора<sup>1</sup>.

При измерении рН почвы возникают обычно два существенные затруднения. рН почвы до сих пор нельзя еще определять *in situ* в поле, а приходится брать образец и делать суспензию. Таким образом, возникает возможность, что рН почвы будет нарушаться при хранении и высушивании ее на воздухе, но это влияние если и имеет место, то является, повидимому, очень малым, несколько уменьшая рН почвы, но обычно не более чем на 0,2 единицы рН<sup>2</sup>, хотя Аарнио сообщает о случаях разницы для некоторых почв до 1,2 рН.

Другим затруднением является то, что кажущееся рН почвенной суспензии изменяется с концентрацией почвы в суспензии.

Брадфильд<sup>3</sup> показал, что это имеет место при суспензиях глины, а Вигнер и Пальманн<sup>4</sup> изучали это влияние более детально. Они показали, что в почве встречаются два типа кислот: растворимые кислоты, как серная, фосфорная и уголекислота, и нерастворимые кислоты, как коллоидальная глина и органическое вещество, содержащее замещаемый водород. При дисперсировании в воде эти коллоидальные кислоты диссоциируют, выделяя рассеянное облако водородных ионов, которые хотя и подвижны, но никогда не могут далеко отодвинуться от поверхности частицы коллоида. Они могут повлиять на электрод, помещенный в суспензию, и могут инвертировать тростниковый сахар, но они вынуждены двигаться вместе с частицей. Таким образом, если частица оседает, то она уносит свое облако водородных ионов вниз с собою. Вследствие этого рН прозрачной жидкости, находящейся над почвенной суспензией, соответствует только растворимым кислотам. Однако рН самой суспензии измеряет также и добавочное влияние, происходящее от диссоциации некоторого количества водородных ионов из почвенных частиц. Вигнер и Пальманн показали, что в случае, если концентрация коллоидальных частиц не слишком велика, то

<sup>1</sup> S. Kühn, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1930, A, 15, 13.

<sup>2</sup> См., например, следующие работы:

1) L. T. Sharp and D. R. Hoagland, Journ. Agric. Res., 1916, 7, 123.

2) P. S. Burgess, 1922, 55, 647.

3) E. Bijlman and Tovborg-Jensen, Trans. Second Comm. Intern. Soc. Soil. Sci., Groningen, 1927, B, 236.

4) T. Arnd и W. Hofmann, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1928, A, 10, 219.

5) B. Aarnio, Agrogeol. Institute of Finland, Bull. № 22, 1927 и Zeit. f. Pflanz. Düng., 1929, A, 14, 37.

6) W. Brenner, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1928, A, 11, 141.

<sup>7</sup> Journ. Phys. Chem., 1924, 28, 170.

<sup>8</sup> Trans. Second Comm. Int. Soc. Soil. Sci., Budapest., 1929, B., 92. Ergebnisse der Agriculturchemie, 1930, 2, 1—37.



измеряемая добавочная концентрация водородного иона пропорциональна количеству присутствующего коллоида; их результаты для глины Ротамстеда, подвергавшейся электродиализу, приведены в таблице 46.

Таблица 46

*Отношение концентрации водородных ионов электродиализированной ротамстедской глины к концентрации глины в суспензии*

|                                                      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Концентрация глины (относит. числа) . . .            | 0    | 9,7  | 18,2 | 28,2 | 33,3 | 37,8 | 50,0 | 66,6 | 100,0 |
| Концентрация ионов водорода ( $\times 10^{-6}$ ) . . | 2,3  | 4,9  | 6,3  | 9,6  | 11,8 | 13,8 | 19,1 | 25,1 | 33,9  |
| pH <sup>1</sup> . . . . .                            | 5,64 | 5,31 | 5,20 | 5,02 | 4,93 | 4,86 | 4,17 | 4,60 | 4,47  |

Присутствовавшие частицы имели в среднем диаметре 150 мк. и наиболее концентрированный из применявшихся растворов содержал 2,18 г глины на литр. Разведение растворов производилось прибавлением некоторого количества ультра-фильтрата исходной суспензии. Для больших концентраций коллоида эти линейные отношения не сохраняются, как было показано Брадфильдом.

Этот эффект водородной глины в связывании ее водородных ионов указывает на желательность определения, в отдельности, как pH дисперсной среды, в идеальном случае почвенного раствора, так и той части кислотности, которая обязана присутствующим нерастворимым или коллоидальным кислотам.

### РЕАКЦИЯ ПОЧВЫ

Реакция почвы зависит от относительного обилия обменных кальция, водорода и натрия в глине и в гумусных коллоидах. При достаточных резервах карбоната кальция почва бывает нейтральной или щелочной; в умеренных влажных районах, благоприятствующих выщелачиванию, почва становится кислой вследствие вымывания кальция, тогда как в засушливых районах она имеет тенденцию становиться щелочной вследствие преобладания катионов натрия.

Почвенный раствор, насыщенный  $\text{CO}_2$  при нормальном парциальном давлении ее в воздухе, в присутствии карбоната кальция имел бы pH 8,4. Кислоты глины имеют величины, колеблющиеся от 3,0 до 3,5 (стр. 169), а гумусовые кислоты—около 3,8 (стр. 185); более низкие величины можно отнести на минеральные

<sup>1</sup> Следует заметить, что широкие изменения концентрации водородного иона сильно снижаются логарифмическим методом представления pH: так, например, когда концентрация изменяется от 4,9 до 9,6 ( $\times 10^{-6}$ ), то pH изменяется только от 5,3 до 5,0.

кислоты, как, например, на серную. Отмеченные разными авторами пределы составляют от 9,7 (Шарп и Хогланд, 1916) до 2,8 (F. J. Martin, Gold Coast).

Таблица 47 дает некоторое представление о пропорции почв, рН которых лежит в данных пределах, для нескольких стран.

Таблица 47

Распределение почв по величине рН в разных странах. О. Аррениус<sup>1</sup>

| Страны                                 | Число образцов | рН лежит между |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------------------|----------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                        |                | 4,0—4,4        | 4,5—4,9 | 5,0—5,4 | 5,5—5,9 | 6,0—6,4 | 6,5—6,9 | 7,0—7,4 | 7,5—7,9 | 8,0—8,4 | 8,5—8,9 |
| Япония . . . . .                       | 27             | —              | 19      | 19      | 15      | 23      | 19      | 5       | —       | —       | —       |
| Финляндия . . . . .                    | —              | 1              | 8       | 23      | 38      | 21      | 8       | 1       | —       | —       | —       |
| Юго-восточная Шотландия <sup>2</sup> . | 681            | 1              | 6       | 19      | 29      | 23      | 11      | 6       | 5       | —       | —       |
| Дания, . . . . .                       | 5 000          | —              | 1       | 3       | 12      | 46      | 21      | 14      | 2       | —       | —       |
| Швеция . . . . .                       | 5 000          | 1              | 2       | 5       | 10      | 25      | 31      | 24      | 2       | —       | —       |
| Ява . . . . .                          | 73             | —              | —       | —       | —       | —       | 14      | 57      | 26      | 3       | —       |
| Египет . . . . .                       | 56             | —              | —       | —       | —       | —       | —       | 14      | 48      | 22      | 16      |

### ПОТРЕБНОСТЬ ПОЧВ В ИЗВЕСТИ

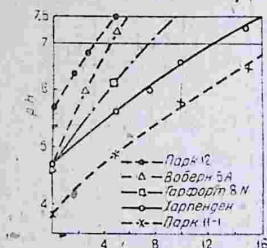
«Потребностью в извести» в сельском хозяйстве называют количество извести, которое должно быть внесено в кислую почву, чтобы сделать ее более или менее нейтральной. Это количество зависит не только от кислотности (рН) почвы, но также от степени буферности ее. Буферность почвы (стр. 177) зависит от трех компонентов: от гумуса, наиболее эффективного на единицу своего веса; от глины, имеющей большее абсолютное значение, когда она встречается в больших количествах, и от фосфатов. Эффект последовательного прибавления извести на реакцию пяти почв показан на рисунке 25 (Краудер и Мартин, 1925). Кривые эти сходны с кривыми титрования смеси слабых кислот и совершенно отличны от кривых сильных кислот. Три почвы—вовернская, гарфортская и харпенденская—имели первоначально приблизительно одну и ту же величину рН, но каждая из этих почв требует различных количеств извести для доведения ее до рН 7.

<sup>1</sup> Fourth Intern. Confer. Pedology, Rome, 1926, 2, 502.

<sup>2</sup> W. G. Ogg and W. T. Dow, Journ. Agric. Sci., 1928, 18, 131.

Вобёрнская почва требует извести меньше всего. Это — песчаная почва, содержащая мало глины и органического вещества, и поэтому она является только слегка буферной; гарфортская требует больше извести; она содержит больше глины и поэтому имеет более сильную буферность; харпенденская почва, содержащая большие количества глины и органического вещества, требует наибольшего количества извести и является наиболее буферной из всех трех.

Кривые электрометрического титрования



Миллиграммэквивалентов оснований, прибавленных на 100 г воздушно-сухой щелочи.

Рис. 25. Изменения реакции (рН) кислых почв при последовательном прибавлении щелочи.

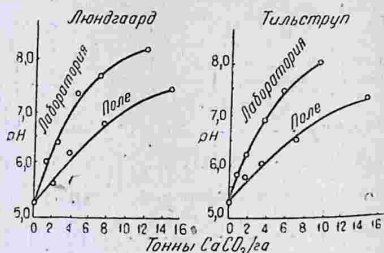


Рис. 26. Влияние последовательного внесения доз  $\text{CaCO}_3$  на величину рН двух кислых почв, соответственно в лаборатории и в поле (H. R. Christensen и S. Tovborg Jensen, 1926)

Приведенные результаты получены в лаборатории, в условиях, благоприятных для быстрого достижения равновесия. В поле происходят гораздо меньшие изменения. Христенсен и Товборг-Иенсен (1926) определяли рН на многочисленных участках в разных частях Дании, где применялись последовательно возрастающие дозы извести, и результаты сравнивали с результатами, полученными в лаборатории при применении тех же самых пропорций извести (рис. 26). Вообще говоря, 1 часть углекислой извести при лабораторных испытаниях равнялась по эффективности  $2\frac{1}{2}$ —3 частям при применении в поле.

Отсюда ясно, что лабораторные методы не могут заменить полевых опытов, хотя при надлежащем использовании они могут упростить их.

### ЕМКОСТЬ НАСЫЩЕНИЯ ПОЧВЫ

Термин «насыщенная» первоначально был введен Раманном и впоследствии Гедройцем для обозначения почвы, находящейся в равновесии с карбонатом кальция. Гедройц<sup>1</sup> измерял степень

<sup>1</sup> Детали см. в его «Химическом анализе почвы».

ненасыщенности титрованием вытяжки, полученной при выщелачивании почвы нормальным раствором хлористого бария. Впоследствии была установлена аналогия между почвами и растворами слабых кислот и делались попытки определения «степени ненасыщенности» или «обменного водорода» измерением абсорбции основания из более сильных щелочных растворов. Так, например, Хиссинк<sup>1</sup> производил кондуктометрические титрования почв гидратом окиси бария и пересчитывал количество ненасыщенности путем экстраполяции, что, как предполагалось, должно было устранить нарушающее действие вторичных изменений, вызываемых сильными щелочами. Прибавляя количество присутствующих обменных оснований (S) к количеству ненасыщенности, он получает емкость насыщения (T) и выражает степень насыщенности основаниями в виде отношения S/T. На этом базисе вычислений вышешие величины, получавшиеся для почв влажных стран, варьировали около 55%, даже в том случае, когда они содержали карбонат кальция; предполагалось, что остальные около 45% замещаемых катионов принадлежали водороду. Предлагалось и много других методов для измерения ненасыщенности или общей емкости насыщения<sup>2</sup>. Келли<sup>3</sup> выщелачивает щелочную почву или же почву, искусственно сделанную щелочной, с помощью прибавления гидрата окиси бария, нейтральным ацетатом аммония, удаляет избыток метиловым спиртом и затем определяет общее количество аммония, оставшееся в почве. Это количество эквивалентно емкости насыщения; степень ненасыщенности получается вычитанием количества обменных оснований. Пейдж и Вильямс<sup>4</sup> предложили метод, при котором к почве прибавлялся избыток карбоната кальция, после чего почва экстрагировалась  $\text{N. NaCl}$  по обычному методу Хиссинка. Полученный таким образом общий кальций давал емкость насыщения, а избыток его сверх кальция, находившегося в первоначальной почве, давал степень ненасыщенности.

Ни один из этих методов не имеет точного физико-химического значения. Но они являются очень удобным дополнением к определению обменных оснований. Выбор между ними является главным образом вопросом удобства, но все же следует предпочитать те методы, которые не подвергают почву действию сильных щелочных растворов.

### Органическое вещество

Органическое вещество в почве происходит почти всецело от растений и микроорганизмов и лишь в очень незначительном ко-

<sup>1</sup> D. J. Hissink, Trans. Faraday Soc., 1925, 20, 551.

<sup>2</sup> Общий обзор см. Imp. Bureau of Soil Sci., Tech. Comm., 12, 1930.

<sup>3</sup> W. P. Kelley, Journ. Amer. Soc. Agr., 1929, 21, 1021.

<sup>4</sup> H. J. Page and W. Williams, Trans Faraday Soc., 1925, 20, 573. См. также P. E. Turner, Journ. Agric. Sci., 1928, 18, 257; E. M. Crowther and J. K. Basu, Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 689.



личестве от животных. Органическое вещество содержит в себе материалы, начиная с веществ, находящихся в живых растениях или иных организмах и кончая чрезвычайно древними материалами, относящимися в случае осадочных горных пород к временам, когда они отлагались; полное изучение этих веществ охватило бы значительную часть органической химии. Некоторые из этих компонентов встречаются лишь в небольших количествах и обыкновенно оставляются без внимания исследователями почвы, так как, насколько известно, они не оказывают никакого влияния на растущее растение, хотя и нельзя быть уверенным, что все они инертны.

Остается группа веществ, которые глубоко влияют на почву и на отношение ее к растениям; эти вещества известны под общим названием «гумус» и характеризуются своим черным цветом, коллоидальностью и высоким молекулярным весом, хотя еще неизвестным.

Химики с самых ранних дней науки сильно интересовались гумусом, но он всегда оказывался чрезвычайно трудноуловимым для исследования. Первые работы были начаты Вокленом, который в 1797 г. нашел, что некоторую часть гумуса можно было извлечь с помощью щелочей, после предварительной обработки почвы кислотой; после этого вещество осаждалось, повидимому, неизмененным, при прибавлении кислоты<sup>1</sup>. Шпренгель (1826)—один из наиболее ранних исследователей в агрономической химии—продвинул в 1826 г. свое изучение уже настолько, что с тех пор мало было прибавлено к этому нового<sup>2</sup>; он различал «кислый гумус» торфа, находящийся в почвах с недостатком оснований и придающий торфу его кислую реакцию, от менее кислого «сладкого гумуса», образующегося в почве в присутствии оснований; «кислая» форма более стойка, чем «сладкая», так как она менее легко разлагается на углекислоту и воду. Шпренгель приготовлял гуминовую кислоту, экстрагируя торф разведенной соляной кислотой в течение двух часов, для удаления всех оснований; затем, после промывания водой, он экстрагировал раствором аммиака в закрытом сосуде и, наконец, прибавлял к раствору соляной кислоты для осаждения гумуса. Однако осадок не получался чистым, но содержал как глину, так и гидрат окиси железа; поэтому он вновь растворялся в растворе карбоната натрия, профильтровывался и осаждался из фильтра холодной соляной кислотой.

После этого осадок был почти свободен от зольных составных частей; он имел черный цвет и, по отмывании кислотой, слег-

<sup>1</sup> Ann. Chim., 1797, 21, 39.

<sup>2</sup> Полный отчет о работе Шпренгеля дан С. А. Ваксманом в его замечательном обзоре литературы о гумусе в Soil. Sci., 1926, 22, 123. Ваксман указывает, что работа Шпренгеля осталась вообще незамеченной и вместо него эти работы были приписаны Мюльдеру, работы которого относятся к более позднему времени.

ка растворялся в воде; при электролизе он перемещался на положительный полюс, являясь, таким образом, электро-негативным, подобно другим кислотам. С основаниями он образовывал соли—со щелочами растворимые, а со щелочными землями и тяжелыми металлами—нерастворимые. Он выделял углекислоту из карбонатов и кремневую кислоту из растворимых силикатов; далее он вступал в соединение с глиной и с окисью железа. При высушивании становился черным и блестящим, легко раздроблялся в порошок и сильно поглощал воду, но оставался нерастворимым в ней. Сходное же вещество было приготовлено из древесных тканей и остатков растений при обработке их раствором едкого калия, в присутствии воздуха, так как предполагалось, что кислород играл в этом некоторую роль. Обширные исследования Мультера<sup>1</sup> подтвердили эти результаты, но не продвинули дела дальше, и действительно до последнего времени к этому мало что было прибавлено. Современные исследователи показали, что гуминовая кислота Шпренгеля содержит нечто растворимое в алкоhole, а также что некоторая часть органического вещества почвы не растворимая в растворе едкого натра, которой Берцелиус дал название «гумин», становится растворимой после обработки в кипящей щелочи. Обычное принятое разделение получаемых материалов приводится в схеме на стр. 186.

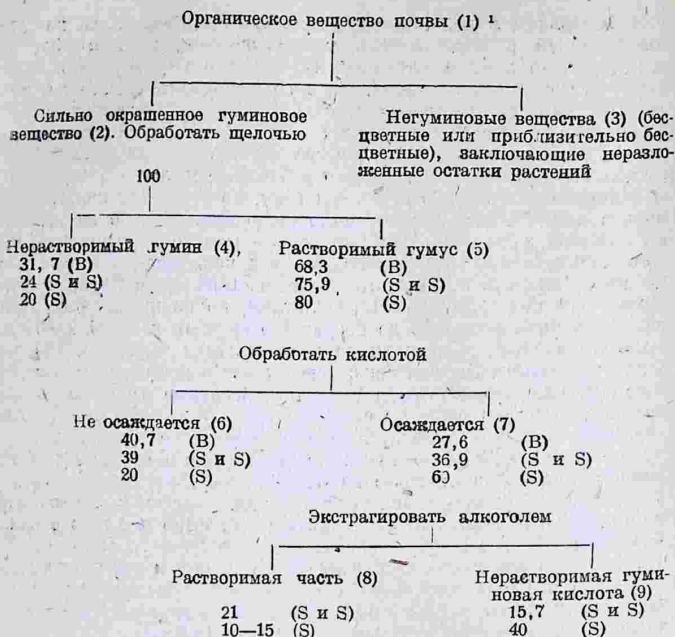
Цифры под названием фракций показывают, как распределяется между ними углерод; результаты Бертло и Андре обозначены буквой (В), Шрейнера и Шори (S и S) и А. Шмука (S)<sup>2</sup>. Ни одна из этих фракций, однако, не является простым телом. Шрейнер и Шори при своих классических исследованиях (1910) разложили часть, растворимую в щелочах (фракция 5), на большее число компонентов (см. табл. на стр. 187).

Оден, применяя современные физико-химические методы, показал, что нерастворимая гуминовая кислота (фракция 9) обладает всеми свойствами настоящей кислоты; она имеет pH от 3,8 до 4,5. Оден рассматривает ее как простое тело, свободное от азота, как кислоту четырехосновную, с молекулярным весом 1350 и эквивалентным весом 310; он даже предложил для нее формулу  $C_{60}H_{52}O_{24}(COOH)_4$ . Другие исследователи рассматривают ее как смесь без всякой определенной основности; они определяют эквивалентный вес ее около 600, т. е. вдвое выше, чем определяет Оден (стр. 198).

Большой дискуссии подвергался вопрос, содержит ли гуминовая кислота азот или не содержит? Оден считает, что не содер-

<sup>1</sup> Liebig's Ann. Chem u. Pharm., 1840, 36, 243; Journ. Prakt. Chem. 1840, 21, 203, 321. Die Chemie der Ackerkrume, Berlin, 1861—62.

<sup>2</sup> «Почвоведение», 1930, № 3. Из фракции 7, с помощью разных растворителей, Шмук извлекает смоляные кислоты Шрейнера и Шори и сопровождающие их вещества, составляющие до 5% исходного углерода. Остаток экстрагируется алкоholeм, давая фракции 8 и 9.



(6) Названа Оденом «фульвиновыми кислотами».

(8) Названа Гоппе-Зейлером и Оденом «гимато-мелановой кислотой», но в настоящее время известно, что это — сложная смесь.

жит; однако Пейджу и его ассистентам в Ротамстеде не удалось удалить азота никакими умеренными средствами обработки, и всегда оставалось около 5%, которые они считают существенной конституционной частью вещества. При гидролизе она распадается на те же самые группы веществ, как и растительный протеин, и пропорции различных групп в том и другом случае не особенно расходятся <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Н. J. Page, Journ. Agric. Sci. 1930. 20, 455. Цифры в скобках поставлены в целях идентификации фракций; цифры без скобок объяснены в тексте.

<sup>2</sup> R. P. Hobson and H. J. Page, Journ. Agric. Sci., 1932; более старые анализы см. Мороу и Гортнер (C. A. Morrow and R. A. Gortner); Soil Sci 1917, 3, 297, которые анализировали органические вещества большого числа почв и нашли, что оно было сходного типа, какие бы почвы ни брались, но отлично от органического вещества торфа.

Вещества, осаждаемые кислотами  
(так называемые гуминовая и уль-  
миновая кислоты)

Вещества, не осаждаемые кислотами  
(так называемые креновая и  
апокреновая кислоты)

Смоляные кислоты.

Эфиры (эстэры) смоляных кислот.

Глицериды.

Парафиновая кислота,  $C_{24}H_{48}O_2$ ,  
точ. плавл. 45—48°, по видимому,  
тождественная с кислотой, полу-  
чающейся при обработке пара-  
фина дымящейся азотной кисло-  
той.

Лигноцериновая кислота,  $C_{24}H_{48}O_2$ ,  
точ. плавл. 80—81°, изомерная с  
предыдущей.

Агроцериновая кислота,  $C_{21}H_{42}O_2$ ,  
точ. плавл. 72—73°, гидрокси-  
жирная кислота.

Агостероль,  $C_{26}H_{44}O \cdot H_2O$ , точ.  
плавл. 237°.

Фитостероль,  $C_{26}H_{44}O \cdot H_2O$ , точ.  
плавл. 135°. Оба из холестероль-  
ной группы.

Дигидроксистеариновая кислота,  
 $C_{18}H_{36}O_4$ , точ. плавл. 98—99°,  
однородная с кислотой, образу-  
ющейся при окислении элаидино-  
вой кислоты.

$\alpha$ -Пиколлин  $\gamma$  карбоксилево-  
й кислоты,  $C_7H_7O_2N$ , точ. плавл. 239°,  
однородная с кислотой, образую-  
щейся при нагревании увитино-  
вой кислоты до 274°.

Ксантин,  $C_5H_4O_2N_4$ .

Гипоксантин,  $C_5H_4ON_4$ .

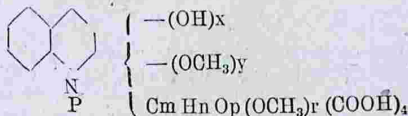
Цитозин,  $C_4H_5ON_3 \cdot H_2O$ .

Гистидин,  $C_6H_9O_2N_3$ .

Аргинин,  $C_6H_{14}O_2N_4$ .

Пентозаны.

Теперь всеми вообще признается, что «гумус» содержит как азотистую, так и безазотистую часть. Майвальд<sup>1</sup>, резюмируя оче-  
видные факты, изображает природу «гумуса» следующим обра-  
зом:



Пейджд изображает «гумус» как комбинацию безазотистой гу-  
миновой кислоты с протеином, который, будучи амфолитным, мо-  
жет функционировать, как основание. Комбинация эта, во всяком  
случае, чрезвычайно стойка и поэтому должна быть более тесной,  
чем обычно между основаниями и кислотой; предполагается, что  
это соединение требует конденсации; ближайшим аналогом его  
является комбинация между протеином и дубильной кислотой  
при образовании кожи, одного из наиболее стойких соединений,  
известных до сих пор.

Мак-Лин<sup>2</sup> нашел, что окисление органического вещества поч-  
вы перекисью водорода происходило в две стадии, что наводит  
на мысль о существовании в почвенном гумусе трех групп орга-  
нических соединений:

<sup>1</sup> K. Maiwald в «Handbuch der Bodenlehre» Бланка, 1931, vol. 7, 187.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 251.

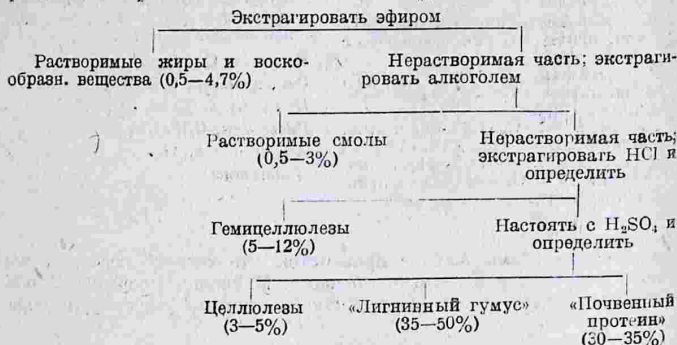


1) группа, окисляемая 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , содержащая азот. (около 10 C : 1 N), представляющая около 85% углерода и азота в почве. Повидимому, эта группа построена из одного протеинового и одного углеводного комплексов;

2) более стойкая группа, окисляемая только 6%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , свободная от азота, возможно, целлюлозного характера;

3) стойкое азотистое вещество, не отделимое даже при повторных обработках  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

С. А. Ваксман и К. Р. Стивенс<sup>1</sup> рекомендуют другой путь разделения органического вещества на фракции (см. схему).



Таким образом, они учитывают, около 90—95% углерода в почве. Однако этот метод еще недостаточно исследован, чтобы установить сравнимость полученных величин со старыми методами.

Химический анализ показывает, что органическое вещество почвы является в высшей степени сложной смесью и при настоящем состоянии знаний не представляется возможным дать список веществ, присутствующих в нем.

Однако можно установить два важных пункта.

1. Различные образцы природного гумуса имеют весьма различную реакцию вследствие разницы содержания основного материала в первоначальной растительности. Это было выявлено Гессельманом<sup>2</sup> при изучении слоя гумуса в хвойных лесах. Реакция неразложившихся листьев была найдена следующая:

|                              | pH      |                                | pH      |
|------------------------------|---------|--------------------------------|---------|
| Хвоя пихты . . . .           | 3,8     | Береза ( <i>Betula</i> Spp.)   | 5—6,1   |
| Сосновая хвоя . .            | 4—4,2   | Бук ( <i>Fagus sylvatica</i> ) | 5,3—6,6 |
| Дуб ( <i>Quercus robur</i> ) | 4,8—4,9 | <i>Mercurialis perennis</i>    | 7,4     |

<sup>1</sup> Soil Sci., 1930, 30, 97—116.

<sup>2</sup> Meddel. från Statens Skogsförsöksanstalt, 1926, 22, 169—552.

Имеется тесная зависимость между степенью кислотности и количеством присутствующего кальция, и это отношение подвержено большим колебаниям; в то время, как *Mercurialis perennis* содержит 5,23 %  $\text{CaO}$ , *Deschampsia flexuosa* содержала только 0,16 %.

2. Помимо степени насыщения основаниями состав органического вещества не подвержен случайным колебаниям в разных почвах; напротив, он показывает значительную степень однородности, что не является неожиданным, принимая во внимание, что во всех почвах органическое вещество происходит от одной и той же группы соединений—целлюлозы, лигнинов, протеинов и других важных составных частей, при участии одних и тех же типов микроорганизмов, в условиях, которые, как мы увидим ниже, не так различаются в разных почвах, как, например, условия на поверхности почвы. Так, например, делянка Бродбока, получавшая навоз ежегодно в течение истекших 80 лет и занятая ежегодно пшеницей, содержит гораздо больше органического вещества, чем делянки Барнфильда, не получающие навоза, а только листья кормовой свеклы, росшей на них: разница в условиях культуры чрезвычайно значительная. Однако никакой разницы в составе органического вещества нельзя было обнаружить<sup>1</sup>. Как в отношении состава, так и в отношении свойств почвенно-органическое вещество ведет себя в главных чертах как будто оно представляло собой единое однородное вещество, в частности:

1) отношение C/N обычно варьирует в круглых цифрах около 10 (стр. 276);

2) органическое вещество содержит обычно около 58 % углерода, и эта величина является настолько общей, что химики нередко определяют количество органического вещества в почве, умножая предварительно найденное анализом количество углерода на 0,72<sup>2</sup>;

3) органическое вещество различных почв обнаруживает коллоидальные свойства, причем величины их представляют количества одного и того же порядка во всех случаях, когда они могут быть выражены количественно.

Вследствие этой общей однородности исследователи обычно и законно изучали свойства «органического вещества», как целого, не особенно смущаясь тем фактом, что оно является смесью многих веществ.

Работы распадаются на два крупных раздела: попытки получить синтетический гумус из органических соединений известного

<sup>1</sup> R. P. Hobson and H. J. Page, Journ. Agric. Sci., 1932.

<sup>2</sup> G. W. Robinson and W. Mc Lean (Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 345) показывают, что некоторые почвы содержат заметные количества кокса или угля, внесенного с удобрениями или происшедшего от материнской породы; этот уголь может быть удален посредством взмучивания, иначе он нарушает верность определения в сторону повышения.

состава и изучение свойств природного гумуса, находящегося в почве.

**Попытки синтеза.** Первые попытки синтеза гумуса производились действием сильных кислот на сахара. Получалось черное вязкое вещество, которое, однако, оказалось отличающимся от почвенного гумуса как по содержанию углерода, так и по своим свойствам<sup>1</sup>. Позднее Майлярд (Maillard) (1912—1917) приготовил вещество, весьма сходное с гумусом, с помощью конденсации сахаров с аминокислотами и полипептидами. Делались также попытки приготовления гумуса из соединений ароматического ряда. Наиболее обещающими исследованиями были исследования Фишера и Шрадера (1921) над окислением лигнина в слабо щелочных условиях; они нашли, что при этом получается вещество, очень сходное с гумусом. Этот метод и реакция Майлярда являются, повидимому, наиболее перспективными путями в настоящее время<sup>2</sup>. Сравнительное изучение различных продуктов было произведено в Ротамстеде М. S. Du Toit<sup>3</sup>; результаты его приводятся в таблице 48.

Таблица 48

*Процент углерода, водорода и (если имеется) азота в «гумусе» из различных источников. Дю-Туйа*

| Источники гумуса             | Углерод | Водород | Азот |
|------------------------------|---------|---------|------|
| Почва . . . . .              | 56,0    | 5,1     | 5,36 |
| Перегнившая солома . . . . . | 56,2    | 5,5     | 2,36 |
| Реакция Майлярда . . . . .   | 53,1    | 5,2     | 5,46 |
| Лигнин . . . . .             | 60,2    | 5,9     | —    |
| Целлюлоза . . . . .          | 58,1    | 5,5     | —    |
| Фурфурал . . . . .           | 61,1    | 5,9     | —    |
| Сахарный тростник . . . . .  | 58,7    | 5,3     | —    |
| Допплерит . . . . .          | 50,8    | 5,4     | 2,37 |

Продукты, полученные с помощью реакции Майлярда, из лигнина и из целлюлозы вели себя, как кислоты, продукты же из сахара и фурфуральдегида—иначе.

**Важнейшие свойства гумуса в почве.** Когда, как в данном случае, материал оказывается неопределенным и методы недостаточно точными, является необходимым составить себе ясное представление о направлении, в котором мы желаем получить информацию, так как иначе можно только потерять время, занимаясь

<sup>1</sup> См. Berthelot, Compt. Rend., 1905, 141, 433. R. A. Robertson, J. C. Irvin and M. E. Dobson, Biochem. Journ. 1907, 2, 458; V. A. Beckley, Journ. Agric. Sci. 1921, 11, 69.

<sup>2</sup> Прекрасное резюме современного состояния этого вопроса дается К. Майвальдом в Organische Bestandteile des Bodens, E. Blanck, Handbuch der Bodenlehre. Более старые работы см. A. Baumann, Geschichte der Humussäuren, в Mitt. kgl. bayer. Moorkulturanstalt 1909, 3, 53, 123 (Обзор от 1926 по 1908 г.); Sv. Odén, Die Huminsäuren (Kap. 2. Geschichtliches), Colloidchem. Beih., 1919, 11, 75 (резюме до 1919 г.).

<sup>3</sup> Journ. Agric. Sci., 1932.

бесцельными исследованиями. Наблюдения показывают, что гумус оказывает некоторые очень важные эффекты в почве, и мы должны сосредоточить наше внимание на тех свойствах его, которые проливают свет на них. Эти эффекты заключаются в следующем.

1. Гумус придает почве темнобурый или черный цвет.
2. Повышает задерживающую способность почвы в отношении растворимых веществ, действуя подобно глине.
3. В присутствии карбоната кальция или достаточного количества обменного кальция гумус не вымывается в глубь почвы, но остается закрепленным на поверхности ее. Однако при отсутствии

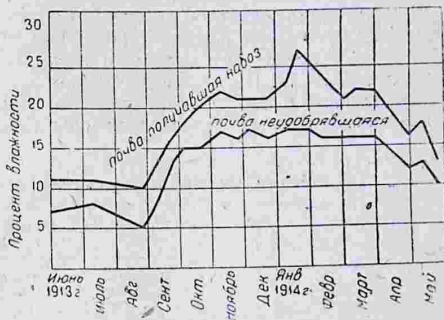


Рис 27. Кривые, показывающие процент влажности в двух почвах смежных деланок, одна из которых ежегодно получала навоз, тогда как другая не получала его. (Поле Бродбюк, Ротамстед).

достаточного количества кальция он подвергается дисперсии и вымывается на некоторую глубину.

4. Гумус придает почве свойство вспучиваться и, таким образом, ведет к увеличению в ней пространства пор (стр. 388). Отсюда вытекает заметное улучшение строения почвы и общих физических условий ее. Делянки с кормовой свеклой в Ротамстед, не получающие органического удобрения, а потому и бедные частично разложившимся органическим веществом, пришли в вязкое и «неприятное» состояние, так что молодые растения только с трудом выживают в этой почве, хотя ей доставляется много пищи; в сухую же весну растения часто погибают; в то же время унаваживаемые делянки, богатые гумусом, оказываются гораздо более благоприятными для растений и всегда дают хороший урожай. Но вспучивание почвы или ее овойство делается слишком «легкой» может зайти слишком далеко, и это иногда причиняет много затруднений в старых огородах, которые в течение долгих лет получали сильное навозное удобрение.

5. Гумус повышает водоудерживающую способность почвы. Содержание влаги в смежных участках в Ротамстед приведено



на рисунке 27, из которого видно, что делянка, ежегодно получающая навоз, содержит нормально воды на 3—4% больше, чем соседняя делянка, не получающая органического вещества. Колебания в содержании воды в сходных двух почвах тесно следуют по своей разнице за количеством присутствующего органического вещества.

Это влияние на физические свойства почвы выражается настолько заметно, что в случае присутствия в почве 15—20% органического вещества влияние остальных факторов становится малозаметным, и различия между песчаными почвами, суглинками и глинистыми совершенно стираются. Так, например, многие из знаменитых почв прерий Красной реки (Red River) в Манитобе по минеральному составу совершенно тождественны с некоторыми бедными почвами Вельдена (Wealden), но присутствие 26% органического вещества совершенно маскирует вредный эффект глины и тонкой пыли. Подобные две почвы, различие сельскохозяйственных качеств которых зависит только от разного содержания органического вещества, были отмечены Гимингемом<sup>1</sup> (табл. 49).

Таблица 49

Эффект органического вещества<sup>2</sup> на строение почвы

|                         | Хорошая структура | Плохая структура  | Хорошая структура       | Плохая структура |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
|                         | Прерии Манитобы   | Вельденская глина | (сообщенные Гимингемом) |                  |
| Мелкий гравий . . . . . | —                 | 0,5               | —                       | —                |
| Крупный песок . . . . . | 1,6               | 1—2               | 0,6                     | 0,5              |
| Мелкий » . . . . .      | 3,8               | 10—12             | 4,3                     | 8,4              |
| Пыль . . . . .          | 17,1              | 20—30             | 11,2                    | 13,8             |
| Мелкая пыль . . . . .   | 28,2              | 25—30             | 28,7                    | 26,5             |
| Глина (ил) . . . . .    | 23,3              | 20—25             | 23,8                    | 25,0             |
| Потеря от прокаливании  | 26,3              | 5—8               | 19,8                    | 14,5             |

6. Гумус разбухает при смачивании. На торфе это явление особенно заметно; в самом деле, после сильных дождей недостаточно дренированные торфяные болота иногда разбухают так сильно, что переливаются в долины с разрушительными последствиями. Однако после дренажа наступают высыхание и осадка, сопровождаемые медленной, но постоянной эрозией, по мере проникновения воздуха во вновь образовавшиеся пространства, и начинаются процессы окисления. Когда в 1848 г. было дренировано болото Whittlesey Mère, сквозь торф была вбита свая в нижеле-

<sup>1</sup> Journ. Bd. Agric. 1910, 17, 529—541 и Journ. Agric. Sci., 1914., 6, 328—336.

<sup>2</sup> Определяется как потеря при сжигании.

жащий грунт в уровень с поверхностью почвы. Последующая осадка была настолько сильна, что в настоящее время из грунта выступает уже более 12 футов свай.

Обитатели этой местности думают, что такая сильная осадка произошла вообще в округе. «Служба съемки» не имела данных до 1886 г. и после 1920 г., и между этими годами уровень, повидному, не изменился<sup>1</sup>.

7. Хотя гумус по существу изменчив и имеет преходящий характер, однако до известной степени он сохраняет стойкость и исчезает из почвы лишь медленно. Он исчезает более быстро из известковых и меловых почв, чем из суглинков.

8. Гумус повышает биологическую деятельность, происходящую в почве.

Перечисленные свойства гумуса сильно увеличивают плодородие почвы, и в большинстве планов организации хозяйства принимаются определенные меры для поддержания или даже для увеличения запасов органического вещества; при этом также и в лесах удаление листьев или других разлагающихся материалов признается нежелательным.

Немец<sup>2</sup> (Прага), изучая леса Чехословакии, нашел, что удаление лесной подстилки понижало содержание азота в почве, а последнее, в свою очередь, понижало содержание азота в листьях в среднем на 12,2% и снижало годовой прирост деревьев в размере до 40%. Было изучено 8 лесов, и уменьшение среднего содержания азота в почве выразилось:

| Глубина почвенного слоя (в см) | Уменьшение содержания азота в очищенной почве (в %) |               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|
|                                | Общий N                                             | Растворимый N |
| 0,2                            | 58,6                                                | 39,9          |
| 2,5                            | 60,2                                                | 41,7          |
| 5—10                           | 32,8                                                | 23,4          |
| 10—25                          | 15,0                                                | 22,9          |

<sup>1</sup> Другие сведения см. Миллер и Скерчли, Fønland, Past and Present 162, 165.

<sup>2</sup> Forstwirtschaft, Centralblatt, 1931, 51, стр. 49—67, 147—156. Он показал также (Forstarchiv, 1929, 1924, 497), что удаление гумуса обычно увеличивает пропорцию кремневой кислоты, а иногда и калия в золе листьев, понижая в то же время содержание других минеральных веществ и азота. Кроме того изменяются воздушно-водный режим и другие биологические условия почвы обычно в неблагоприятную сторону. Оно может быть оправдано только на очень кислых почвах, где имеются мощные накопления сырого гумуса или где очистка лесной земли требуется для облегчения естественного возобновления.

Сжигание гумуса in situ представляет совсем другое дело; оно освобождает питательные вещества и стимулирует нитрификацию. В Швеции оно нередко бывает необходимым для достижения естественного возобновления леса.

В стремлении объяснить эти наблюдения были произведены многочисленные лабораторные исследования по методам, сходным с применяемыми для изучения глины, но видоизмененным в виду того обстоятельства, что коллоиды гумуса не могут быть отделены от почвы, а в особенности от глины никакими механическими способами. Химические же методы требуют растворения и нового осаждения, и, даже если мы примем, что окончательно получающееся вещество в целом является гуматным коллоидом, то, во всяком случае, физически он значительно нарушается, и результаты, полученные с ним, не могут быть прямо перенесены на почву.

Исследователями было принято три метода.

1. Гуминовая кислота готовится, как было сказано на стр. 185, причем процесс приготовления должен быть насколько возможно осторожным, чтобы уменьшить шансы разложения; затем свойства его изучаются в лаборатории обычным путем.

2. Гуматные коллоиды отделяются от почвы более простыми способами. До настоящего времени это достигалось только после превращения их в натриевый гумус, в какой-либо форме он дисперсирован гораздо сильнее, чем глина. Н. Б. Фернандер и А. Н. Соколовский<sup>1</sup> отделяли фракцию черной глины и гумуса из чернозема после предварительного удаления обменного кальция с помощью раствора  $\text{N. NaCl}$  и отмучивая почву несколько раз для удаления фракции более крупной, чем  $1 \mu$  в диаметре. Темноокрашенная суспензия пропусклась затем через фильтр Беркефельда. В начале фильтрование происходило легко, но после закупоривания пор прохождение становилось медленнее; таким образом была получена целая серия фракций, каждая с определенной скоростью фильтрования и степенью дисперсности. Непрофильтрованный материал содержал 64% золы, окончательная же фракция—только 2%.

3. Исследуется большое число почв, содержащих резко различные количества органического вещества и других коллоидов, и устанавливается (обычно с помощью определения содержания углерода) корреляция между различными свойствами и содержанием органического вещества. Предполагается, что высокая корреляция указывает на то, что данное частное свойство связано главным образом или обязано органическому веществу.

Первый метод является наиболее старым, но третий метод—более надежным, так как он не требует предположения, что осажденная гуминовая кислота ведет себя так же, как гуматный коллоид в почве.

**Дисперсия.** Гумус настолько полно дисперсирует в гидратах окисей натрия, калия и аммония, что образует почти раствор: его можно фильтровать через тонкий ультра-фильтр; однако он всегда обнаруживает эффект лучей Тиндалля. Последовательные фрак-

<sup>1</sup> Proc. Int. Congress Soil. Sci., Washington, 1928, 3, 367.

ции, полученные Фернандером и Соколовским, содержали все меньше и меньше углерода и азота и больше водорода и кислорода, что наводит на мысль, что наиболее тонкий материал более гидратирован, чем грубый<sup>1</sup>; процентный состав органического вещества в каждой фракции был следующий.

| Ф р а к ц и и                          | С    | Н   | О    | N    |
|----------------------------------------|------|-----|------|------|
| Первоначальная . . . . .               | 56,5 | 5,7 | 34,4 | 4,25 |
| 1-й фильтрат (крупная фракция) . . . . | —    | —   | —    | 4,18 |
| 4-й > (более тонкая) . . . . .         | —    | —   | —    | 3,7  |
| 9-й > (самая тонкая) . . . . .         | 36,7 | 7,2 | 52,6 | 3,5  |

Свойства дисперсии щелочного гумуса проявляют некоторое сходство со свойствами мыла<sup>2</sup> и *songo-red*. Кальциевый гумус дисперсируется гораздо труднее, чем соединения его с водородом, аммонием или с натрием.

### Коагуляция

Изучались две группы явлений коагуляции.

1. Коагуляция суспензии гумуса в воде, причем материалом служила вообще «гуминовая кислота», извлекаемая из почвы.

2. Коагуляция в самой почве, материалом которой является естественный золь в почве, необязательно тождественный с «гуминовой кислотой», извлекаемой из него.

Коагуляция суспензии гумуса изучалась Одёном: он пользовался гуминовой кислотой, извлеченной из торфа, и показал, что частицы ее в водной суспензии являются заряженными отрицательно, имеют размер около 0,020  $\mu$  в диаметре и могут коагулироваться тем же путем, как и глина, но требуют более значительных количеств электролита; особенно эффективны соли кальция. При этом не замечалось никаких явных указаний на ненормальную коагуляцию (стр. 162). Благодаря трудностям этих исследований они не были так успешны, как исследования глины для выяснения

<sup>1</sup> Первоначальный материал углеводов растений содержит около 40% углерода; гуминовое вещество почвы является гораздо больше дегидратированным и содержит его 58%.

Гуминовая кислота (фракция 9, стр. 186) более дегидратирована и содержит углерода 60—62%. Тончайший же материал дегидратирован гораздо меньше и содержит углерода 37%.

<sup>2</sup> J. W. Mc Bain. Brit. Assoc. Third Rpt on Colloid Chem., 1920, 2—31; Б. А. Рязанов, Научн. с.-х. журнал, Москва, 1927 г., 4, 607; Г. Стадников и П. Коршев, Kolloid Zeit, 1929, 47, 136.



физической конституции конечных частиц. За отсутствием очевидности противоположного и в виду общего сходства в явлениях коагуляции Хиссинк рассматривает системы гумус—вода и глина—вода как сходные и предполагает, что частица гумуса, как и частица глины, окружена двойным электрическим слоем.

Шлезинг открыл замечательный факт, что глина не коагулируется в присутствии гумуса так легко, как в отсутствии его (стр. 199). Это явление, известное как протекционное действие гумуса, было впервые полно исследовано Фиккендейем<sup>1</sup>. Эренберг<sup>2</sup> предполагает две стадии:

1. Агрегатные частицы глины пептизируются или дисперсируются гумусом.

2. Частицы глины при этом покрываются оболочкой поглощенного гумуса и ведут себя так, как будто бы они были гумусом, а не глиной, требуя для коагуляции высокой концентрации электролитов, характерной для гумуса, вместо низкой концентрации, характерной для глины.

**Буферное действие гумуса.** Гумус является наиболее могущественным агентом буферности в почве, но не все типы гумуса обладают одинаковой буферной способностью. Гессельман<sup>3</sup> признает пять различных типов:

1. Буферное вещество с высокой кислотностью и бедное основаниями; получается от таких растительных материалов, как вереск (*Calluna*), хвоя пихты.

2. Буферное вещество умеренно-кислое и умеренно-богатое основаниями; получается от большинства широколиственных деревьев.

3. Со слабой кислотностью и высокой буферностью—от *Corylus avellana*, *Stachys sylvatica*.

4. С высокой кислотностью и высокой буферностью—от дуба (*Quercus*), лиственницы (*Larix*).

5. С низким содержанием буферных веществ—от щучки (*Descampsia flexuosa*).

### Поглотительная способность (абсорбция)

Абсорбция ионов гумусом изучалась очень много. Она в большой степени, хотя и не вполне, сходна с абсорбцией глиной.

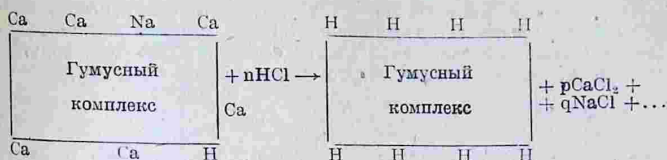
Заключается она главным образом в поглощении катионов и, по существу, является обменом оснований. Абсорбция гумусом объясняется в предположении, что гумус есть комплексная нерастворимая кислота, которая в нормальных нейтральных почвах находится в комбинации с кальцием и меньшими количествами

<sup>1</sup> Journ. f. Landw., 1906, 54, 343.

<sup>2</sup> Die Bodenkolloide, 2 Auflage, 1918.

<sup>3</sup> Meddel. fran Statens Skogsforsöksanstalt, 1926, 22, 169.

других оснований, каждое из которых, однако, может обмениваться с водородом или другими катионами:



Насколько известно, гумусный комплекс не является кристаллическим и даже не имеет вполне определенного состава; его способность, однако, удерживать катионы как на единицу веса, так и в пересчете на эквивалентный вес значительно больше, чем глины. Это показали Мак-Джордж<sup>1</sup> и Турнер<sup>2</sup>. Мак-Джордж нашел столь тесное взаимоотношение между общей обменной способностью и содержанием гумуса в исследованных им почвах, что создается впечатление, что гумус по мощности своего эффекта значительно превышает глину. На каждые 10 г углерода в почве обменная способность возрастала на 35 миллиэквивалентов (рис. 28), что составляет 240 мг-эквивалентов на 100 г гумусного коллоида. Для «гуминовой кислоты», приготовленной, как сказано на стр. 185, он получил цифру 370. Далее он показал, что общая емкость насыщения органического вещества была тесно связана с углеродом лигнина, но не с углеродом, соединенным с гемицеллюлозами или с целлюлозами.

Турнер, работая с большим количеством (56) тропических почв, имел возможность определить емкость поглощения как органического вещества, так и глины. Он принимает, что абсорбция является суммарным эффектом, т. е. что на абсорбцию гумуса мало влияет присутствие глины; общую способность насыщения он выражает следующей формулой:

$$\alpha + \beta x_1 + \gamma x_2,$$

где,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  являются константами, зависящими от почвенного типа;  $x_1$  — количество органического вещества и  $x_2$  — глины. Величина для органического вещества составляла 151 мг-эквивалентов на 100 г, тогда как для глины она была только 24, или всего около  $1/7$  от первой. Тем же методом калькуляции он получил 140 для органического вещества песчаных гумусных почв Голландии, пользуясь аналитическими данными Хиссинка. Справка на стр. 163 показывает, что величина для глины сравнима с величиной в

<sup>1</sup> W. T. Mc George, Arizona Agric. Exp. Sta, Tech. Bull. № 30, 1930.

<sup>2</sup> P. E. Turner, Journ. Agric. Sci., 1932, 22.

почве при низком отношении  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , как и можно было ожидать в тропических условиях.

Некоторые исследователи вычисляли комбинированные или эквивалентные веса для гуминовой кислоты, но так как методы и рабочие гипотезы не всегда были одинаковы, то полученные величины не вполне сравнимы. Вот некоторые из этих цифр:

|                              |                                                                   |                                                         |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Одэн                         | 300                                                               | Trans. Far. Soc. 1922, 17, 289                          |
| Хиссинк                      | 155 до 194, ср. 176                                               | Trans. Second Comm. Inter. Soc. Soil Sci., 1926, A, 198 |
| G. Thiessen и C. J. Engelder | 800                                                               | Ind. Eng. Chem., 1930, 22, 1131                         |
| W. T. Mc George              | 400                                                               | Arizona Bull. № 30, 1930                                |
| P. E. Turner                 | 600 (тропич. почвы)<br>710 (песч. голландские почвы) <sup>1</sup> | Journ. Agric. Sci., 1932                                |

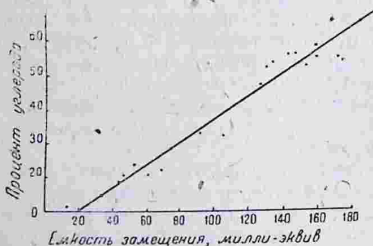


Рис. 28. Отношение между общей емкостью замещения и процентом в почве углерода (W. T. Mc George).

Цифры Одэна и Хиссинка не сравнимы с остальными; цифра Одэна дана для «гуминовой кислоты» (фракция 9, стр. 186), а не для всего гумусного комплекса. Если бы эти цифры были сравнимы, то это означало бы, что «кислота» имеет гораздо более высокую абсорбционную способность, чем остальная часть материала. Цифра Хиссинка относится к гумусному комплексу в целом и получена при изучении гумусных почв, бедных глиной, в целях избежать осложнений. Условия определения общего количества поглощаемых оснований отличаются от условий, принятых другими работниками. Турнер, применяя свой метод к данным Хиссинка, получил цифру 710, которая сравнима с его цифрой—600.

В то время, как абсолютные величины зависят от метода, относительные величины глины и гумуса от него не зависят: при

<sup>1</sup> Вычислено по анализам Хиссинка.

применении одного и того же метода коллоид гумуса оказывается в 5 или 7 раз сильнее, как поглотитель, чем коллоид глины:

|                   | Эквивалентные веса |       | Отношение |
|-------------------|--------------------|-------|-----------|
|                   | гумус              | глина |           |
| Хиссинк . . . . . | 176                | 1 225 | 1:7       |
| Турнер . . . . .  | 660                | 4 100 | 1:6,2     |

**Ассоциация глины с гумусом.** Эта высокая способность к поглощению катионов не является единственной способностью к комбинациям, проявляемой гумусом: он также легко соединяется с глиной, хотя еще неизвестно, имеется ли здесь притяжение между двумя анионами или между катионами одного и анионами другого. Явление это наблюдалось уже давно. «Глина, — писал Шлезинг в 1874 г.<sup>1</sup>, — обладает тенденцией соединяться с гуматами почвы, образуя, по всей вероятности, одну из комбинаций между коллоидами, отмеченную Грэхемом». Он пытался произвести разделение, взмучивая в растворе аммиака и затем прибавляя хлористый аммоний; но при этом осаждалась только глина, а не гумус. Однако он нашел, что количество хлорида, потребное для коагуляции глины, возрастало с количеством присутствующего гумуса и могло достигать до 20 г на 1 л суспензии.

Равновесие между гумусом и глиной или, проще сказать, количество комбинаций между ними зависит от pH и от количества обменных оснований, в особенности от кальция: оно возрастает по мере возрастания pH. Демолону и Варбье<sup>2</sup> удалось воспроизвести этот эффект при смешивании гуминовой кислоты из гниющей соломы с фракцией глины, извлеченной из гончарной глины.

### ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС

В результате соотношений, описанных выше, поглощающий комплекс не является ни гумусом ни глиной в отдельности, а комбинацией обоих, причем гумус, при равенстве веса, оказывает более сильный эффект, чем глина. При изучении отдельной почвы гораздо легче, а может быть и более полезно, рассматривать комплекс в целом, чем пытаться разделить эффекты отдельных компонентов его<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Compt. Rend., 1874, 78, 1276.

<sup>2</sup> Compt. Rend., 1929, 188, 654.

<sup>3</sup> См. А. Ф. Тюлин. Пермская с.-х. опытная станция, отд. Агрохимии, 1927, 1, 1—28.



## ПОЧВЕННАЯ АБСОРБЦИЯ

Еще неизвестно точно, приходится ли поглощение оснований почвой сполна на гуматно-цеолитный комплекс ее, но в настоящее время это обычно принимается. Более крупные фракции почвы обладают лишь небольшой поглотительной способностью, и даже в этом случае она может быть не их собственной, а принадлежащей оболочке, покрывающей комплекс. Если допустить, что абсорбция почвы является лишь суммарным свойством, то в таком случае ее можно изучать методом, уже принятым Турнером с применением его уравнения:

$$A = a + bC + cH,$$

где  $A$  — количество, поглощаемое 100 частями почвы;  $b$  — абсорбция на единицу веса глины;  $C$  — процент глины;  $c$  — поглощение на единицу веса гумуса;  $H$  — процент гумуса;  $a$  — поглощение остальной частью почвы.

При достаточном накоплении данных каждому из этих составляемых можно дать его величину. Поглощение растворимых веществ почвой включает в себе:

- 1) обмен основаниями, о котором уже говорилось;
- 2) осаждение веществ, образующих нерастворимые комбинации с некоторыми из составных частей почвы;
- 3) другие действия, обуславливающие задержание растворимых веществ или дисперсированных коллоидов.

Основания или катионы могут принять участие в любом из первых двух действий; анионы — только во втором.

Анионы —  $\text{NO}_3$ , —  $\text{Cl}$ , —  $\text{SO}_4$ , —  $\text{HCO}_3$  и —  $\text{OOC.C}_2\text{H}_5$  не поглощаются<sup>1</sup>, они легко и сполна вымываются из почвы и в полевых условиях переходят в полном количестве в дренажные воды.

**Поглощение фосфатов.** Однако иоп фосфата поглощается, и этот факт имеет громадное значение в отношениях между почвой и растением. Когда в почву вносятся растворимые фосфаты, то —  $\text{PO}_4$  осаждается, и его уже нельзя легко извлечь ни растению ни с помощью слабых кислот. Поглощающий агент может быть удален обработкой кипящей  $\text{HCl}$ , но после этого почва теряет свои свойства<sup>2</sup>.

Рассель и Прескотт<sup>3</sup> показали, что поглощение происходит при встряхивании почвы с кислым раствором фосфата и что

<sup>1</sup> Относительно возможности поглощения иона —  $\text{OH}$  было много дискуссий. Прямых доказательств поглощения, повидимому, нельзя получить. Каппен и Маттсон, оба предполагают поглощение для объяснения некоторых из своих результатов, но другие не разделяют этих взглядов.

<sup>2</sup> Van Bemmelen (1878).

<sup>3</sup> Journ. Agric. Sci., 1916, 8, 65.

окончательно устанавливающееся равновесие может быть выражено уравнением Фрейндлиха.

Из неорганических составных частей почвы фосфатный ион могут осаждать четыре: известь, магнезия, глинозем и окись железа. Разные возможности при этом изучались Т. А. Гаардером<sup>1</sup>, который подтверждает очевидные доказательства предшествующих работников и показывает, что актуальный ход реакции зависит от относительных количеств этих оснований и от величины pH почвы. В кислых условиях (pH 4—6) осаждение совершается на окисях железа и алюминия; они дают очень нерастворимые комбинации. В нейтральных условиях осаждение производится кальцием, но оно может принять две формы: одна—более или менее растворимая комбинация получается, когда кальций присутствует в сравнительно небольших количествах, и менее растворимая форма, когда он присутствует в избытке<sup>2</sup>. Однако эти неорганические вещества, повидимому, не соответствуют всему количеству поглощенного —  $\text{PO}_4$ . С. А. Rozsmann<sup>3</sup> находит, что поглощение —  $\text{PO}_4$  коллоидальной глиной в присутствии катионов кальция и натрия достигает максимума при pH 3 или 4 и падает до минимума при pH 9, но факты, которые он приводит в доказательство, не согласуются с абсорбцией какими-либо присутствующими окисями металлов. Органическое вещество почвы, повидимому, является нарушающим фактором: оно обладает способностью поглощения или комбинации с фосфатом, хотя еще неизвестно, поглощается ли при этом целая молекула фосфата или ион —  $\text{PO}_4$ , взамен чего отдается нечто другое.

**Задержание коллоидов коллоидами почвы.** Этот вопрос изучался главным образом при производстве красок, и одно время привлекал к себе большой интерес, так как он открывал метод для определения количеств коллоидального вещества почвы<sup>4</sup>. Этот вид поглощения рассматривается, однако, теперь как обмен основаниями, так как, повидимому, поглощаются только основные краски: анионы кислых красок не поглощаются<sup>5</sup>.

Другие формы поглощения коллоидов обычно также могут быть объяснены не более, как обменом оснований или осаждением; в ожидании более точных данных мы можем ограничиться описанием их как явлений задержания, не касаясь вопроса, как они происходят.

<sup>1</sup> Medd. Vestlandets Forst. Forskstat., 1930, № 14 (на немецком языке).

<sup>2</sup> Н. Christensen, Tidskr. for Planteavl (1922, 28, 53) нашел, что раствор  $\text{CO}_2$  в воде извлекает гораздо больше фосфорной кислоты из почв нейтральных, чем из кислых. Вопрос этот много изучался М. Врангель и ее коллегами; см., например, М. Врангель и В. Хаазе, Landw. Jahrbuch. 1926, 63, 707.

<sup>3</sup> Soil. Sci., 1927, 24, 465.

<sup>4</sup> Более раннюю литературу см. в обзоре J. A. Hanley, Journ. Agric. Sci., 1914, 6, 58.

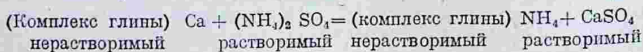
<sup>5</sup> J. A. Wilkinson and W. Hoff, Journ. Phys. Chem., 1925, 29, 808; также у J. S. Smith and P. L. Gile, Journ. Agric. Res., 1930, 41, 401.

Задержание гумуса глиной является одним из наиболее важных факторов плодородия почвы. Мы уже делали указания на влияние его на коагуляцию, структуру почвы и образование ортштейна (стр. 196, 199, 268). Другим важным следствием поглощения является задержание внесенного органического вещества, безразлично поступает ли оно с навозом или с растительностью, главным образом в поверхностных слоях почвы до тех пор, пока имеется достаточно кальция. Даже когда обильное удобрение навозом применяется ежегодно в Ротамстеде, по истечении 50 лет не наблюдается заметного обогащения подпочвы азотом (табл. 50). Очистка канализационных вод пропуском через землю является дальнейшей иллюстрацией поглощательной способности почвы для органического вещества. В английских опытах ферма орошения на хорошем сутлинке может пропускать от 30 000 до 40 000 галлонов канализационных вод на акр в день (т. е. 1,3—1,8 дюйма в день).

### Влияние искусственных удобрений на почву

Искусственные удобрения являются солями, вносимыми в почву, в целях повысить снабжение питательными веществами. Они взаимодействуют с глиной и гумусом различными путями, как уже было указано. Так как эффект их имеет большую важность для растений, приведем здесь перечень главных их влияний.

**Сульфат аммония.** Первой реакцией его в почве является, по видимому, обыкновенный обмен основаниями, с вытеснением аммонием некоторого количества реактивного кальция:



Сульфат кальция легко вымывается в дренажные воды.

Следующим изменением является нитрификация аммония, с производством нитрата кальция, который претерпевает затем следующие изменения.

1. Некоторая часть вымывается из почвы и теряется.
2. Некоторая часть берется растущими растениями; в результате этого процесса в почве оставляется некоторое количество кальция.

Таким образом, конечным эффектом сульфата аммония является превращение одного эквивалентного количества кальция в сульфат (гипс), который теряется из почвы, и второго эквивалента — в нитраты, часть которых также теряется, а часть используется. Если бы весь нитрат кальция терялся через выщелачивание, то чистая потеря  $\text{CaCO}_3$  на 100 фунтов внесенного сульфата аммония достигла бы 150 фунтов.

Таблица 50

Азот в почвах пшеничного поля Бродбока. (1893 г.).

Процент на сухую почву

|                                                     | Ежегодное применение удобрений |                        |                              |                                                          |                                                          |                                                         |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                     | Без удобрения                  | Навоз (200 фунт/акр N) | Только минеральное удобрение | Минеральн. удобр. + 200 фунтов солей аммония (43 фунт N) | Минеральн. удобр. + 400 фунтов солей аммония (86 фунт N) | Минеральн. удобр. + 60 фунт. солей аммония (123 фунт N) |
| Верхние 9 дюймов .                                  | 0,0992                         | 0,2207                 | 0,1013                       | 0,1107                                                   | 0,1222                                                   | 0,1188                                                  |
| 9 до 18 дюймов . .                                  | 0,0730                         | 0,0767                 | 0,0739                       | 0,0720                                                   | 0,0681                                                   | 0,0752                                                  |
| 18 » 27 » . . .                                     | 0,0651                         | 0,0656                 | 0,0645                       | 0,0628                                                   | 0,0583                                                   | 0,0630                                                  |
|                                                     | фунтов на акр                  |                        |                              |                                                          |                                                          |                                                         |
| Верхние 9 дюймов .                                  | 2 571                          | 5 150                  | 2 630                        | 2 870                                                    | 3 170                                                    | 3 080                                                   |
| 9 до 18 дюймов . .                                  | 1 950                          | 2 050                  | 1 970                        | 1 920                                                    | 1 820                                                    | 2 010                                                   |
| 18 » 27 » . . .                                     | 1 820                          | 1 830                  | 1 800                        | 1 750                                                    | 1 630                                                    | 1 760                                                   |
| Азот, доставленный в удобрениях за 50 лет . . . . . | 0                              | 10 000                 | нет                          | 2 150                                                    | 4 300                                                    | 6 450                                                   |

Если же из образовавшегося нитрата кальция не терялось бы ничего, но весь азот его был бы использован растениями, а весь кальций оставался в почве, то чистая потеря свелась бы к половине этого количества, т. е. к 75 фунтам.

В нормальных условиях потеря карбоната кальция совершается между этими крайностями; разные авторы определяли потери почвой  $\text{CaCO}_3$  на 100 фунтов сульфата аммония в несколько разных цифрах:

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| Худиг . . . . .                         | 100 |
| Гартвель и Дамон <sup>1</sup> . . . . . | 110 |
| Пьерр <sup>2</sup> . . . . .            | 120 |

Пока почва содержит резервы карбоната кальция, потери происходят за счет этого вещества, но не за счет обменных оснований. В результате 80-летнего опыта количество обменных оснований на делянках Бродбока, получавших каждый год по 200 фунтов сульфата аммония, приведено в таблице 51.

<sup>1</sup> Journ. Amer. Soc. Agron., 1927, 19, 843.

<sup>2</sup> Ibid., 1928, 20, 270.



Таблица 51

Обменные основания в почвах Бродбока, в процентах на сухое вещество<sup>1</sup> почвы

| Без удобрений              |        | Только сульфат аммония | Суперфосфат и сульфаты калия, магния и натрия |                   |                 |
|----------------------------|--------|------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|-----------------|
|                            |        |                        | Одни                                          | + сульфат аммония | + нитрат натрия |
| CaO . . . . .              | Дел. 3 | Дел. 10                | Дел. 5                                        | Дел. 7            | Дел. 16         |
| MgO . . . . .              | 0,380  | 0,381                  | 3,335                                         | 0,409             | 0,403           |
| K <sub>2</sub> O . . . . . | 0,015  | 0,014                  | 0,019                                         | 0,018             | 0,025           |
|                            | 0,020  | 0,014                  | 0,051                                         | 0,053             | 0,045           |

Миллиэквивалентов на 100 г сухой почвы

|                            |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CaO . . . . .              | 13,57 | 13,60 | 11,96 | 14,61 | 14,39 |
| MgO . . . . .              | 0,75  | 0,70  | 0,95  | 0,90  | 1,25  |
| K <sub>2</sub> O . . . . . | 0,42  | 0,30  | 1,08  | 1,12  | 0,95  |

Однако в отсутствии карбоната кальция заменяемый кальций уходит из почвы. В Вобэрне эффект внесения сульфата аммония, в дозе 200 фунт/акр в течение 30 лет и по 100 фунт/акр в следующие 20 лет, на делянках ячменя показан в следующих цифрах:

Количество обменного кальция, выраженное в CaO в % на сухое вещество почвы

| Без удобрений | Только сульфат аммония | Только нитрат натрия | Суперфосфат и сульфат калия |                   |                 |
|---------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|
|               |                        |                      | Одни                        | + сульфат аммония | + нитрат натрия |
| 0,109         | 0,032                  | 0,139                | 0,139                       | 0,044             | 0,153           |
| pH 5,4        | pH 4,4                 | pH 5,8               | pH 5,8                      | pH 4,6            | pH 6,1          |

В результате, после серьезных потерь обменного кальция, комплекс глины становится не только кислым, но и нестойким, так что приобретает тенденцию терять окиси железа и алюминия, которые в дальнейшем вступают во взаимодействие с сульфатной частью сульфата аммония, образуя воднорастворимые соли, вред-

<sup>1</sup> Н. J. Page and W. Williams, Trans. Faraday Soc. 1925, 20, 573.

ные для растений. Факт этот был установлен Уилером в Род-Ай-ланде в 1891 г.; совершенно независимо, но несколько поздней, кислотность была выявлена Фелькером в Вобэрне, где на постоянных делянках эффект этот проявляется непрерывно.

Суперфосфат. Из всех искусственных удобрений суперфосфат применяется фермерами в наибольших количествах; он готовится действием серной кислоты на минеральный фосфат кальция (фосфориты) и, таким образом, содержит гипс, в количестве около половины своего веса; остальная часть состоит из растворимого монофосфата кальция, фосфорной кислоты и воды. Как только суперфосфат попадает в почву, он становится нерастворимым. При этом могут встретиться два рода действий:

а) если в почве имеется карбонат кальция, то растворимый монофосфат кальция превращается в нерастворимые фосфаты кальция, как, например, дифосфат кальция. Эта новая комбинация является вполне эффективной для усиления роста растений;

б) комбинация, образуемая при отсутствии карбоната кальция, является, повидимому, менее эффективной. Предполагается, что фосфат в этом случае реагирует с соединениями железа и алюминия и, таким образом, становится нерастворимым и неусвояемым. Никаких точных критических исследований в этом направлении еще не было сделано, но Фрапс<sup>1</sup> нашел некоторую степень зависимости между количеством фосфорной кислоты, поглощаемой почвой, и содержанием в почвах окисей железа и алюминия; однако же корреляции с содержанием кальция найдено не было. Суперфосфат иногда, хотя и неправильно, рассматривается как кислое удобрение, но ни в Ротамстеде ни в Вобэрне он не оказывал заметного эффекта на pH или на содержание обменного кальция в почве<sup>2</sup>.

Из таблицы 52 видно, что сульфат кальция (гипс) не повышал усвояемости калия; он не способствовал также увеличению количества калия в урожае. Бриттс и Бризиль получили такие же результаты на калифорнийских почвах<sup>3</sup>.

Сернокислый калий. Повышает количество замещаемого калия, повидимому, за счет кальция или магния. Имеют место и некоторые другие действия, так как указанное повышение меньше количества, внесенного и удержанного почвой: часть калия переходит в какие-то другие формы, нерастворимые, но не обменные.

Как в Ротамстеде, так и в Вобэрне сульфат калия не оказал влияния на реакцию верхнего слоя почвы, хотя и повысил кислотность подпочвы на кислых делянках (Краудер, 1925), возможно

<sup>1</sup> G. S. Fraps, Texas Agric. Exp. Sta., Bull. № 304, 1922.

<sup>2</sup> E. M. Crowther, Journ. Agric., Sci., 1915, 15, 222; Crowther and Basu, *ibid.*, 1931, 21, 689.

<sup>3</sup> Journ. Agric. Res., 1917, 8, 21.

благодаря вымыванию дождем кислоты, освобождавшейся при обмене основаниями. Влияние на количество обменных оснований было показано анализами Пейджа и Вильямса на почве Бродбока; результаты в миллиэквивалентах на 100 г почвы приведены в таблице 53.

**Сульфат натрия.** На пшеничном поле Бродбока действие сульфата натрия довольно сильно отличается от действия сульфата калия. Он не вызывает никакого уменьшения в количестве замещаемого кальция или калия, а напротив того дает повышение кальция. Таким образом, натрий, повидимому, не замещал кальция или калия, хотя иногда это, конечно, и случалось, так как урожаями было взято больше калия. Пшеница Бродбока, получавшая сернокислый натрий, но без сульфата калия, содержит больше калия, чем пшеница на соседней делянке, не получавшей сульфата натрия (табл. 52).

**Сульфат магния** — оказывал тот же самый эффект. Из таблицы 52 видно, что за 20-летний период (1852—1871) сульфат натрия способствовал растению взять добавочные 263 фунта  $K_2O$ , тогда как сульфат магния доставил ему лишних 320 фунтов сверх того, что взял урожай на делянке № 11. С другой стороны, гипс не оказал никакого эффекта.

**Нитрат натрия.** Действие этого удобрения особенно детально изучалось А. Д. Холлом в виду технической важности этого удобрения. При внесении в количествах от 5 до 10 англ. центнеров\* на акр (количество, которое нельзя считать необычным при огородных культурах или при раннем картофеле) натриевая селитра способна испортить структуру тяжелых почв: предполагается, что она способствует образованию натриевой глины, которая декоагулируется, гораздо легче, чем кальциевая глина. Явное доказательство этого видно на поле Барнфильд в Ротамстеде, засеваемом каждый год кормовой свеклой; почва обнаруживает здесь типичные признаки декоагуляции, делаясь вязкой в сырую погоду и затвердевая в сухую. С другой стороны, на пшеничном поле Бродбока не было заметно никакого видимого эффекта; не был вытеснен ни кальций, ни калий и не было заметно влияния на структуру. Дисперсия глины и вымывание ее в подпочву если и случались, то только в размерах примерно до 5% общего количества.

Дальнейшее действие натриевой селитры выражается в том, что она сохраняет запас обменного кальция и, уменьшая чистые потери карбоната кальция, предохраняет, таким образом, почву от закисления (стр. 204).

<sup>1</sup> Trans. Chem. Soc., 1904, 85, 964—971.

\* 1 cwt—англ. центнер (Hundredweight) =  $\frac{1}{20}$  англ. тонны = 50,7 кг.  
10 cwt /акр = 1254 кг/га. Прим. перевод.

Таблица 52

Влияние сульфатов натрия и магния на повышение снабжения растений калием.

Лооз и Гильберт (1884)

|                                                                                            | Только соли<br>аммония | Соли аммо-<br>ния + супер-<br>фосфат | Соли аммо-<br>ния + супер-<br>фосфат + суль-<br>фат натрия | Соли аммо-<br>ния + супер-<br>фосфат + суль-<br>фат магния | Соли аммо-<br>ния + супер-<br>фосфат + суль-<br>фат натрия | Соли аммо-<br>ния + супер-<br>фосфат + суль-<br>фат натрия, ма-<br>гния и на-<br>трия |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1852—1861 гг.                                                                              | Дел. 10                | Дел. 11                              | Дел. 12                                                    | Дел. 14                                                    | Дел. 13                                                    | Дел. 7                                                                                |
| K <sub>2</sub> O в золе соломы<br>(в %) . . . . .                                          | 18,8                   | 14,8                                 | 20,0                                                       | 22,0                                                       | 24,1                                                       | 23,7                                                                                  |
| K <sub>2</sub> O в золе зерна<br>(в %) . . . . .                                           | 33,9                   | 31,7                                 | 32,8                                                       | 32,6                                                       | 32,9                                                       | 32,9                                                                                  |
| Вес K <sub>2</sub> O в 10 полных<br>урожаих (в фунт.) <sup>1</sup>                         | 300                    | 309                                  | 453                                                        | 498                                                        | 532                                                        | 560                                                                                   |
| 1862—1871 гг.                                                                              |                        |                                      |                                                            |                                                            |                                                            |                                                                                       |
| K <sub>2</sub> O в золе соломы<br>(в %) . . . . .                                          | 14,5                   | 14,1                                 | 17,2                                                       | 18,5                                                       | 25,0                                                       | 24,6                                                                                  |
| K <sub>2</sub> O в золе зерна<br>(в %) . . . . .                                           | 34,1                   | 32,1                                 | 33,3                                                       | 33,1                                                       | 33,5                                                       | 33,4                                                                                  |
| Вес K <sub>2</sub> O в 10 полных<br>урожаих (в фунт.) <sup>1</sup>                         | 240                    | 260                                  | 378                                                        | 391                                                        | 552                                                        | 530                                                                                   |
| Общее количество<br>K <sub>2</sub> O, взятое уро-<br>жаками в течение<br>20 лет (в фунтах) | 540                    | 569                                  | 832                                                        | 889                                                        | 1084                                                       | 1090                                                                                  |

Таблица 53

Обменные основания в почве Бродбока.  
Миллиэквиваленты на 100 г сухой почвы

|                            | Без<br>удобрения | Сульфат<br>аммония<br>и суперфосфат | Сульфат ам-<br>мония, супер-<br>фосфат и суль-<br>фат натрия | Сульфат аммо-<br>ния, суперфос-<br>фат и сульфат<br>натрия |
|----------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| CaO . . . . .              | 13,57            | 15,32                               | 14,89                                                        | 16,29                                                      |
| MgO . . . . .              | 0,75             | 0,70                                | 0,50                                                         | 0,70                                                       |
| K <sub>2</sub> O . . . . . | 0,42             | 0,32                                | 0,89                                                         | 0,32                                                       |

<sup>1</sup> Около 1/4—в зерне и остальное—в соломе.



*Итоговая сводка*  
*Изменения в реакции почвы, вызываемые длительным применением*  
*искусственных удобрений*

| Повышают кислотность                                            | Страница | Понижают кислотность                                                | Страница |
|-----------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|----------|
| Сульфат аммония . . . . .                                       | 204      | Нитрат натрия . . . . .                                             | 206      |
| Протеины (кровь, копытная му-<br>ка и т. д.) . . . . .          | —        | Томасов шлак, костяная мука                                         | —        |
| Зеленое удобрение <sup>1</sup> бобовыми<br>культурами . . . . . | —        | Суперфосфат . . . . .                                               | 205      |
|                                                                 |          | Калийные соли . . . . .                                             | 205      |
|                                                                 |          | Зеленое удобрение <sup>1</sup> небобовы-<br>ми культурами . . . . . | —        |

Окись кальция и углекислый кальций. Эффект этих веществ в нейтрализации почвенной кислотности и насыщении комплексов глины и гумуса кальцием был уже рассмотрен выше (стр. 181). Как окись, так и карбонат имеют в общем одинаковое действие на почву, за исключением того, что окись при применении в больших количествах оказывает частично стерилизующее действие (стр. 384) и растворяет некоторое количество гумуса. Она, однако, недолго остается в почве в таком состоянии: часть ее сразу вступает в реакцию с почвенными кислотами и переходит в обменный кальций, тогда как остальная медленно, но сполна превращается в карбонат; часть последнего переходит в раствор в виде бикарбоната. Результаты превращений внесенной извести видны из анализов Хиссинка (табл. 54).

При этом имеют место и некоторые другие явления. Кальций коагулирует глину, приводя ее в состояние лучшей физической структуры. Он предохраняет как калий, так и магний от потерь через выщелачивание, как показали обширные лизиметрические опыты в Ноксвилле, в Тенесси<sup>2</sup>. Однако он не освобождает калия в почве из нерастворимых соединений его, как это предполагали прежние химики<sup>3</sup>. Он стимулирует деятельность бактерий в почве и облегчает разложение органического вещества; в этом отношении разница в эффективности между окисью и карбонатом, если они применяются в умеренных количествах, повидимому, очень не-

<sup>1</sup> P. S. Burgess, Rhode Island. Agric. Exp. Sta., Bull. № 189, 1922 г. Разница приписывается более сильному производству нитратов в почве, а отсюда и более сильному потреблению оснований бобовыми культурами на зеленое удобрение.

<sup>2</sup> W. H. McIntyre, W. M. Shaw and J. B. Joung, Soil Sci., 1923, 16, 217; подтверждается также у J. Hendrick, Trans. Highland and Agric. Soc. of Scotland, 1930, 42, 11—27 и G. O. C. Magistad, Soil Sci., 1930, 30, 243, который показывает, что известковые почвы имеют более низкий темп выщелачивания калия, чем почвы неизвестковые.

<sup>3</sup> Литературу по этому вопросу см. O. H. Sears, Soil Sci., 1930, 30, 325.

лика: испытание в многолетних опытах на делянках в Пенсильвании<sup>1</sup> не показало никакой особенно заметной разницы в содержании органического вещества в почве в зависимости от того, применялась ли окись кальция или карбонат. Эффект на растворимость фосфорной кислоты варьирует: в некоторых случаях, обычно на кислых почвах (стр. 200, 212), отмечается повышение, в других случаях не замечается.

Все эти разнообразные реакции кальция оказывают весьма большое влияние на растительность; как известно, так и известняк применяются как удобрение с очень древних времен<sup>2</sup>.

Таблица 54

Результаты превращений извести, внесенной в почвы с разной реакцией  
Хиссинк

|                                                                   | Почва не нейтрализованная |     |     |     | Почва нейтрализованная |     |     |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|                                                                   | Почвы №                   |     |     |     | Почвы №                |     |     |
|                                                                   | VII                       | IV  | V   | VI  | III                    | I   | II  |
| pH почвы: неизвесткованной . . . . .                              | 4,6                       | 4,8 | 5,2 | 6,1 | 6,3                    | 7,6 | 8,0 |
| pH " известкованной . . . . .                                     | 5,5                       | 6,8 | 5,9 | 6,6 | 7,2                    | 7,8 | 8,0 |
| % внесенной извести, удержанной в качестве осменной СаО . . . . . | 88                        | 100 | 95  | 50  | 28                     | 12  | 2   |
| Осталось как СаСО <sub>3</sub> . . . . .                          | 12                        | —   | 5   | 50  | 72                     | 88  | 98  |

### Питательные вещества растений в почве

Азотистые соединения в почве происходят главным образом от протеина, который, в свою очередь, происходит от остатков растений или почвенных организмов. Азотистые соединения почвы распадаются на две группы: неорганические, главным образом аммиак

<sup>1</sup> J. W. White and F. J. Holben, Soil Sci., 1924, 18, 201.

<sup>2</sup> Плиний, с видимым одобрением, описывает методы применения бейлами мела, и его описание почти точно совпадает с традиционными методами, которые сохранялись до последнего времени в некоторых районах Англии (Home Counties). См. C. Plinii Secundi, Naturalis Historiae, Lib. 17, Cap. 6; см. также E. J. Russell Journ. Bd. Agric., 1916, 23, 625.

и нитраты, которые вместе представляют собой, однако, лишь небольшую часть всего азота, и органические, представляющие собой комплекс нерастворимых соединений, неизвестной, но, повидимому, протеинообразной конституции. Органические соединения в свою очередь разделяются на следующие группы.

1. Материал, происхождение которого относится к древним временам отложения почвы и который, хотя первоначально и был протеинового происхождения, подвергся значительным изменениям, сделавшись чрезвычайно стойким и инертным в отношении химических и биологических воздействий.

2. Протеинообразные соединения новейшего происхождения, встречающиеся в форме очень стойких комплексных комбинаций с гумусом.

3. Протеин растительных клеток и микроорганизмов, который легко может разлагаться микроорганизмами, но еще не подвергся разложению.

Общее количество азота в пахотных почвах составляет обычно около 0,15%; в пастбищных почвах около 0,3%; более высокие количества находятся в известковых почвах и еще более высокие—в фенах, болотистых почвах и черных луговых почвах. Около половины азота в пахотных почвах содержится в соединениях, растворимых в щелочах, и небольшая пропорция—в нестойких соединениях, легко распадающихся до аммиака. Около 0,0002% (т. е. 2 части на 1 000 000), а иногда и более<sup>1</sup> присутствует в пахотных почвах, не богатых органическим веществом, в виде свободного или комбинированного аммиака приблизительно в 10 раз более—в пастбищных почвах или в сильно унавоживаемых пахотных почвах; гораздо большее количество встречается иногда в почвах, искусственно нагреваемых, но при этом замечается ненормальный эффект на рост растений<sup>2</sup>.

Количество присутствующего нитратного азота варьирует весьма значительно; богатые огородные почвы могут содержать 60 или более частей на 1 000 000 (0,006%), пахотные почвы от 2 до 20 частей (0,0002 до 0,002%), пастбищные почвы скорее меньше, а лесные почвы еще меньше<sup>3</sup>. Колебания очень значительны; растения и дожди быстро уносят нитраты, а действие бактерий быстро образует их. Производящие факторы очень активны весной, и действие их продолжается в течение всего лета и осени, тогда как удаляющие агенты бывают активны, в особенности летом и

<sup>1</sup> G. Andié (Compt. Rend., 1903, 136, 820) получил более высокие результаты ранней весной, что он приписывал прекращению нитрификации, но не аммонификации, в течение зимы.

<sup>2</sup> См. E. J. Russell and Petherbrige, Journ. Agric. Sci., 1913, 5, 248.

<sup>3</sup> Указывалось иногда, что лесные почвы совсем не содержат нитратов и не пригодны для нитрификации, но Вейс (Centr. Bakt. Abt. II, 1910, 28, 434) показал, что это неправильно.

Таблица 55

Общий и растворимый азот в различных почвах

|                                                           | Старая пахотная земля <sup>1</sup> в Ротамстедте |                                   |                                 | Старая луговая <sup>2</sup> почва в Ротамстедте |                                   | Прерия в Мачитобе |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|                                                           | Без удобрения с 1833 г.                          | Искусственное удобрение с 1833 г. | Натуральное удобрение с 1833 г. | Без удобрения с 1833 г.                         | Искусственное удобрение с 1833 г. |                   |
| Общий азот (в %) . . . . .                                | 0,0966                                           | 0,115                             | 0,217                           | 0,260                                           | 0,230                             | 0,618             |
| Растворимый N (в %) . . . . .                             | 0,050                                            | 0,032                             | 0,114                           | 0,173                                           | 0,149                             | 0,230             |
| Отношение растворимого к общему, если общий=1,0 . . . . . | 51,8                                             | 53,8                              | 52,5                            | 66,3                                            | 65,0                              | 37,2              |

зимой. Таким образом, количество нитратов, актуально присутствующих в пахотной почве, занятой растениями, бывает обычно

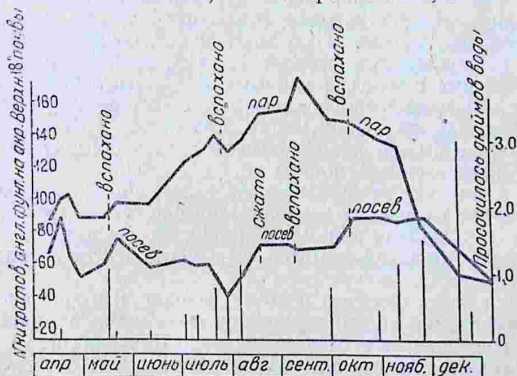


Рис. 29. Количество нитратов в засейной и паровой почве в разные времена года. Поле Бродброк, Ротамстед (1915 г.).

наиболее высоким весной, падает летом, часто несколько поднимается осенью и снова падает зимой, и, как показано на рисунке

<sup>1</sup> Это была старая пахотная земля еще в 1621 г.

<sup>2</sup> Луговая почва в течение очень многих лет.



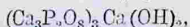
29 (см. также стр. 377)<sup>1</sup> на парующей земле накопление является непрерывным, но оно может быть менее быстрым летом, чем весной.

В южной Африке<sup>2</sup> и Австралии<sup>3</sup> колебания носят подобный же характер, но, как можно было ожидать, заметное повышение происходит от октября до декабря. Прескотт показывает, что уровень накопления в течение весны и лета составляет около 20 частей нитратного азота на 1 000 000 частей почвы, что очень близко к английским цифрам. Главным фактором, определяющим темп накопления, является снабжение почвы влагой.

В нормальных условиях нитраты и аммиак вместе редко составляют больше чем 1% всего почвенного азота.

### Соединения фосфора в почве

При условиях нейтральных или близких к нейтральным значительное количество неорганического фосфора комбинируется с кальцием, и Бассет<sup>4</sup> показал, что при нейтральных условиях он, по всей вероятности, находится в форме гидроксипатита:



который является твердой фазой, устойчивой в пределах от слегка кислых до щелочных условий; любой фосфат, как, например, суперфосфат или томазов шлак, внесенный в почву в качестве удобрения, должен иметь тенденцию к превращению в это соединение.

Соединения с железом и алюминием, образующиеся в кислых условиях, изучались не особенно много. Интересный минерал вишняк, фосфат железа, имеющий белый цвет в свежем найденном состоянии, но быстро приобретающий синюю окраску на воздухе, нередко встречается в мокрых слоях торфяных почв. Внесение извести в кислую почву повышает растворимость фосфатов. Вообще получило всеобщее признание мнение, что известь разлагает фосфаты как железа, так и алюминия, превращая их в фосфат кальция, но Аскинази и Ярусов<sup>5</sup> не могли найти очевидных доказательств этого.

Однако часть фосфора в почве находится в органических соединениях, будучи ассимилированной растениями и микроорганизмами и вошедшей в состав их тканей. Шолленбергер<sup>6</sup> нашел в изучавшихся им почвах около 1/3 фосфора в этих формах. Относительно этих органических комбинаций в почвах известно еще мало, но имеются очевидные факты, что по крайней мере часть их

<sup>1</sup> Американские данные см. у R. Stewart and J. E. Greaves, *Centr. Bakt.*, Abt. II, A, 1912, 31, 115.

<sup>2</sup> T. D. Hall, *Soil Sci.*, 1921, 12, 301.

<sup>3</sup> J. A. Prescott and G. R. Piper, *Journ. Agr. Sci.* 1930, 20, 517—531.

<sup>4</sup> *Trans. Chem. Soc.*, 1917, 111, 620—642.

<sup>5</sup> Труды НИУ, Москва, № 57, 1928 г.

<sup>6</sup> *Soil Sci.*, 1918, 6, 365 и 1920, 10, 127.

легко распадается, доставляя неорганические фосфаты. Третья часть фосфора присутствует в устойчивых соединениях древнего происхождения, отложившихся вместе с самой почвой, и если и изменяющихся, то весьма медленно.

### Соединения кальция, магния, натрия и калия в почве

Из этих соединений наиболее важными являются соединения кальция, обычно присутствующие в наибольшем количестве. Они распадаются на следующие пять групп.

1. Карбонат кальция. Он является, пожалуй, наиболее важным из отдельных веществ в почве; функции его были рассмотрены на стр. 208 и след.

2. Простые соли:

а) Нитрат кальция, обыкновенно присутствующий только в очень небольших размерах (в британских почвах количество его — порядка 0,01%), но чрезвычайно важный, как главный источник азота для растительности.

б) Фосфат кальция (стр. 212).

в) Сульфат кальция.

Количества как фосфата кальция, так и сульфата кальция невелики и при анализе обыкновенно включаются в группу 3-ю и 4-ю.

3. «Обменный» кальций, т. е. в комбинации с гуминовой кислотой и кислотами глины; он постоянно и легко замещается другими основаниями по реакциям простого двойного разложения с растворами солей (стр. 166).

4. Кальций «кислотно-растворимый», в комбинации с силикатами, который легко разлагается кипящей HCl, однако еще недостаточно реактивен, чтобы подвергаться моментальному двойному разложению с растворами солей. Эти соединения составляют часть силиката «А» Ван Беммелена (стр. 145).

5. Стойкие нерастворимые силикаты кальция, обычно игнорируемые при почвенных исследованиях.

Шори, Фрай и Хазен<sup>1</sup> нашли в американских почвах следующие минералы.

Часто встречающиеся:

Роговая обманка, главным образом  $\text{Ca}(\text{Mg Fe})_2 \text{Si}_4\text{O}_{12}$  с  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$  и  $(\text{Mg Fe})_2 (\text{Al Fe})_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$ .

Плагиоклаз, изоморфная смесь  $\text{CaAl}_2 \text{Si}_2\text{O}_8$  и  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ .

Эпидот,  $\text{Ca}_2\text{H}(\text{Al Fe})_3 \text{Si}_3\text{O}_{13}$ .

Встречающиеся иногда:

Кальцит,  $\text{CaCO}_3$ .

Титанит,  $\text{CaTiSiO}_5$ .

Гарнет,  $(\text{Ca, Mg, Fe, Mn})_3 (\text{Al, Fe, Cr, Ti})_2 (\text{SiO}_4)_3$ .

<sup>1</sup> Journ. Agric. Res., 1917, 8, 57—77.

Редко встречающиеся:

Доломит,  $(Ca, Mg) CO_3$ .

Авгит,  $CaMgSi_2O_6$  с  $(Mg, Fe) (Al, Fe)_2 SiO_6$ .

Гипс,  $CaSO_4 + 2H_2O$ .

Две почвы, имеющие одинаковые количества  $CaO$ , иногда значительно различаются по своему содержанию различных кальциевых компонентов (табл. 56).

Соединения кальция в почве.

Shorey, Fry, Hazen<sup>1</sup>

Таблица 56

| № почвы | Общая<br>$CaO$ | $CaCO_3$ | СаО в формах:                 |                                |                                      |
|---------|----------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
|         |                |          | Силикаты, легко<br>разложимые | Силикаты, трудно<br>разложимые | Комбинации<br>с гумусом <sup>2</sup> |
| 58      | 5,37           | 2,50     | 0,54                          | 2,33                           | Нет                                  |
| 61      | 4,64           | 0,06     | 0,11                          | 4,34                           | 0,13                                 |
| 24      | 1,98           | 0,12     | 0,02                          | 1,84                           | Нет                                  |
| 36      | 1,92           | 0,49     | 0,34                          | 0,98                           | 0,11                                 |

Соединения магния стоят вообще на втором месте после кальция; они находятся в каждой из трех групп: «обменной», «кислотнорастворимой» и «стойкой нерастворимой»; в некоторых почвах карбонаты присутствуют в значительных количествах, и местами, как, например, в вельдских глинах, встречаются порядочные количества сульфата. Считается, что почвы, содержащие магния гораздо больше, чем кальция, обнаруживают некоторые своеобразные особенности в своей растительности (стр. 94).

Соединения калия и натрия также встречаются как «обменные», «кислотнорастворимые» и «стойкие нерастворимые»; пропорция их в голландских глинах приведена в таблице 39. Существует очень важная разница между калием и натрием в том, что первый задерживается почвой легче второго.

В засушливых условиях сульфаты, хлориды и карбонаты натрия, калия и магния могут встречаться в количестве, достаточном для нанесения вреда растительности. Такие почвы описываются, как «почвы засоленные» (стр. 233). Во влажных условиях эти соли вымываются дождевой водой; в Британии не известно явных случаев того, чтобы они где-нибудь накапливались от зато-

<sup>1</sup> Journ. Agric. Res., 1917, 8, 57—77.

<sup>2</sup> Хиссинк не принимает метода, которым были получены эти цифры для «комбинаций с гумусом» (Int. Mitt. Bodenkunde, 1912, 12, 87).

пления морской водой (стр. 265). Однако возможно, что некоторые из ненормальных глин, как, например, глины Вельдена и Нижнего Лиаса, могут содержать вредные количества этих солей.

Главными калийными соединениями в почве являются силикаты. Но их эффект на рост растений значительно усиливается, когда они встречаются в более тонких, чем в более крупных частях почвы. Дюмон<sup>1</sup> отмечает две почвы с приблизительно одинаковым содержанием калия, одну из La Creuse, отзывчивую на калийные удобрения, и другую из Гриньона, не отзывчивую: в первой—калий находится главным образом в грубом материале, а в последней—главным образом в тонком (табл. 57).

Таблица 57

Распределение калия в частицах почвы.

По Дюмону

|               | % K <sub>2</sub> O в почве | Отзывчивость на калийные удобрения | % глины | % K <sub>2</sub> O в глине | Процентное распределение калия в почве |              |       |
|---------------|----------------------------|------------------------------------|---------|----------------------------|----------------------------------------|--------------|-------|
|               |                            |                                    |         |                            | Крупный песок                          | Мелкий песок | Глина |
| Гриньон . . . | 0,85                       | Отсутств.                          | 16,8    | 0,94                       | 16,6                                   | 65,8         | 17,7  |
| Ла Крез . . . | 0,89                       | Хорошая                            | 4,5     | 0,51                       | 70,9                                   | 26,4         | 2,7   |

### Растворимые соединения железа, алюминия и марганца

Пока реакция почвы остается около нейтральной, соединения этих металлов, присутствующие в почве, практически нерастворимы и, повидимому, не оказывают влияния на рост растений. Но когда кислотность или щелочность возрастает за известные пределы, они переходят в раствор и могут наносить растениям значительный вред (стр. 103 и след.). Пределы, в которых они остаются нерастворимыми, представляются, повидимому, следующими<sup>2</sup>.

|                                   |                                          |
|-----------------------------------|------------------------------------------|
| Для алюминия около pH 4,2 до 10,2 | } минимальная растворимость около pH 6,3 |
| » железа » pH 5,5 » 9,0           |                                          |
| » марганца » pH 7,0 » 9,0         |                                          |

<sup>1</sup> Compt. Rend., 1904, 138, 215—217.

<sup>2</sup> H. T. S. Britton, Journ. Chem. Soc., 1925, 127, 2110; 1926, стр. 125. 1927, стр. 422.



В качестве иллюстрации приводим следующие количества алюминия в почвенных растворах естественных почв, найденные Магистадом<sup>1</sup>.

|                                          |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| pH . . . . .                             | 4,87 | 5,14 | 5,30 | 5,50 | 6,90 | 9,01 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 1,2  | 2,0  | 0,7  | 0,3  | 0,7  | 31,0 |

(частей на миллион раствора)

Оксид железа находится в почвах всех районов и может встречаться или в красном или в желтом состоянии. Желтая форма, лимонит, обычна в холодных влажных районах, где она является наиболее легко растворимой из всех железных минералов. Красная форма обычна во влажных тропических и субтропических условиях; действительно, она рассматривается, как существенный продукт этих условий, но это не вполне верно: красные почвы встречаются также и в условиях холодного влажного климата северных стран, а желтые встречаются и в теплых условиях. Виленский<sup>2</sup> предполагает, что желтая форма является более ранней стадией выветривания, которая впоследствии переходит в красную. Однако большое влияние оказывает и материнская порода: желтая форма более обычна в почвах из осадочных горных пород, а красная — в почвах из кристаллических пород, в особенности из гранита.

Трудность определения окиси алюминия отдельно от легко разлагаемых силикатов сильно задерживала исследования распределения ее в почве; возможно, что методы Тамма, Маттсона или Харди<sup>3</sup> окажутся пригодными, чтобы преодолеть эти затруднения. Марбут считает, что окись алюминия не образуется, как таковая, за исключением условий, когда температура достаточно высока: в США Южная Каролина представляет самые холодные условия, в которых окись алюминия может возникнуть в значительных количествах.

Но даже в тропических почвах Харди нашел только небольшие количества свободной окиси алюминия, обычно меньше, чем 5%; только в бокситовых глинах количество ее превышает 12%. Глинистые фракции содержат даже меньше, чем остальная часть почвы, что наводит на мысль, что окись алюминия имеет тенденцию выделяться в конкреции размером пыли или более крупных частиц.

Только очень небольшая часть железа находилась в форме свободных окисей. Но последние в отличие от окисей алюминия имеют тенденцию концентрироваться в глине.

Марганец, повидимому, присутствует в почве в форме двуокиси или гидратированной окиси Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O; марганец, повидимому, имеет значение для некоторых каталитических изменений,

<sup>1</sup> Soil Sci., 1925, 20, 181; см. также R. H. Carr and P. H. Brewer, Journ. Ind. Eng. Chem., 1923, 15, 634.

<sup>2</sup> Soil Research, 1928, 1, 108.

<sup>3</sup> Tamm (метод с оксалатом аммония), Meddel. fran. Statens Skogsforskn. 1922, 19, 385; Mattson (горячий насыщенный хлористый алюминий), Proc. First Int. Congress Soil Sci., 1927, 2, 199; F. Hardy (ализарин) Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 150.

происходящих в почве, как, например, для быстрого разложения перекиси водорода<sup>1</sup> и разложения фенола<sup>2</sup>. Он нарушает процессы при работе с хингидронным электродом при определениях рН (стр. 178).

### Структура почвы.

Компоненты почвы не образуют простой случайной смеси. Они тесно соединяются в комочки, которые придают почве структуру, доходящую иногда до состояния рыхлых физических комбинаций. Цементирующим материалом являются коллоидальная глина и органическое вещество, и в зависимости от наличного количества возможны три различные группы.

1. Главным образом рыхлая и раздельная структура, когда имеется недостаточно цементирующих коллоидов для связывания частиц. Этот тип структуры называется немецкими работниками «*einzelkörnig*» (русское—«раздельно-зернистая». В. К.).

2. Комочки, где имеется достаточно коллоидов для связывания, но не более того. Каждый индивидуальный комочек содержит все составные части почвы и, выражаясь языком XVIII века, может рассматриваться как «совершенный микрокосм» почвы.

Эти комочки могут далее комбинироваться, образуя форму «орехов», которые сопротивляются слабому давлению, но без труда распадаются при легком постукивании пальцами.

3. Комья, когда связь значительно крепче, так что частицы соединяются в глыбы, в сухом состоянии разбиваются только с трудом и при этом не распадаются на комочки, а когда находятся во влажном состоянии, то образуют вязкую массу.

Структурой, наиболее подходящей для роста растений, является мелкокомковатая структура, и практиками-полеводами и садоводами эмпирически вырабатывались многочисленные способы для превращения в эту форму других форм структуры. Для достижения мелкокомковатой структуры требуется, чтобы коллоидальный материал присутствовал не только в достаточном количестве, но и в состоянии, способном к коагуляции. Комочек остается стабильным лишь до тех пор, пока глина остается коагулированной; когда же глина декоагулируется, комочек утрачивает стабильность и может распасться. Из разных видов глины наиболее прочные комочки образует кальциевая глина<sup>3</sup>, в особенности в присутствии неболь-

<sup>1</sup> W. O. Robinson, Soil Sci., 1929, 27, 335.

<sup>2</sup> N. N. Sen Gupta, Journ. Agric. Sci., 1921, 11, 136 и 1925, 15, 497.

<sup>3</sup> P. E. Turner (Journ. Agric. Sci., 1932) исследовал большое количество вест-индских почв и нашел следующие зависимости:

|                                       | Процент | всасыщенности |
|---------------------------------------|---------|---------------|
|                                       | Пределы | Среднее       |
| Хорошая связная структура . . . . .   | 12—28   | 21            |
| Менее хорошая . . . . .               | 30—35   | 32            |
| Плохое физическое состояние . . . . . | 38      | —             |
| Натрий отсутствовал в этих почвах.    |         |               |

ного количества электролита; однако, если комочки основательно выщелоченные, так что электролиты удалены, то они могут распадаться. Почва в таком случае приобретает ряд иных физических и вегетационных свойств, хотя химический состав ее остается нарушенным.

Гладкая блестящая («глазированная») поверхность, образующаяся на тяжелых почвах по высыхании после сильных дождей, происходит от распада комочков, вызываемого в первую очередь удалением электролитов, а затем от механических ударов дождевых капель по декоагулированным комочкам, утратившим свою стабильность.

Восстановление комочков является делом не очень простым, так как процессы эти хотя и близки к обратимым, но не вполне: физические свойства почвы при данном содержании влажности несколько различаются в зависимости от того, происходит ли в них высыхание или увлажнение (стр. 405). Однако восстановление достигается при концентрации остающихся электролитов таким образом, чтобы они коагулировали глину; это осуществляется при предоставлении почве высохнуть или замерзнуть, когда чистая вода замерзает первой, оставляя после себя более концентрированный раствор; при последующем смачивании или оттаивании комочки образуются вновь. Так как эти процессы не вполне обратимы, то иногда необходимо повторить высушивание и смачивание, или замораживание и оттаивание для завершения образования комочков. Производились опыты в целях испытать эффект других жидкостей, кроме воды, как агентов увлажнения. Органические жидкости, содержащие полярные группы, как, например, алкоголь или анилин, также способствуют образованию комочков, но жидкости, не содержащие полярных групп, как, например, бензин, оказывают обратное действие: глина распадается в порошок<sup>1</sup>.

Замечается некоторая разница в окончательных комочках в зависимости от того, подвергалась ли почва высушиванию или замораживанию. Высушивание имеет тенденцию давать крупные твердые комья, но они могут быть уменьшены в размерах повторным высушиванием и увлажнением. С другой стороны, замораживание сразу дает более мелкие комочки, более определенной формы. Глина подвержена синерезису<sup>2</sup> вокруг определенных центров; вода отделяется и после замораживания разъединяет эти отдельные части. Поэтому замерзшая масса имеет трещины и окважины, наполненные льдом. Когда она оттаивает, то отдельные части остаются в качестве комочков, если они стойки против воды, если же нет, то они опять расплываются в пасту. Комочки удерживают меньше

<sup>1</sup> Частное сообщение E. W. Russell.

<sup>2</sup> Синерезисом называется выделение жидкости из геля при контракции (сокращении объема).



воды, чем паста, и, таким образом, избыток может отдренироваться<sup>1</sup>.

Процесс несколько видоизменяется, когда замораживание более сильно. Э. Юнг<sup>2</sup> нашел, что когда почва замораживается в жидком воздухе, то вода уже не отделяется, как было описано выше; комочки не образуются, но взамен этого почва распадается по оттаивании в порошок.

Делались попытки получить количественные измерения способности почвы к образованию хорошей структуры. Эта способность зависит, как мы уже видели, от количества неорганических и органических коллоидов и кальция, присутствующих в почве, так как кальцевая глина образует более стойкие комочки, чем глина водородная, а последняя—более устойчивые комочки, чем натриевая глина. Тюлин<sup>3</sup> измеряет количество комкообразующего материала на единицу цементирующего материала. Он предпочитает подойти к проблеме с обратной стороны: затруднение, которое приходится преодолеть при образовании комковатой структуры, зависит от того, что он называет коллоидальным механическим

процент пыли  
коэффициентом, который равен отношению  $\frac{\text{процент пыли}}{\text{емкость насыщения}}$

Для черноземов, которые легко образуют хорошие комочки, этот коэффициент составляет, примерно, от 20 до 60; для подзолов, которые не образуют хороших комочков, коэффициент около 150, так как связывающего материала здесь недостаточно.

Количество комковатой структуры в почве не может быть измерено с точностью. В Ротамстеде приблизительная оценка получается сортированием почвы в поле во время сухой погоды на фракции различного размера, с помощью пропускания через ряд сит<sup>4</sup>. Тюлин<sup>5</sup> указывает, однако, что это лишает возможности произвести важное различие между комочками стойкими в воде и нестойкими; поэтому он рекомендует подвергнуть почву перед просеиванием смачиванию; тогда пропорция комочков, устойчивых в воде, является лучшей мерой структуры.

В Германии инженеры по дренажу и почвенные техники производят механический анализ, без предварительной дисперсии в элютриаторе (бассейн для мойки), применяя только легкую струю дистиллированной воды<sup>6</sup>. Таким образом, водоустойчивые

<sup>1</sup> E. W. Russell.

<sup>2</sup> Kolloidchem. Beih., 1931, 32, 320—373; также Zeit. f. Pflanz. Düng. 1931, A. 19, 326—333.

<sup>3</sup> А. Ф. Тюлин, Пермская с.-х. опытная станция, отдел агрохимии. 1928, 2, 1—24.

<sup>4</sup> Отчет об этом методе см. у Кина (1931), стр. 275—286.

<sup>5</sup> А. Ф. Тюлин, Пермская с.-х. опытная станция, отдел агрохимии, 1928, 2, 77—122.

<sup>6</sup> Этот метод механического анализа называется методом «В» в отличие от метода «А», применяемого для научных целей и описанного на стр. 495.



комочки «выживают» и записываются как принадлежащие к механической фракции, соответствующей их размеру; предполагается, что для целей дренажа они ведут себя, как первичные частицы. С другой стороны, комочки нестойкие в воде распадаются и отмечаются, как глина, что соответствует их поведению в сырую погоду.

Обработка орудиями сама по себе не образует комочков, но она оставляет почву в оптимальном состоянии, чтобы погода довершила остальное. Тюлин<sup>1</sup> действительно утверждает, что обработка в полусасушливом районе уменьшала количество водостойких комочков в черноземе или иной почве, так как структура подпочвы и почвы под травяной растительностью была лучше, чем в пахотном слое культивируемой почвы.

Способность почвы к образованию комочков может быть изменена не только обработкой, но и соответствующим удобрением. Применяются два общих метода. Один заключается в прибавлении цементирующего материала—глины или, как это чаще встречается в с.-х. практике, органического вещества, подражая, таким образом, естественным процессам, образующим хорошую структуру в почвах не обрабатываемых или луговых, где органическое вещество происходит от падающих листьев и перегнивающих корней растений; перемешивание же производится дождевыми червями или другими животными организмами.

Другой метод заключается во внесении извести или мела в почву, если в ней недостает кальция, или гипса, если она содержит много замещаемого натрия. Это ведет к образованию преобладающего кальциевого комплекса, который способствует образованию более стойких комочков, более подходящего размера, чем комплексы водородный или натриевый.

Остается еще много исследовать относительно структуры почвы. Неизвестно еще, например, почему некоторые меловые почвы имеют тенденцию высыхать в глыбы, твердые, как сталь, и при некоторых полевых условиях образуют комочки только с трудом. Вопрос этот составляет предмет исследований отдела физики в Ротамстеде и некоторых почвенных институтов в СССР.

Эффект обработки на комковатую структуру (structure) и на строение почвы в отношении ее пригодности к обработке (tilth) рассматривается на стр. 405 и следующих.

<sup>1</sup> А. Ф. Тюлин, Пермская с.-х. опытная станция, отдел агрохимии, 1928, 2, 77—122.

## ГЛАВА IV

### ПОЧВА В ПРИРОДЕ. ИЗМЕНЕНИЯ В МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ ЕЕ

Продуктами выветривания торных минералов являются, как мы видели, главным образом силикаты частичек глины, карбонаты и сульфаты кальция и более растворимые соли, преимущественно натрий.

Только в очень засушливых районах все это присутствует в почве. Обычно же происходит некоторое разделение, ведущее к переменам более значительным, чем можно было бы ожидать.

Эффект дождя выражается в вымывании растворимых веществ и выносе дисперсированных коллоидов вглубь почвы до того времени, пока они не осадут.

Действующим агентом является, однако, не дождь сам по себе, но вода, просачивающаяся сквозь почву, т. е. баланс ее, остающийся после испарения с почвы и через растения, а так как испарение возрастает с возрастанием температуры, то эти два климатические фактора—дождь и температура—являются до некоторой степени антагонистами.

Практически важны три случая.

1. Преобладание вымывания вглубь. Это имеет место обыкновенно в прохладных влажных районах с низким испарением.

2. Растворимые соли задерживаются на поверхности почвы или близ нее. Это характерно для жарких сухих районов с низкими осадками и высоким испарением.

3. Между этими крайностями лежат почвы, в которых растворимые соли вымываются, но эффект выщелачивания становится настолько пониженным, что окончательные изменения являются небольшими. Эти почвы распадаются на две большие группы:

а) когда кальций присутствует в значительных количествах, а зимний холод и летняя засуха иммобилизируют действие разлагающих и дезинтегрирующих агентов в течение значительной части года, так что в результате образуются лишь небольшие количества продуктов разложения;

б) когда присутствует меньшее количество кальция и имеют место значительные изменения, но продукты разложения остаются

in situ благодаря отсутствию растворяющих и дисперсирующих агентов.

**Эффект выщелачивания. Почвы, содержащие кальций и водород. Процесс оподзоливания.** Под влиянием дождей в климате прохладном и при низкой испаряемости растворимый натрий почти сполна вымывается из почвы, точно так же как и обменный натрий из глины и гумуса.

Таблица 58

*Состав дренажных вод. Анализ дренажных вод культивируемых полей. Части на 1 млн. частей раствора*

|                                                         | Ротамстед - Поле Бродбюк <sup>1</sup> |        |                     | Поле в Геттингене <sup>2</sup> |                      |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------|---------------------|--------------------------------|----------------------|
|                                                         | Без удоб-<br>рения                    | Навоз  | Полное<br>удобрение | Высшие<br>результаты           | Низшие<br>результаты |
|                                                         | Дел. 3 и 4                            | Дел. 2 | Дел. 6              |                                |                      |
| CaO . . . . .                                           | 98,1                                  | 147,4  | 143,9               | 184                            | 157                  |
| MgO . . . . .                                           | 5,1                                   | 4,9    | 7,9                 | 46,4                           | 31,3                 |
| K <sub>2</sub> O . . . . .                              | 1,7                                   | 5,4    | 4,4                 | 3,7                            | 1,7                  |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .                             | 6,0                                   | 13,7   | 10,7                | —                              | —                    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .                | 5,7                                   | 2,6    | 2,7                 | —                              | —                    |
| Cl . . . . .                                            | 10,7                                  | 20,7   | 20,7                | —                              | —                    |
| SO <sub>3</sub> . . . . .                               | 24,7                                  | 106,1  | 73,3                | 59,2                           | 43,5                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .                 | 0,6                                   | —      | 1,54                | —                              | —                    |
| SiO <sub>2</sub> . . . . .                              | 10,9                                  | 35,7   | 24,7                | —                              | —                    |
| N в NH <sub>3</sub> . . . . .                           | 0,14                                  | 0,20   | 0,24                | —                              | —                    |
| N в нитратах . . . . .                                  | 15,0                                  | 62,0   | 32,9                | 8,2                            | 1,0                  |
| O <sub>2</sub> ган. вещ., CO <sub>2</sub> и пр. . . . . | 67,7                                  | 77,3   | 86,4                | —                              | —                    |
| Всего твердых веществ . . . . .                         | 246,4                                 | 476,0  | 407,6               | —                              | —                    |

Удаление является полным: натрий окончательно попадает в морскую воду, где он является доминирующим катионом. Кальций также удаляется, но более медленно и гораздо менее полно. Более легко удаляются сульфат кальция и карбонат кальция после превращения его в бикарбонат. Анионами легко удаляемыми являются—NO<sub>3</sub>,—SO<sub>4</sub>,—Cl и—HCO<sub>3</sub>, и эти четыре аниона совместно с Na и Ca являются главными составными частями дренажных вод в этой стране (Англия). Таблица 58 дает цифры для Ротамстеда, а таблица 59 для Абердина.

<sup>1</sup> Анализы Voelcker'a (1871) пяти образцов, собранных с 1866 г. по 1869 г.

<sup>2</sup> Анализы V. Seelhorst und Wilms (1901) образцов, бравшихся ежедневно или раз в 2 недели с поля, между августом 1899 г. и августом 1900 г. Французские данные см. Th. Schlösing (1866 и след.).

Таблица 59

Состав дренажных вод из лизиметров, занятых растениями.  
Абердин (Aberdeen)<sup>1</sup>

|                             | Частей на 1 млн. в дренажных водах |                  |            | Футов на акр в год |                  |            |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------|------------|--------------------|------------------|------------|
|                             | Без удобрения                      | Полное удобрение |            | Без удобрения      | Полное удобрение |            |
|                             |                                    | Без известки     | С известью |                    | Без известки     | С известью |
| CaO . . . . .               | 19,3                               | 21,0             | 22,9       | 76,1               | 83,0             | 111,5      |
| MgO . . . . .               | 7,8                                | 7,9              | 9,4        | 30,7               | 31,9             | 35,3       |
| K <sub>2</sub> O . . . . .  | 3,2                                | 2,9              | 3,6        | 12,8               | 12,3             | 11,5       |
| Na <sub>2</sub> O . . . . . | 16,5                               | 17,0             | 22,2       | 66,7               | 70,3             | 70,5       |
| Cl . . . . .                | 13,7                               | 14,9             | 15,3       | 59,5               | 65,9             | 66,2       |
| SO <sub>4</sub> . . . . .   | 17,0                               | 24,4             | 28,9       | 67,1               | 98,9             | 113,1      |
| SiO <sub>2</sub> . . . . .  | 26,0                               | 23,5             | 21,9       | 106,8              | 103,1            | 94,01      |
| N . . . . .                 | 3,7                                | 3,6              | 4,5        | 12,4               | 12,2             | 14,1       |

Нужно заметить, что общая концентрация ротамстедских дренажных вод колеблется от 0,02 до 0,05 %.

Высокое содержание натрия в дренажных водах в Абердине интересно в виду количества обменных оснований в этой почве:

Сумма обменных оснований (в %)

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| CaO . . . . .               | 85  |
| Na <sub>2</sub> O . . . . . | 4,7 |

Таблица 60 дает актуальные потери извести и окиси натрия из четырех различных почв.

До тех пор, пока имеются резервы карбоната кальция, в почве не происходит никаких глубоких изменений; глина и гумус остаются ненарушенными. Комочки почвы разрушаются с удалением электролитов и становятся менее устойчивыми в воде; но эти изменения легко становятся обратимыми. Однако, когда резервы карбоната кальция истощены, ион водорода почвенной воды начинает замещать кальций в гумусе и глине, вызывая новые характерные явления, интенсивность которых увеличивается с возрастанием замещения и с падением величины pH.

Действие дренажной воды на состав почвы в последнее время было проработано в деталях Краудером (Crowther, 1930). Используя некоторые данные Робинсона и Хольмса<sup>2</sup> (Holmes) о составе

<sup>1</sup> J. Hendrick and H. D. Welsh, Proc. First Int. Cong. Soil Sci, 1927, 2, 358. Эти цифры являются средними за 8 лет (1919—1926); в течение первых двух из них не применялось никакого удобрения.

<sup>2</sup> U. S. Dept. of Agric., Bull. № 1311, 1924.



Таблица 60

*Потери в фунтах на акр в год с дренажных  
вод на неудобряемых почвах*

|                                              | CaO | Na <sub>2</sub> O       |
|----------------------------------------------|-----|-------------------------|
| Ротамстед . . . . .                          | 330 | 22                      |
| Абердин . . . . .                            | 76  | 66                      |
| Итака (Штат Нью-Йорк) <sup>1</sup> . . . . . | 173 | 78 (засеяно)            |
|                                              | 367 | 103 (без рас-<br>тений) |
| Флорида <sup>2</sup> . . . . .               | 140 | 600                     |

глинистой фракции некоторых широко распространенных образцов американских почв, он нашел, как видно на стр. 142, что молекулярное отношение кремнезема к окиси алюминия  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  в глинистой фракции возрастает с повышением температуры и уменьшается с понижением осадков, оставаясь константным (с поправкой на различное геологическое происхождение материнских материалов), когда повышение средней годовой температуры на  $1^\circ$  Фаренгейта сопровождается повышением средних годовых осадков на 0.88 дюйма (40 мм на  $1^\circ\text{C}$ ). Содержание кальция в этих глинах колеблется с климатическими условиями: повышение средней годовой температуры на  $1^\circ\text{F}$  повышает его на столько же, на сколько понизило бы его повышение годовых осадков на 0.80 дюйма. Эти взаимоотношения температуры и осадков происходят вследствие того, что средняя температура определяет количество воды, испаряемой и просачивающейся через почву; очевидно, что важным является количество просачивающейся воды. Количество воды, просачивающейся через дренажные трубы в Ротамстеде, уменьшается с повышением температуры, причем повышение на  $1^\circ\text{F}$  ( $5/9^\circ\text{C}$ ) среднегодовой температуры понижает его на столько же, на сколько понизило бы уменьшение среднегодовых осадков на 0.75 дюйма (18.75 мм). На состав глины, с точки зрения отношения кремнезема к глинозему и к содержанию кальция, таким образом, влияет больше темп просачивания воды, чем температура ее. Сравнивая почвы двух больших стран, где производилось мно-

<sup>1</sup> T. L. Lyon and J. A. Bizzell, Cornell Agric. Expt. Sta., Mem. 12. 1918.

<sup>2</sup> S. E. Collison and S. S. Walker, Univ. Florida, Agric. Expt. Sta., Bull. № 132, 1916.

го исследований, а именно СССР и США, нужно помнить, что в СССР осадки имеют тенденцию к уменьшению по мере повышения температуры, создавая благоприятные условия для больших вариаций в составе глины, тогда как в США осадки вообще возрастают с возрастанием температуры, создавая условия, которые имеют тенденцию удерживать состав глины постоянным.

## Почвы, образовавшиеся во влажных условиях при большом выщелачивании

### Процесс подзолообразования

Процесс выщелачивания вызывает изменения двух родов:

- 1) он удаляет из почвы электролиты,
- 2) вследствие этого просачивающаяся вода имеет тенденцию становиться кислой, и основания в глине и гумусе замещаются водородом.

Второе изменение имеет следствием то, что глина становится менее стойкой, частично разлагаясь в присутствии раствора кислой почвы—на окиси железа и алюминия и кремнезема, который в первой стадии, повидимому, образует весьма сильно дисперсированные коллоидальные золи. Таким образом, кислый гумус также становится чрезвычайно дисперсированным и более подвижным, по мере того, как он уносится вглубь с просачивающейся водой и встречается коллоидальные продукты разложения глины, которые защищают его от коагуляции. Эти декоагулированные золи уносятся вглубь и там осаждаются. Аарнио (1915) приписывал это коагуляции их благодаря концентрации зелей в более глубоких горизонтах. Присутствующие электролиты также могли обусловить коагуляцию, а раз коагуляция началась, то коагулированные коллоиды поглощают проходящие через них коллоидальные материалы<sup>1</sup>.

Железо обычно осаждается прежде всего, часто довольно близко от поверхности, тогда как глинозем и кремнезем осаждаются в более широких пределах. Таким образом, почва приобретает определенное зональное строение, причем верхний слой, обычно называемый горизонтом  $A_0$ , состоит из массы частично перегнившего гумуса, который, потеряв часть своих оснований, становится кислым и имеет обычно темный цвет, от бурого до черного. Следующие слои называются  $A_1$  и  $A_2$ ; нижний из них  $A_2$  обычно окрашен в более светлый цвет, чем слои, лежащие выше и ниже его, приближаясь к серому цвету, который происходит от удаления железистых материалов, и образует при высыхании тонкие слои или пластинки (ламелли); верхняя часть, более или менее окрашенная гумусом, называется  $A_1$ . Эта группа горизонтов, потеряв-

<sup>1</sup> P. Ehrenberg, Die Bodenkolloide, 2. Auflage, 1918.

них часть своего материала через выщелачивание, называется «элювиальной». Под  $A_2$  находится горизонт В, представляющий собой более темную зону и содержащий некоторые продукты разложения из верхнего горизонта; это—зона обогащения или горизонт «иллювиальный». Ниже его идет горизонт С, состоящий из более или менее ненарушенных материнских материалов.

Детали профиля зависят от материнской породы, от типа растительности, от порозности почвы и от уровня грунтовых вод. Если почва порозна, грунтовые воды низки и количество гумуса невелико, то постепенно развивается тип «железистого подзола», отмеченного Фростерусом (1914). Главными характерными чертами этих горизонтов служит то, что горизонт  $A_0$  является сравнитель-

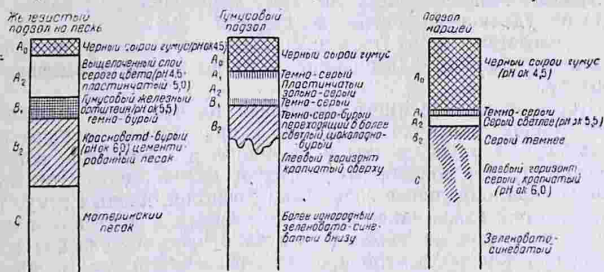


Рис. 30. Диаграмма схемы профилей подзолов.

не тонким, не превышая 8 см, горизонт  $A_2$  довольно толст, в особенности на песчаных почвах, а горизонт В имеет красновато-бурю окраску и содержит больше 3% гумуса. В песчаной почве может образоваться очень твердый, темнобурый орштейн на поверхности горизонта В, образующийся благодаря вымытым вглубь железу и гумусу, которые цементируют здесь частицы песка. Если, с другой стороны, почва недостаточно хорошо дренирована или если уровень грунтовых вод находится близко к поверхности в течение значительной части года (хотя и не круглый год), то, по Фростерусу, образуется «гумусовый подзол». Верхний слой гумуса в этом случае толще и может достигать 20 см толщины; горизонт  $A_2$  становится серым, но еще содержит много гумуса, тогда как горизонт В имеет темнобурый цвет, иногда черный наверху благодаря большому количеству присутствующего гумуса (рис. 30).

Если на поверхности накапливается торф, то горизонт  $A_2$  становится темнее и горизонт В трудно отличается от него благодаря выщелачиванию лишь небольшого количества материалов. Если торф имеет более 50 см толщины, то выщелачивание может и совсем не происходить. Таким образом, действие гумуса является очень ярко выраженным:

а) при малых количествах гумуса процесс идет сравнительно медленно, и в результате получается «железистый подзол»;

в) при большем количестве гумуса процесс совершается быстрее, но окончательные результаты те же;

с) еще при большем количестве гумуса получается уже довольно отличный тип «гумусовый подзол»;

д) еще при большем количестве гумуса может не быть никакого выпесчачивания, а поэтому—и образования подзола.

В тяжелых почвах верхняя часть профиля редко бывает хорошо развитой. Здесь может быть легкое осветление цвета под слоем  $A_0$ , но зоны аккумуляции обыкновенно встречаются в виде пленок на почвенных комочках или в виде небольших отдельных конкреций в ненарушенной материнской глине. Однако, где уровень воды близок к поверхности, начинаются некоторые изменения, идущие снизу. Во влажной массе появляются зеленоватосиние полосы, вначале обычно вокруг старых корней, и когда они высыхают, то становятся красными или бурыми и придают дну профиля пятнистый вид. Этот слой называется «глеем».

Химизм процесса оподзоливания не совсем ясен. Просачивающаяся кислая вода, повидимому, гидролизует глину и другие минералы, и эти продукты гидролиза уносятся вниз с суспензиями кислого гумуса. Тамм (1920) показал, что горизонт А содержит те же самые минералы, как и материнская порода, но в другой пропорции, благодаря дифференциации и удалению некоторых минералов при выветривании. Хотя в этом горизонте имеются некоторые количества органического вещества, Тамм, однако, не мог найти явных доказательств какого-либо накопления продуктов разложения его. Железистые минералы, повидимому, удаляются в первую очередь, а глинозем и кремнезем начинают перемещаться только после того, как процесс оподзоливания уже продолжался достаточное время.

В таблице 61 дан полный анализ типичного профиля, а в таблице 62 показано, насколько больше продвинулся процесс выветривания на поверхности горизонта  $A_2$ , чем на дне горизонта  $A_2$ .

При отсутствии образования глея или других изменений, вызываемых грунтовой водой, горизонт В состоит из ненарушенной материнской породы, вместе с продуктами выветривания, которые были вымыты вглубь из горизонта  $A_2$ . На поверхности горизонта В получается максимальная концентрация железа и гумуса, тогда как алюминий и кремневая кислота распределяются более равномерно. Некоторая часть кремнекислоты вымывается и уходит в речную воду.

Подзол является кислым на поверхности (рН может падать до 4); он становится более кислым в горизонте  $A_2$ , который потерял все свои тонкие частицы, и гораздо менее кислым в горизонте В, который получил избыток тонких частиц. Глина в горизонте  $A_2$  очень не насыщена, тогда как в горизонте В она насыщена



Таблица 61

Химический состав различных горизонтов песчаной подзолистой почвы.  
Растительность—старый лес с *Myrtillus* и *Vaccinium*.

Слой гумуса 5—10 см толщиной. Тамм (1920)

## Анализ

| Горизонт и глубина                                               | A <sub>2</sub><br>10—15 см | B <sub>1</sub><br>15—25 см | B <sub>2</sub><br>50 см | C<br>100 см |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|
| Гумус . . . . .                                                  | 3,64                       | 2,82                       | 0,54                    | 0,25        |
| H <sub>2</sub> O . . . . .                                       | 1,30                       | 3,20                       | 1,93                    | 1,38        |
| SiO <sub>2</sub> . . . . .                                       | 76,93                      | 68,95                      | 73,30                   | 74,44       |
| TiO <sub>2</sub> . . . . .                                       | 0,64                       | 0,52                       | 0,58                    | 0,54        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .                         | 9,68                       | 12,30                      | 11,59                   | 11,84       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> силикатная . . . . .              | 1,33                       | 3,77                       | 3,67                    | 3,22        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> лимонитная <sup>1</sup> . . . . . | 0,09                       | 0,93                       | 0,38                    | 0,08        |
| Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . . . . .                         | 0,037                      | 0,045                      | 0,049                   | 0,053       |
| CaO . . . . .                                                    | 1,80                       | 2,04                       | 2,03                    | 2,01        |
| MgO . . . . .                                                    | 0,62                       | 1,30                       | 1,42                    | 1,28        |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .                                      | 1,69                       | 1,59                       | 1,73                    | 2,12        |
| K <sub>2</sub> O . . . . .                                       | 2,38                       | 2,65                       | 2,49                    | 2,80        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .                          | 0,02                       | 0,04                       | 0,11                    | 0,12        |
| SO <sub>3</sub> . . . . .                                        | 0,024                      | 0,029                      | 0,029                   | 0,032       |
|                                                                  | 100,18                     | 100,20                     | 99,82                   | 100,16      |

гораздо более, а в нижней части горизонта В насыщена основаниями почти сплошная. Этот эффект иллюстрируется таблицей 63, взятой из Гедройца (1927).

Таблица 62

## Движение железа в профиле подзола

| Глубина образца с верхней части горизонта A <sub>2</sub> (в см) | Горизонт       | Процент Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в почве |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|
| 3—4 . . . . .                                                   | A <sub>2</sub> | 0,44                                           |
| 6—7 . . . . .                                                   | A <sub>2</sub> | 0,91                                           |
| 8 . . . . .                                                     | A <sub>2</sub> | 1,58                                           |
| 9 . . . . .                                                     | A <sub>2</sub> | 2,03                                           |
| 9—11 . . . . .                                                  | B              | 3,04                                           |
| 12—13 . . . . .                                                 | B              | 2,91                                           |

Подзолы, описанные выше, принадлежат к группе железистых подзолов Фростеруса. Горизонты A<sub>0</sub>, A<sub>2</sub>, B и C, легко различае-

<sup>1</sup> Лимонитная Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (limonitis) есть часть железа, растворимая в кислом щавелевокислом калии и принята как типичный представитель присутствующих коллоидов. Нерастворимая часть называется силикатной (siliceous) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Таблица 63

*Количество обменных оснований, присутствующих в профиле подзола*

| Глубина образца (в см) | Емкость поглощения в миллиэкв. на 100 г почвы | Процентный состав обменных оснований |      |      |
|------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------|------|
|                        |                                               | Ca                                   | Mg   | H    |
| 10—15 . . . . .        | 12,1                                          | 13,9                                 | 7,5  | 78,5 |
| 15—20 . . . . .        | 4,6                                           | 20,8                                 | 8,4  | 70,8 |
| 20—25 . . . . .        | 1,8                                           | 40,5                                 | 20,1 | 39,4 |
| 30—35 . . . . .        | 4,3                                           | 50,1                                 | 43,7 | 6,2  |
| 50—55 . . . . .        | 11,9                                          | 49,5                                 | 46,9 | 3,6  |
| 100—105 . . . . .      | 12,4                                          | 54,6                                 | 41,5 | 3,9  |

мые на глаз, отличаются между собой химически и могут быть легко распознаны по анализу, иными словами, горизонты идентичны как морфологически, так и химически.

Процесс является несколько иным в подзолах, где гумус встречается в больших количествах.

Фростерус (1914) показал, что когда железистый подзол превращается в гумусовый, то в горизонте В накапливается меньше железа, но замечается возрастающее накопление гумуса и глинозема. При переходе же его в болотистый тип, повидимому, перемещается только гумус.

Элювиальный горизонт имеет тенденцию затемняться просачиванием серовато-черноватого гумуса из горизонта  $A_0$  в верхнюю часть горизонта  $A_2$  и осаждением буровато-черного гумуса в нижней части, так что элювиальный горизонт, т. е. горизонт, в котором имеют место разложение минеральной части и выщелачивание, становится шире, чем видимый, или морфологический горизонт  $A_2$ <sup>1</sup>. Однако основание гумусового подзола очень часто перекрывается профилем, грунтовой воды. Завалишин<sup>2</sup> показал, что грунтовая вода сама по себе никогда не бывает очень кислой, а в болотистых условиях может быть даже щелочной. Так как она вообще не содержит кислорода, то ее главное химическое действие выражается в восстановлении, в частности в восстановлении железа из окисных форм в закисные. Возможно, что она может вызывать гидролиз минеральных веществ с образованием коллоидальной кремневой кислоты. Колебания уровня грунтовых вод могут причинить значительные потери железа и органического вещества

<sup>1</sup> А. Проневич, Сборник, посвященный памяти Глинки, изд. Ленинградского с.-х. института, 1928 г., стр. 163.

<sup>2</sup> А. А. Завалишин, Сборник, посвященный памяти Глинки, изд. Ленинградского с.-х. института, 1928 г., стр. 45.

из глея, так как закисные формы железа хотя и нерастворимы в воде, но, по видимому, довольно подвижны. Поглощающий комплекс в глее более или менее насыщен и может содержать поразительно большие пропорции обменного магния и кальция, если происходило заметное разложение комплекса. Однако очень часто состав глея очень сходен с материнской породой, за исключением того, что он беднее железом и может содержать некоторые количества коллоидального кремнезема. Однако, если горизонты глея и горизонт В совпадают, то может произойти осложнение<sup>1</sup>: при колебании уровня грунтовой воды происходит чередование окисления и восстановления.

Профиль влияет также и на растительность. Типичная растительность подзолистых почв—хвойные леса, преимущественно сосна и пихта, но очень часто и бук.

Тамм (1920) детально изучал около десятка подзолов разного возраста в лесах северной Швеции. Он находит, что темп оподзоливания зависит не от леса, а от подроста: он совершается наиболее быстро при ассоциации *Myrtillus*, *Vaccinium* и *Calluna*, которые легко способствуют накоплению гумуса, более медленно происходит он под ассоциацией щавеля (*Oxalis acetosella*), где образуется меньше гумуса, и наиболее медленным он является под серым мхом, который дает очень мало гумуса; это указывает на важную роль, которую играет в этом процессе гумус<sup>2</sup>; однако окончательный результат получается в значительной степени один и тот же во всех случаях. Первым признаком оподзоливания является появление под гумусовым слоем ( $A_0$ ) сероватых выщелоченных прослоек ( $A_2$ ), всего от 0,5 до 1 см толщины, едва ли отличимых по химическому составу от нижележащих слоев; выщелоченный материал отлагается непосредственно ниже в слое ( $B_1$ ), который в начале бывает гораздо толще—5—10 см и более. Отложение может быть однородным, но более часто оно происходит пятнами, которые, однако, окончательно сливаются в непрерывный слой. Важной разницей является то, что выщелачивание происходит тонкими слоями<sup>3</sup>, между тем как отложение распространяется на более толстые слои.

По мере того как выщелачивание продолжается, выщелоченный слой  $A_2$  расширяется и начинает входить в  $B_1$ : таким образом,  $B_1$  является прежде всего слоем отложений, а затем уже—

<sup>1</sup> А. Проневич, Сборник, посвященный памяти Глинки, изд. Ленинградского с.-х. института, 1928 г., стр. 163.

<sup>2</sup> Так как интенсивность оподзоливания влияет также и на качество почвы для лесоводства, то приведенные результаты дают очевидное разрешение спору, в котором Сајандер поддерживает взгляд, что подрост является наилучшим мерлом для оценки лесной земли.

<sup>3</sup> При этом получается своеобразное пластинчатое строение, которое позволяет легко распознать выщелачивание. Верхняя поверхность пластинок обыкновенно имеет более светлую окраску, чем нижняя, и заключает в себе блестящие частички кварца.

вторичного растворения. Тамм находит, что щелочи и щелочные земли являются наиболее подвижными и не отлагаются в нижележащих слоях, но вымываются совершенно. Кремневая кислота несколько менее подвижна, но она не коагулируется в этих кислых условиях, так что выносится вглубь, не отлагаясь в горизонте В; часть ее действительно совершенно уходит в реки и моря. Полуторные окиси, однако, легко отлагаются: железо—в разной степени, так как оно находится в разных комбинациях; оно может перемещаться в виде железистых, железных или железо-органических ионов; много отлагается его с органическим веществом или ниже последнего, но часть доходит до ручьев, где оно может отлагаться в виде красной илистой массы. Марганец тесно связан с железом. С другой стороны, глинозем не перемещается так далеко, и он сплошь отлагается в горизонте В. С полуторными окисями отлагается много фосфора.

Тамм определял количество различных веществ, свободно осевших при разложении в верхнем слое; его данные приводятся в таблице 64.

Таблица 64

*Разложение минеральных материалов в верхнем горизонте подзола*

|                                          | г/м <sup>2</sup> в год | Фунт/акр |
|------------------------------------------|------------------------|----------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 2,2                    | 20       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 1,1                    | 10       |
| CaO . . . . .                            | 0,3                    | 3        |
| MgO . . . . .                            | 0,5                    | 5        |
| Na <sub>2</sub> O . . . . .              | 0,3                    | 3        |
| K <sub>2</sub> O . . . . .               | 0,5                    | 5        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .  | 0,15                   | 1,5      |

С тех пор, как выражения «подзол» и «оподзоленный» вошли в литературу науки о почве, возникало немало разногласий относительно точного значения их. В. В. Геммерлинг формулирует следующее значение их у русских почвоведов<sup>1</sup>.

Неявно оподзоленные или дерновые почвы. Оподзоленный горизонт А<sub>2</sub> отсутствует.

Слабо оподзоленные почвы. А<sub>2</sub> состоит только из отдельных беловатых пятен.

В верхней части В (В<sub>1</sub>) находится уплотненный слой, образовавшийся из материалов, вымытых из А; однако он является здесь очень тонким.

<sup>1</sup> Путеводитель для экскурсий. 2-й международный конгресс почвоведения, Ленинград, 1930, т. II, стр. 10.



Средне оподзоленные почвы.  $A_2$  представляет собой компактный беловатый слой колеблющейся толщины, но он более тонок, чем гумусовый горизонт  $A_1$ .

Уплотненный слой в В толще, чем в слабо оподзоленных почвах, и наиболее плотная часть его находится в середине В ( $B_2$ ).

Сильно оподзоленные почвы.  $A_2$  хорошо развит в виде компактного беловатого слоя, и он толще, чем  $A_1$ .

Уплотненный слой из В перемещается ниже, в горизонт  $B_3$ .

Подзол. Весь слой А. оподзол. Гумусового подгоризонта не имеется; однако в девственных почвах имеется слой дерна.

Компактный слой в горизонте В хорошо развит в  $B_3$ .

Таким образом, шведское и финское значение слова «подзол» является несколько более широким, чем русское.

### Почвы, образовавшиеся в засушливых условиях.

#### Выщелачивание слабо или отсутствует

В засушливых условиях просачивающаяся дождевая вода играет лишь незначительную роль в образовании почвы, и главное действие ее выражается просто в выщелачивании солей с поверхности в нижние горизонты. Первичные процессы выражаются в механической дезинтеграции частиц почвы морозом и ветром и в механическом передвижении этих дезинтегрированных частей эрозией, как воздушной, так и водной. Грунтовые воды, с другой стороны, могут оказывать более значительное влияние на почвенный профиль, чем во влажных условиях, так как они могут вносить соли в верхние горизонты почвы, вызывая этим коренные изменения.

В засушливых условиях образуется два главных класса почв:

а) почвы, в которых на поверхности вода не собирается, и уровень грунтовых вод лежит слишком глубоко, чтобы затронуть почву,—это почвы каштановые и пустынные;

б) почвы, в которых вода собирается на поверхности или где грунтовая вода подходит близко к поверхности, принося с собой растворимые соли. Сюда относятся засоленные почвы, щелочные и др.

#### Почвы каштановые и пустынные

#### Действие поверхностной или грунтовой воды отсутствует

Эта группа почв включает в себе серые или бурые почвы пустынь и так называемые каштановые почвы, по терминологии русских работников. Они обычно содержат очень мало гумуса, но много карбоната кальция, и если климат достаточно засушлив, то и сульфат кальция и даже небольшие количества щелочных солей. Последние, однако, редко встречаются в почве, а вымыва-

ются дождевой водой в подпочву, образуя горизонт накопления солей преимущественно гипса. Кальций является обычно наиболее обильным катионом в этих почвах и составляет достаточную пропорцию обменных ионов в глине и гумусе поглощающего комплекса, чтобы придать почве химические и физические свойства кальциевых почв, хотя магний и щелочи при этом могут периодически доминировать. Профиль очень прост. При умеренном количестве осадков верхний слой имеет большей частью темнубулый цвет. Цвет нижележащей части профиля становится более или менее близким к цвету материнской породы. Карбонат кальция является в подпочве первоначально в виде маленьких пятен и полос «псевдомицелий», затем ниже—в более крупных агрегатах. Гипс появляется ниже горизонта карбоната кальция первоначально в виде мелких кристаллов, которые по мере углубления становятся крупнее. По мере того как условия становятся более засушливыми, почвенный профиль телескопируется, и в конце концов в очень засушливых почвах карбонат кальция и даже гипс могут встречаться на поверхности, между тем как соли натрия и кальция находятся в верхнем слое.

Детальное описание этих почв для СССР дано Глинкой (1931 для Венгрии—Сигмондом<sup>1</sup> и для Судана—Грином<sup>2</sup>).

Химизм образования этих почв еще не совсем ясен. Витне (1929а) и Стебут (1930) предполагают общее движение солей кремневой кислоты и полуторных окисей снизу вверх, из глубокой подпочвы в верхние ее слои. Почва часто содержит больше глины, чем глубокая подпочва, но это может происходить благодаря усиленной механической дезинтеграции, а не от химического образования глины.

### Засоленные почвы. Солончаки

Действие поверхностной или грунтовой воды

Эти почвы очень характерны для засушливых районов. Они являются в засушливых районах образованиями, аналогичными маршам и болотистым почвам влажных районов, и встречаются везде, где уровень грунтовых вод лежит близко к поверхности. Они являются типичными для низколежащих затопляемых при речных террас и на низколежащих берегах озер. Грунтовая вода содержит растворимые соли, которые она выносит вверх при капиллярном поднятии и оставляет в верхних горизонтах по мере своего испарения. Засоленные почвы имеют тенденцию образовываться также в пониженных местах рельефа, в особенности в блюдцеобразных понижениях, не имеющих выхода воды через дренаж. Средние годовые осадки незначительны, и если выпадают

<sup>1</sup> A. A. J. de'Sigmond, 1930, в Handbuch der Bodenlehre, изд. E. Blanc Band.3, Berlin.

<sup>2</sup> H. Green, Journ. Agric. Sci., 1928, 18, 518.

то обычно в виде ливней, так что большая часть воды не просачивается в подпочву, а сбегает по поверхности, смывая почву и небольшое количество растворимых солей с поверхности, часто образуя глубокие овраги, и накапливается в этих углублениях. Здесь замученная почва отлагается, и по мере испарения воды остаются высохшие соляные озера. Солями, обычно присутствующими в этих почвах, являются хлориды и сульфаты натрия, калия, кальция и магния; обычно, хотя и не всегда, здесь находится достаточно натрия, чтобы вызвать свойства типичных натриевых почв. Эти же почвы могут образоваться также в условиях прригации, если дренаж недостаточен.

В своей ненарушенной форме эти почвы называются солончаками. Их профиль очень прост и не содержит никаких горизонтов; поверхностная почва в течение сухого периода содержит кристаллы и инкрустации солей, главным образом хлоридов или сульфатов натрия или кальция, хотя встречаются также калий и магний. Содержание гумуса падает в профиле регулярно, и не замечается накоплений его ни в каких горизонтах.

В сырую погоду соли имеют тенденцию распределяться в профиле равномерно. Растительность на этих почвах не отличается разнообразием, так как только немногие растения способны выносить засуху и высокое содержание солей в почвенном растворе.

Этого вида засоленные почвы или солончаки видоизменяются, когда они подвергаются выщелачиванию при известной перемене условий, и почва, получающаяся в результате этого, называется солонцом.

### Солонец

В результате понижения уровня грунтовой воды или при увеличении дождевых осадков в засоленных почвах обычно происходят некоторые изменения. Такие же изменения могут происходить и при орошении, когда почвы содержат лишь небольшие резервы карбоната кальция или гипса и когда орошающая вода содержит значительные количества натриевых солей. Дождевая вода вымывает соли вглубь, но благодаря засушливому климату она быстро испаряется. Различаются два типа солонцовых почв: 1) содержащие мало кальция и 2) содержащие большие запасы кальция в форме карбонатов или гипса, когда хлориды и сульфаты являются преобладающими солями в материнском солончаке. Большая часть солонцовых почв занимает среднее положение между этими группами. В почвах второй группы, когда присутствует много кальция, растворимые соли вымываются в нижележащие горизонты, оставляя глину и гумус насыщенными кальцием. Почва превращается обычно в настоящую степную почву или каштановую или чернозем, и только с трудом можно установить, что она произошла из засоленной почвы. В другом крайнем случае, в присутствии большого количества натрия и незначительных количеств



кальция, соли вымываются в глубь в подпочву, как и в первом случае, но почва, будучи насыщенной главным образом натрием, декоагулируется от дождевой воды или от воды, содержащей лишь незначительные количества растворимых солей, а гумус, глина и продукты разложения глины в щелочной воде выносятся на некоторую глубину и отлагаются здесь. Почва, декоагулированная и содержащая много обменного натрия, высыхает в твердые глыбы, которые при известных условиях легко разбиваются, образуя более мелкие комья и пыль; однако они не удерживают своей формы в мокром состоянии, легко спадаясь в тестообразную массу. Обработка таких почв чрезвычайно трудна, так как почва слишком тверда в сухом состоянии и слишком вязка во влажном состоянии. Кроме того разрыхленный поверхностный слой (мульча) не выдерживает дождя или воды, расплывается в тесто и высыхает, как твердый поверхностный орштейн.

Выщелачивание солончака, содержащего лишь небольшие запасы кальция, происходит, по видимому, в три стадии: первой стадией является образование черной щелочной почвы, столь типичной для некоторых орошаемых районов; второй стадией является типичный солонец и третьей стадией—солонд (стр. 237). По мере удаления солей из солончака через выщелачивание прежде всего уходят растворимые хлориды, затем—сульфаты и, наконец, карбонаты. В этой последней стадии просачивающаяся вода содержит следы карбоната кальция, и последний реагирует с обменным натрием глины, образуя углекислый натрий.



Присутствие некоторого количества ионов водорода может также вызвать гидролиз, ведущий к образованию H—глины и гидрата окиси натрия. Какой бы из этих процессов ни преобладал, натрий появляется окончательно в форме карбоната<sup>1</sup>. Последний, смешиваясь с сильно дисперсным гумусом, имеет тенденцию накапливаться в понижениях рельефа, и, когда высыхает, образует большие черные пятна. Почва становится очень щелочной, содержит карбонат натрия и является не только токсичной по отношению к растениям, но и практически непригодной для обработки вследствие декоагуляции. Эти почвы встречаются также в условиях орошения, так как ирригационная вода может содержать до-

<sup>1</sup> Вопрос о том, существует ли действительно карбонат натрия в почве или не существует, много дискутировался. Прежние исследователи предполагали, что карбонат натрия присутствует, что признают и Келли и Арани (Hilgardia, 1928, 3, 394). С другой стороны, Burgess, Breazeale и Mc George в Аризоне утверждают, что он не присутствует, а присутствует только NaOH (Ariz. Agric. Exp. Sta. Bull. 13, 307—335, 1926; Science, 1927, 65, 445).



статочное количество натриевых солей для превращения значительного количества глины в натриевую глину, которая в дальнейшем может реагировать с водой, образуя карбонат натрия.

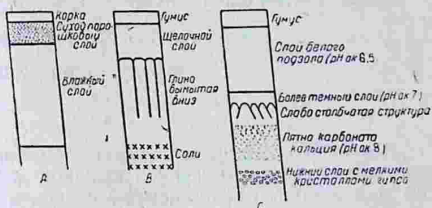
Вторая стадия при выщелачивании солончака выражается в превращении черной щелочной почвы в солонец. В типичной солонцовой почве присутствует достаточно натрия, чтобы поддерживать почву в щелочном состоянии, что обуславливает ее свойство типичной натриевой глины, но не достаточно, чтобы вызвать образование заметных количеств карбоната натрия. Профиль становится чересполосным. Горизонт А<sub>1</sub> имеет пластинчатое строение, тогда как А<sub>2</sub> становится комковатым и глыбистым. Горизонт В выделяется по виду и образует чрезвычайно твердый серый уплотненный слой (ортштейн), который в сухом состоянии распадается на широкие вертикальные столбы с округленными вершинами. Эти столбы первоначально имеют острые грани и острую вершину и называются, по русской терминологии, призматическими (призматическая структура). Но так как глина является натриевой и структура ее не стойка по отношению к воде, то грани поверхности смыываются, образуя структуру округленную или «столбчатую». Часть просачивающегося раствора проходит через трещины, образующиеся при столбчатой структуре, и во время просачивания часть воды испаряется, отлагая на поверхности столбов (колонн) суспендированные и растворимые материалы, облегающие поверхность колонн настолько, что они отчетливо выступают, когда почва становится сухой. Эти столбы (колонны) растрескиваются в горизонтальном направлении на комки с острыми краями приблизительно кубической формы и размером с лесной орех, которые уже с трудом распадаются на более мелкие части. Этот слой является очень характерным для солонцовых почв. Типичный профиль иллюстрируется на рисунке 31. Химизм процесса состоит в том, что просачивание щелочной воды разлагает натриевую глину и вымывает из нее полутонкие окиси и гумус в горизонт В, но аморфная кремневая кислота остается в горизонте А. Ниже горизонта В находится зона накопления солей, в первую очередь карбоната кальция, затем сульфата кальция, еще ниже — натриевых солей. Грунтовая вода также может содержать значительное количество растворимых солей, делающих ее непригодной для питья, для скота или для ирригации. Почвы в первых двух стадиях выщелачивания часто содержат небольшие количества растворимых солей, которые, когда почва высыхает, могут коагулировать глину, создавая хорошую структуру. Почва легко распадается на комочки и дает впечатление легко обрабатываемой. Но эта структура не устойчива против дождевой воды, и почва декоагулируется вновь. Однако, если ирригационная вода содержит достаточно солей, чтобы поддерживать почву в коагулированном состоянии, то структура становится более стойкой.

## Солоди

Когда солонец подвергается продолжительному выщелачиванию, образуется третья стадия его, называемая русскими почвоведом «солодью»; она встречается, например, в понижениях рельефа почвы, где собирающаяся вода может просачиваться вглубь, или же на возвышенных речных террасах, которые, будучи затоплявшимися непосредственно после ледниковых отступов, были солончаками. Профиль солоди, образующейся в отложении карбоната кальция, очень сходен по внешнему виду с подзолом. Верхний слой темно окрашен и имеет пластинчатое

рис. 31. Диаграмма профиля

А—солонец; В—результат умеренного выщелачивания, солонец; С—конечный результат выщелачивания, солодь.



строение, более глубокая часть почвы имеет черный цвет и комковатое строение от массы мелких корней; еще глубже она становится серой, потом—более светлой по окраске, по мере того как отложения кремневой кислоты выражаются сильнее и сильнее; структура ее ореховая, весьма отличная от структуры солонца. Более глубокие горизонты сходны с солонцом: первым идет буроватый призматический горизонт с его характерными трещинами, покрытыми гумусом, а еще ниже—горизонты карбоната кальция и сульфата кальция. Типичный профиль показан на рисунке 31. В этом процессе осолодения просачивающаяся вода продолжает удалять натрий и другие продукты разложения из почвенного комплекса, заменяя обменный натрий водородом и отлагая продукты разложения на большей глубине. Иногда почва становится кислой, хотя подпочва остается нейтральной, а еще ниже—щелочной. Характерной чертой этих почв является большое количество кремневой кислоты, растворимой в щелочах, находящейся в верхнем горизонте<sup>1</sup>. Таблица 65, взятая из весьма ценной работы Гедройца (1926) по этому процессу, иллюстрирует разницу между солончаком, подвергшимся лишь незначительному выщелачиванию, солодью, лишенной кальция, и подзолом с одной стороны и кальциевой солодью и черноземом—с другой.

<sup>1</sup> В почвах Гедройца в горизонте А, но по Сигмонду—в более низких слоях (стр. 239—240).

## Растворимость кремнезема и глинозема в 5% едком кали

| Солончак-солонец       |                  |                                | Солоди без кальция     |                  |                                | Подзол                 |                  |                                |
|------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|
| Глубина образца (в см) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Глубина образца (в см) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Глубина образца (в см) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 0—5                    | 0,868            | 0,176                          | 0—5                    | 12,790           | 0,092                          | 0—10                   | 0,910            | 0,550                          |
| 7—22                   | 0,904            | 0,244                          | 6—11                   | 5,312            | 0,244                          | 20—25                  | 0,776            | 0,680                          |
| 40—45 <sup>1</sup>     | 0,766            | 0,312                          | 16—21                  | 1,326            | 0,792                          | 25—40                  | 0,690            | 0,842                          |
| —                      | —                | —                              | 40—45                  | 1,138            | 0,638                          | 50—60                  | 0,864            | 1,164                          |
| —                      | —                | —                              | 95—100                 | 1,362            | 0,188                          | 60—80                  | 0,920            | 0,658                          |
| —                      | —                | —                              | —                      | —                | —                              | 100—120                | 0,914            | 0,736                          |

Аморфная кремневая кислота скопляется в значительных количествах в солоди, лишенной кальция, но не накапливается в подзоле или в почвах, насыщенных кальцием. Таблица 66 дает полное количество составных частей солоди без кальция и показывает, насколько верхние горизонты его богаче кремневой кислотой, чем нижние.

Таблица 67, взятая из Сигмонда (1927), показывает колебания пропорции присутствующих обменных оснований в солоди, по сравнению с подзолом и черноземом. Солоди более плодородны, чем солонцовые почвы, так как в них не имеется близ поверхности непроницаемого горизонта В; вследствие этого они допускают лучшее и более глубокое развитие корней в верхних горизонтах.

Таблица 66

Общий анализ солоди, бедной кальцием (в %)

| Глубина<br>образца<br>(в см) | Потеря<br>при про-<br>калива-<br>нии | CO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> |       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |       | CaO + MgO |       |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------|-------|-----------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------|
| 0—5                          | 11,75                                | 0               | 78,00            | 88,14 | 7,77                                                            | 8,85  | 1,793     | 2,033 |
| 6—11                         | 1,75                                 | 0               | 87,25            | 88,80 | 7,92                                                            | 8,16  | 1,302     | 1,325 |
| 16—21                        | 6,60                                 | 0               | 76,90            | 82,33 | 14,47                                                           | 15,50 | 1,677     | 1,794 |
| 40—45                        | 8,92                                 | 0               | 70,20            | 77,93 | 16,45                                                           | 18,05 | 1,893     | 2,081 |
| 95—100                       | 8,54                                 | 5,4             | 57,71            | 72,87 | 17,23                                                           | 21,75 | 10,175    | 4,445 |

<sup>1</sup> Соли встречаются.

Таблица 65

для различных почвенных типов

| Черпозем               |                  |                                | Солодь кальцевая       |                  |                                |
|------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|
| Глубина образца (в см) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Глубина образца (в см) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 0—20                   | 0,534            | 0,320                          | 19—24                  | 1,090            | 0,580                          |
| 45—70                  | 0,440            | 0,344                          | 30—35                  | 0,734            | 0,470                          |
| 120—150                | 0,424            | 0,376                          | 48—53                  | 0,876            | 1,150                          |
| —                      | —                | —                              | 175—180                | 0,612            | 0,400                          |
| —                      | —                | —                              | —                      | —                | —                              |
| —                      | —                | —                              | —                      | —                | —                              |

Таблица 67

Обменные катионы, по Сигмонду, Венгрия

Кислая оподзоленная почва. Hűvösvölgy

| Горизонт       | pH  | Катионы металлов в миллионн. на 100 г почвы | % общей суммы катионов |      |     |      |     | Вытяжка HCl      |                                |                                |
|----------------|-----|---------------------------------------------|------------------------|------|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                |     |                                             | Ca                     | H    | Na  | Mg   | K   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| A              | 5,9 | 14,6                                        | 13,3                   | 57,8 | 1,8 | 18,1 | 6,3 | 8,9              | 3,7                            | 1,6                            |
| B <sub>1</sub> | 5,8 | 16,2                                        | 20,3                   | 52,6 | 3,6 | 15,2 | 6,2 | 9,4              | 4,7                            | 2,6                            |
| B <sub>2</sub> | 6,7 | 18,6                                        | 29,5                   | 48,6 | 3,8 | 9,7  | 7,0 | 10,7             | 7,5                            | 3,0                            |
| C              | 8,1 | 23,3                                        | 49,6                   | 29,2 | 5,1 | 9,7  | 6,4 | 6,1              | 3,0                            | 3,4                            |

Эквивалент карбонатов=7,9%. CO<sub>2</sub> присутствует в горизонте C; в горизонтах A и B — отсутствует

Солодь. Почва Hortobágy

|                |     |      |      |      |      |      |     |      |     |     |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|
| A              | 5,8 | 20,6 | 16,8 | 44,1 | 20,9 | 15,0 | 3,2 | 5,8  | 3,6 | 0,6 |
| B <sub>1</sub> | 6,5 | 31,4 | 26,1 | 14,7 | 39,7 | 16,8 | 2,7 | 10,9 | 5,8 | 3,3 |
| B <sub>2</sub> | 7,4 | 42,3 | 21,8 | 10,6 | 50,2 | 15,5 | 1,9 | 20,7 | 8,1 | 6,8 |
| B <sub>3</sub> | 7,6 | 40,9 | 21,6 | 11,0 | 44,6 | 20,7 | 2,1 | 21,2 | 8,3 | 7,0 |
| C <sub>1</sub> | 8,5 | 39,6 | 32,4 | 10,8 | 32,9 | 19,8 | 4,1 | 12,9 | 6,6 | 4,1 |
| C <sub>2</sub> | 8,7 | 39,1 | 34,6 | 10,8 | 28,4 | 19,6 | 6,6 | 12,7 | 6,6 | 3,6 |
| C <sub>3</sub> | 8,9 | 40,5 | 35,8 | 10,0 | 31,0 | 17,8 | 5,4 | 13,5 | 8,9 | 4,6 |
| D              | 8,9 | 39,1 | 34,9 | 14,2 | 28,1 | 18,4 | 4,4 | 13,4 | 8,2 | 4,5 |

Карбонаты отсутствуют в горизонтах A и B; в горизонтах C и горизонте D процент его был:

Выражено в CO<sub>2</sub>

C<sub>1</sub> 7,2      C<sub>2</sub> 11,5      C<sub>3</sub> 10,6      D 10,4



Продолжение

## Чернозем. Csorvás

| Горп-<br>зонг  | рН  | Катионы ме-<br>таллов <sup>1</sup> в мпл-<br>лиэкв. на 100<br>г почвы | % общей суммы катионов |      |      |     |     | Вытяж на HCl                  |                                |                                |
|----------------|-----|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|------|------|-----|-----|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                |     |                                                                       | Ca                     | H    | Na   | Mg  | K   | SiO <sub>2</sub> <sup>2</sup> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| A              | 8,0 | 23,21                                                                 | 68,1                   | 23,5 | 2,2  | 3,4 | 2,8 | 6,05                          | 8,3                            | 4,9                            |
| B <sub>1</sub> | 8,2 | 28,78                                                                 | 70,7                   | 16,2 | 3,2  | 6,2 | 3,7 | 5,96                          | 8,1                            | 5,0                            |
| B <sub>2</sub> | 8,7 | 23,71                                                                 | 78,4                   | 0,0  | 14,7 | 2,7 | 4,4 | 5,4                           | 7,0                            | 4,6                            |

Примечание. Из протоколов и трудов 1-го интернационального почвенного конгресса, т. I, стр. 60, 1927 г.

Засоленные почвы очень чувствительны к малейшим движениям почвенной воды. Таким образом, на почти однородной площади могут встречаться весьма разнообразные типы почв, зависящие от небольших, часто очень незначительных различий в топографии, или в «микрорельефе», по русской терминологии, от различий в содержании карбоната кальция или глины и других подобных причин.

Русские исследователи, главным образом Гедройц (1926) и Виленский (1930), описали различные типы профилей и изучили условия, в которых встречаются эти типы.

## РЕЗЮМЕ

Описанные выше различные типы почв встречаются обычно в полужасушливых степях СССР, Центральной Азии, в западной части южной Африки и полужасушливых зонах Австралии, а также в западной части США. Природная растительность состоит из бедной степной флоры, бедной или вследствие недостатка воды или вследствие избытка солей. Если эти почвы используются, то обычно как пастбище для животных, в особенности для овец, выносливых к засухе. Местами могут возделываться пшеница и просо. Эти почвы как содержащие большие запасы питательных веществ для растений при орошении становятся чрезвычайно плодородными до тех пор, пока хорошо дренируются, что предотвра-

<sup>1</sup> За исключением водорода; соответствует величине S Хиссинка.

<sup>2</sup> Сумма вытяжек в HCl и в 5% КОН.

накопление солей. Одной из важных проблем при культуре этих почв является предупреждение эрозии, так как вследствие незначительного количества органического вещества и обычного сухого состояния они имеют тенденцию становиться рыхлыми и порожкообразными и легко уносятся сильными ветрами или ливнями, свойственными засушливым районам<sup>1</sup>.

### Почвы промежуточные между почвами засушливых и влажных климатов

Почвы засушливых климатов характеризуются низким содержанием гумуса и присутствием близ поверхности солей, главным образом карбоната и сульфата кальция, а в крайних случаях также и щелочных солей. Почвы влажных климатов характеризуются вымыванием вглубь некоторых своих компонентов и даже частиц. Промежуточными почвенными типами являются черноземы и бурые земли или бурые (серые) лесные почвы. Оба типа этих почв содержат достаточные количества обменного кальция для поддержания нейтральной или слабой кислой реакции и заметные количества нейтрального гумуса. В районах чернозема благодаря особенностям климатических условий выщелачивание и разложение происходят лишь в очень слабой степени, тогда как в серых лесных землях хотя разложение почвенных частиц и имеет место, но общие условия обыкновенно неблагоприятны для перенесения этих частиц в нижележащие горизонты просачивающейся водой. Оба типа почв характерно связаны с определенным климатом, но могут встречаться также и в других климатах, и наоборот, другие типы почв могут встречаться в климатах, которые нормально обуславливают названные два типа. Тип почвы, встречающийся в климатических условиях, более свойственных другому типу, называется интразональным типом; так, например, чернозем может встречаться в пониженных местах засушливых степей, где может накапливаться вода, а также под лесами на своей северной границе, если подстилающим материалом является известняк. Равным образом, изменяя растительность, как, например, разводя хвойные леса в степях или в лиственных лесах районов бурых почв, замечается усиление выщелачивания и наступают признаки оподзоливания; почва теряет свою мелкокомковатую структуру и проявляет признаки пластинчатости, тогда как более низкие слои обнаруживают призматическую структуру и распадаются в комья с острыми гранями или на ореховидные раздельности при высыхании; последние покрыты белой пылью, оставшейся кремневой кислоты,

<sup>1</sup> О методах предупреждения эрозии и библиографию по литературе этого вопроса см. Imperial Bureau of Soil Science, Technical Communication, № 5 (1929) и № 16 (1931).

всегда являющейся верным признаком выщелачивания. Далее в горизонте В наблюдается накопление железа и глинозема.

Другой характерной чертой черноземов и бурых лесных почв является то, что в них обитают мелкие животные, которые переносят подпочву на поверхность; в черноземах преобладают гризуны, а в бурых почвах дождевые черви.

### Черноземы

Для образования черноземных почв требуются три группы условий.

1. Сухое, скорее жаркое лето и холодная зима.
2. Достаточно обильный непрерывно из года в год рост трав для производства больших количеств гумуса.
3. Отсутствие древесной или иной растительности, которая могла бы защищать почву от крайних колебаний климата.

Такие условия встречаются в зоне, пересекающей Западную Сибирь, европейскую часть СССР, Венгрию, Чехословакию и т. д., а также в Канаде и США, проходя с севера к югу через Манитобу, Альберту, Саскачеван, Северную и Южную Дакоты, Айову и Канзас. Эти районы представляют собой безлесные волнистые степи, весьма пригодные для некоторых типов сельского хозяйства, так, например, для производства зерновых хлебов, и, действительно, большая часть мирового снабжения пшеницей производится на этих почвах.

Материнской породой этих почв в СССР и в других странах Европы является обычно лесс, содержащий много карбоната кальция; в Северной Америке очень часто—это конечный материал ледникового происхождения, более бедный карбонатом кальция: это обуславливает различие между двумя сериями черноземов.

В черноземных районах СССР и других стран Европы осадков выпадает мало, но температура не особенно высокая, благодаря чему происходит достаточное вымывание солей натрия и сульфата кальция; однако карбонат кальция вымывается лишь на незначительную глубину—на 3—4 фута (90—120 см) и затем откладывается в виде белых инкрустаций, образующих небольшие пятна, образно называемые русскими почвоведками «белоглазкой»; нередко также он отлагается на нижней части камней или желваков. Зона отложения карбоната резко выделяется и легко может быть обнаружена несколькими каплями разведенной кислоты на поверхности горизонта этой почвы. Но почвенные условия здесь слишком сухи, чтобы допустить вытеснение больших количеств кальция из глины и гумуса водородным ионом. Осенние и зимние осадки выпадают в виде снега, а ранние весенние дожди застают глину и гумус еще замерзшими и поэтому непроницаемыми для воды, вследствие чего глина и гумус остаются по преимуществу кальциевыми образованиями, сохраняя вследствие

глубокий      Типичные черноземы      обыкновенный      южный



Рис. 32. Глубокий чернозем (избердейский): зернистая структура (нарушенная близ поверхности обработкой), сделавшаяся гороховидной и затем внизу—ореховидной; гумус мощностью свыше 100 см; карбонаты в виде «псевдомицелия» на глубине около 90 см. Обыкновенный (средний) чернозем: зернистая структура; гумус мощностью 70—90 см; вскипание карбоната или псевдомицелия ниже примерно 70 см. Южный чернозем: структура менее выражена, может быть зернистой или комковатой близ поверхности; гумус (часто с шоколадно-коричневым оттенком) мощностью 50—80 см; карбонаты как горизонт, характеризующийся «белоглазкой» (рыхлые образования) на глубине около 70 см.



этого стойкость против дисперсии. Таким образом, почва остается нейтральной или очень слабо кислой. Характерной чертой этих почв является их устойчивость: летом условия слишком сухи для того, чтобы могли произойти большие изменения, а зимой почва сильно замерзает, так что коллоиды и почвенные комочки сохраняются цельными и ненарушенными. Стойкости почв способствует также отсутствие деревьев, благодаря чему почва открыта для полного действия как летнего жара, так и зимнего холода. Другим фактором является густая сеть тонких корней трав, развитие которой стимулируется общими условиями. Докучаев действительно приписывал зернистую структуру этих почв корневым разветвлениям. Гедройц позднее подчеркнул роль, которую играл при этом кальций в гумусе и глине.

Таким образом, передвижение коллоидов с поверхности в подпочву здесь не происходит, и профиль показывает постепенный переход от темного поверхностного слоя, содержащего от 4 до 18% гумуса, к более светлоокрашенным нижележащим слоям; горизонт накопления В отсутствует, хотя современные русские исследователи употребляют термин В для переходной зоны между А и С. Черная почва не резко переходит в нижележащий более светлый слой лесса; эта линия является волнистой, и ниже ее часто замечаются пятна черной почвы, называемые тротуаринами, которые образовались от заполнения черноземом нор грызунов (рис. 32).

Кроме однородности внешнего вида эта секция обнаруживает некоторые другие характерные особенности. Образцы почвы, взятые в любом месте верхних слоев, легко распадаются на комочки от простого легкого растирания между пальцами (рукой), что очень типично для почв, в которых преобладают кальциевая глина и кальциевый гумус. Тончайшие корневые волоски связывают прилипшие к ним комочки почвы, напоминая как бы нити бисерных бус. В более глубоких слоях замечается тенденция к образованию более крупных зерен: комочки могут достигать размера горошины и только на больших глубинах, если они и встречаются, то легко разбиваются горизонтальными трещинами в призмы или колонны и кое-где встречаются округленные столбы, характерные для почв, в которых доминируют свойства, зависящие от пашня.

### Бурые почвы и бурые (серые) лесные почвы

Бурые и бурые лесные почвы образуются в умеренном климате с умеренными осадками и температурами. Они встречаются в условиях хорошего дренажа, преимущественно на склонах холмов, в отличие от подзола и степных почв, которые встречаются на ровной местности. Как показал Мюллер (1887), они встречаются также и под нейтральным гумусом, или «муллем», по выражению некоторых авторов, в отличие от подзола, который встречается под кислым гумусом, или «торфом». Типичной растительностью этих

почв являются лиственные леса с подростом из трав и цветущих растений, с преобладанием бука и березы в северной Европе и дуба, ильма и ясеня в Англии. Так как этот тип растительности требует для своего питания значительных количеств минеральных веществ, в особенности Са, Mg, К и  $\text{—PO}_4$ , которые растения берут из подпочвы, то, по мере отмирания растительности или опавших листьев с деревьев, эти минеральные вещества возвращаются в почву. Таким образом, здесь постоянно происходит круговорот ионов, сильно ослабляющий влияние выщелачивания. Кроме того основания (в особенности кальций, который возвращается к поверхности в виде щавелевокислого кальция и быстро разлагается до карбоната кальция) поддерживают поверхностную почву более или менее нейтральной и по преимуществу в форме кальциевой почвы, которая не только отличается большой стойкостью, но является и наиболее благоприятной средой для растений, дождевых червей и микроорганизмов<sup>1</sup>. Таким образом, эти почвы сохраняют стабильность благодаря динамической циркуляции оснований, по сравнению с черноземом, который обладает статической стабильностью.

Тамм<sup>2</sup> и Стебут<sup>3</sup> обсуждали условия, при которых бурые земли могут встречаться как интразональный тип, т. е. в районах, где они нормально не ожидаются. Они нашли, что если материнская порода содержит много кальция, в виде карбоната кальция или легко разлагающихся минеральных пород, и если почва хорошо дренируется на холмистых склонах, то бурые земли обычно легко образуются в этих условиях.

В частности, если береза может хорошо расти на подзолистой почве, то последняя обычно переходит в бурую почву. Если же бук и хвойные растут на бурой почве, то последняя может оподзолиться благодаря легкости, с какой в этих условиях образуется кислый гумус.

<sup>1</sup> Это хорошо иллюстрируется следующими результатами, полученными Salisbury и Tansley (Journ. Ecol. 1922, 9, 23):

*Распределение оснований,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и N в последовательных слоях почвы.*

Известковая почва в Эйместри (Rowburrow Wood)

| Глубина образца (в см) | Гумус | $\text{CaCO}_3$ | $\text{K}_2\text{O}$ | MgO  | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | N    |
|------------------------|-------|-----------------|----------------------|------|-------------------------|------------------------|------|
| 0—4                    | 18,6  | 1,43            | 0,83                 | 1,01 | 2,06                    | 0,16                   | 0,35 |
| 4—10                   | 9,3   | 0,65            | 0,20                 | 0,84 | 1,42                    | 0,11                   | 0,30 |
| 10—25                  | 6,2   | 0,64            | 0,65                 | 0,82 | 1,30                    | 0,11                   | 0,20 |

<sup>2</sup> Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift, 1930, 1—41. Meddel. fran Statens Skogsförsökanstalt, 1921, 18, 105.

<sup>3</sup> A. Stebutt, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1930, A, 15, 134—167.

Профиль бурой почвы состоит из верхнего слоя, содержащего нейтральный или почти нейтральный гумус; pH обычно бывает от 6 до 7, но может спускаться и до 5; ниже идет слой буро-окрашенной почвы, толщиной около 50 см, растрескивающийся в горизонтальном и вертикальном направлениях в сухую погоду и представляющий хорошую комковатую структуру; ниже лежит неизменная материнская порода. Этот профиль не обнаруживает никаких определенных элювиальных или иллювиальных горизонтов, за исключением того, что карбонат кальция может быть вымыт из верхних слоев. Химизм процесса заключается в том, что просачивающаяся вода является достаточно кислой, чтобы вызвать разло-

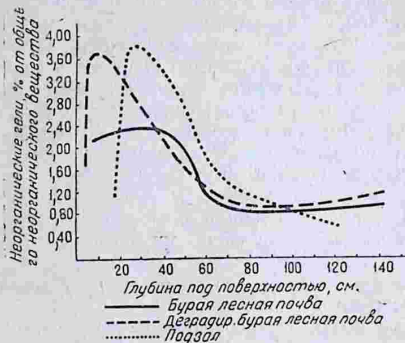


Рис. 33. Количество неорганических гелей, указывающее на степень разложения минеральных веществ в шведской бурой лесной почве, деградированной бурой лесной почве и в подзоле (Людблад).

жение почвенных частиц на три первоначальные продукта—на кремнезем, глинозем и гидрат окиси железа, но все же недостаточно кислой для того, чтобы перенести коллоидальные продукты разложения в нижележащие слои, так как здесь не присутствует достаточного количества сильно дисперсированного гумуса. Поэтому эти почвы образуют разные новые комбинации *in situ*, образуя глину. Людблад (Lundblad)<sup>1</sup>, применяя метод кислого ищавеловокислого аммония Тамма<sup>2</sup> для определения продуктов разложения, показал, что они встречаются почти в постоянных количествах в буром слое, т. е. в первых 50 см профиля или около того, и потом количество их сильно падает в подпочве. Рисунок 33, взятый из труда Людблада, показывает это для одной шведской бурой почвы, типа деградированной бурой почвы (такой, в которой начался процесс оподзоливания), а также для подзола.

На свойства бурых и бурых лесных почв, в особенности определяющие отношение их к росту растений, глубоко влияет материнская порода, обнимающая большое разнообразие горных пород.

<sup>1</sup> Meddelanden fran Statens Skogsforsoksanstalt, 1924, 21, 1.

<sup>2</sup> Ibid. 1922, 19, 387.



Важными являются три группы материнской породы: кислые горные породы, основные горные породы и переработанные или выветрившиеся отложения. Однако во всех трех преобладает влияние карбоната кальция: если он присутствует в достаточном количестве, то почва хорошо подвергается обработке, но если его слишком много, то почва имеет тенденцию к обеднению питательными веществами для растений, в особенности калием. Почвы, образовавшиеся из кислых горных пород, обычно содержат много свободного кварца и хорошо снабжены калием, но не известью, тогда как почвы, образовавшиеся из основных горных пород, содержат меньше кварца и часто очень бедны калием, но довольно хорошо снабжены известью. Почвы, образовавшиеся из гранитных пород, которые являются кислыми, обычно бывают довольно глубокими, так как гранит легко выветривается, и они хорошо снабжены фосфором и фосфатами и более сопоставляют для еловых лесов, чем для лиственных деревьев. Сиенит и диабаз выветриваются в превосходные почвы, хорошо снабженные известью, калием и фосфатами, на которых типичной лесной растительностью являются дуб и ясень. Эффект от базальта зависит от величины его кристаллов: если они крупны, почва может быть глубокой, тяжелой и нейтральной, давая превосходные пастбища во влажных районах; если они мелки и компактны, то порода выветривается медленно и образует почву тонкую и каменистую.

### Латериты и латеритные почвы<sup>1</sup>

В тропических районах с высокими осадками, высокой температурой (причем более важными являются, повидимому, высокие

<sup>1</sup> Большой частью материалов по этому разделу я обязан проф. F. Hardy, Imperial College, Trinidad, и персоналу Imperial Bureau of Soil Sci. Другие отчеты о латеритах и латеритных почвах см. Fox, Bauxite and Aluminous Laterite Occurrences of India, 1923; Mem. Geol. Surv., India, v. 49, Pt. 1. Это составляет полный список с полными названиями и резюме работ, появившихся до 1923 г. Новейшие работы:

H. L. Shanz and C. F. Marbut «Vegetation and Soils of Africa», 1926.  
F. G. Martin and Doynе, Journ. Agric. Sci., 1927, 17, 539—547; 1930, 20, 135—143.

F. Hardy and R. E. Follett—Smith, Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 739—761.

E. C. J. Mohr, 1930. Tropical Soil—Forming Process. Мимеографированный перевод R. C. Pendleton. Univ. Philippines. Exp. Sta. Contribution No 655, 203.

Hermann Harrassowitz, «Laterit» Bd. 4, Heft 14 из Fortschritte der Geologie, Paleontologie, Berlin. Gebr. Barthtraeger, 1926, см. Scrivenor, Malayan Agric. J., 1925.

L. L. Fermor, Geol. Mag., n. s. Dec. V., 1911, 8, 454—462, 507—516.

J. B. Scrivenor, Malayan Agric. J., 1929, 17, 454—459. The Geology of Malaya, Chap. 9. Macmillan, 1931.

J. Marrow—Campbell, Morning. Mag., 1917, 17, 68—77, 120—128, 171—179, 220—229a.

J. B. Harrison. Geol. Mag., n. s. Dec. V. 1910, 7, 439—453, 488—495, 553—562.

Обзор современного состояния знаний в Tech. Comm. No 23, 1931. Imperial Bureau of Soil Science.



осадки)<sup>1</sup> процессы выветривания сильно отличаются от описанных нами в предшествующих разделах: окиси железа, алюминия и марганца удаляются медленнее, чем другие основания и кремневая кислота, благодаря чему они имеют тенденцию к накоплению—окиси железа в различных гидратных формах, а окись алюминия в форме гиббсита  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ . Отношение  $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$  в почве в целом и в особенности в глинистой фракции ее падает ниже, чем в умеренных климатах; за пределами же некоторой точки почва приобретает новые характерные свойства и получает название латерита или латеритной почвы. В величинах указанного отношения не замечается резких скачков, и искусственные границы устанавливаются только в целях классификации: Мартин и Дойн (Doynе) пользуются для анализа только глинистой фракцией, чтобы устранить влияние кварца, и принимают следующие пределы:

|                            | Отношение $SiO_2/Al_2O_3$ |
|----------------------------|---------------------------|
| Латериты . . . . .         | ниже 1,3                  |
| Латеритные почвы . . . . . | 1,3—2                     |

С другой стороны, Харди пользуется цельным почвенным материалом на том основании, что характерный гиббсит может встречаться с кварцем во фракциях песка и пыли и может быть пропущен, если ограничиваться только глинистой фракцией.

Название «латерит» заимствовано от геологов; выбор этого названия довольно неудачен, так как оно имеет определенное геологическое значение, которое необязательно совпадает с определением почвы. Название это было первоначально введено Бухананом<sup>2</sup> для обозначения поверхностных отложений в южной Индии, которые мягки при рытье, но постепенно затвердевают при выставлении на воздух до такой степени, что дают довольно пригодный строительный камень. Это затверждение или осадка приписывается медленной гидратации окиси железа, алюминия или алюмосиликатов; однако каких-нибудь критических исследований этих процессов, повидимому, не производилось. Подобные же отложения впоследствии были найдены в довольно большом распространении под тропиками. Исследования геологов показали, что эти материалы содержат много окиси железа, а некоторые из них и много глинозема, и предполагалось, что последний находился в свободном состоянии, так как количество кремнекислоты, находившейся в формах иных, чем кварц, казалось недостаточным для комбинации в силикаты; аналитические методы того времени не могли установить

<sup>1</sup> Гольдшмит (Festschrift til H. Sorlie 27 октября 1928 г.) утверждал даже, что тропические температуры не являются необходимыми, что настоящие латериты образуются и при полярных условиях, и он описывает выветривание норвежского лабрадорита, которое он рассматривает, как латеризацию.

<sup>2</sup> Francis Buchanan (впоследствии Hamilton), 1807. A Journey from Madras through the countries of Mysore, Canara and Malabar, 3 vols., London.

разницы в состоянии свободного и комбинированного глинозема или между кварцем и комбинированной кремневой кислотой; гипобсит ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ), однако, часто можно было обнаружить петрологическими методами. Геологи рассматривают окись железа как характерную составную часть; если она присутствует лишь в незначительном количестве, то слово «латерит» не употребляется, и данное вещество называется «бокситом»<sup>1</sup>. Почвоведы, с другой стороны, характерной составной частью считают глинозем, а не окись железа, и они подчеркивают значение специального процесса почвообразования. Таким образом, слова «латерит» и «латеритный» употребляются в литературе в различном смысле и может случиться, что почва, называемая латеритной почвоведом, не будет считаться латеритной ни геологами ни инженерами. Возникают и другие осложнения, вытекающие из недавно установленного факта, что латериты могут подвергаться вторичным изменениям, как, например, вторичному обогащению силикатами, о котором говорится ниже и которое значительно влияет на состав их, но все же оставляет место для критерия, приведенного выше.

#### Образование латеритных почв. Влияние климата

Климатическими условиями, необходимыми для образования латеритных почв, являются обильные осадки и высокая температура. Некоторые исследователи<sup>2</sup> подчеркивают значение последовательной смены влажных и сухих сезонов, но Скривенор и Харрисон не признают этого, по крайней мере в отношении образования свободного глинозема. Скривенор, de Jongh и Блондель придают большее значение минеральному составу материнской горной породы, чем климату.

**Материнская горная порода.** J. B. Harrison, который посвятил много лет изучению латеритных почв в Британской Гвиане, и Скривенор, оба поддерживают взгляд, что настоящее латеритное выветривание встречается только на основных или промежуточных горных породах, но не на граните; последний обычно выветривается в продукты каолина<sup>3</sup>. Вулканические минералы, перемешивающиеся с известковыми породами и занесенные с опадавшей вулканической золой во время отложения этих пород, также могут подвергаться латеритному выветриванию, давая в районах интенсивного выщелачивания образования поверхностных латеритных отложений.

<sup>1</sup> Ср. «The Bauxitic Clays of Airshire» Mem. Geolog. Surv., 1922.

Ни эти глины ни ископаемые латериты в Ирландии не приводили к образованию латеритных почв.

<sup>2</sup> См. H. Harrassowitz в книге Blanck, «Handbuch der Bodenlehre», Band 3, стр. 363.

<sup>3</sup> Некоторые исследователи (например, Бауер) утверждают, что кислые горные породы могут обусловить образование латеритов, но идентификация последних не всегда могла быть произведена с достаточной точностью.

**Настоящие латериты.** Ход выветривания до сих пор еще неизвестен в деталях. Старый взгляд, что горная порода сначала выветривается в каолин и что почвенная вода, предполагаемая щелочной, растворяет кремнекислоту и оставляет после себя нерастворимые окиси железа и алюминия,—этот взгляд теперь оставлен. Не имеется никаких явных доказательств образования каолина, и в действительности почвенная вода часто не бывает щелочной. Большая часть тропических лесов, под которыми часто находятся латериты, дает кислую лесную подстилку и делает просачивающуюся воду кислой<sup>1</sup>; это вызывает в латеритных почвах изменения, похожие на соответственные изменения в прохладных влажных районах. До настоящего времени о механизме и ходе латеризации известно еще очень мало.

Конечный результат, однако, описан Харрисоном и Харди для Британской Гвiany (выпадение осадков около 2 500 мм), как приводится ниже. В условиях хорошего дренажа, высоких осадков и высокой температуры поверхностные слои натриевых и известковых фельдшпатов разлагаются, образуя некоторое количество гиббсита и вторичного кварца. Ферро-магнезиальные минералы дают начало образованию водных окисей железа, причем щелочи, щелочные земли и магнезия, быстро выщелачиваясь, оставляют корку сильно гидратированного и сильно железистого гиббсита, вместе со вторичным кварцем. Компоненты железа и глинозема медленно разделяются, и почва приобретает внешний вид шлака: структура ее становится пещеристой, как бы пораженной червоточиной, вследствие потери части минералов из горной породы во время разложения<sup>2</sup>. Ход выветривания в Сьерра Леоне (осадки 2 250 до 3 750 мм) изучался Мартином и Дойном. Их анализы материнской горной породы «норита» и продуктов латеритного выветривания последней приводятся в следующей таблице.

|                          | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | Потери при прокаливании | Молекулярное отношение SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Латерит . . . . .        | 17,9             | 26,0                           | 39,7                           | следы | 14,6                    | 1,17                                                                    |
| Промежуточные продукты   | 28,3             | 28,7                           | 21,6                           | »     | 20,9                    | 1,66                                                                    |
| Горная порода, норит . . | 44,3             | 26,9                           | 19,2                           | 8,6   | 0,2                     | 2,8                                                                     |

<sup>1</sup> Разница в выветривании между тропическим и умеренным климатом приписывается Мором отсутствию гуминовой кислоты в почвенной влаге в тропических условиях.

<sup>2</sup> Детали и описание профиля см. у F. Hardy and R. R. Follett Smith (Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 379—761).



В этом случае железо накапливалось: оно залегает в трещинах, образовавшихся от удаления основных минералов, и цементирует желтоватый хлопьевидный материал в характерную оранжево-красную пещеристую породу. В других латеритах большая часть железа материнской горной породы исчезает.

Примеры крайней латеризации, встречающейся в разных местах, выражаются следующими цифрами:

|                                 | Кремне-зем | Глинозем | Окись железа | Молекулярное отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ |
|---------------------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------------------------------------|
| Норит Сиерра Леоне . . . . .    | 7,3        | 41,5     | 23,2         | 0,30                                                        |
| Базальт из Индии . . . . .      | 3,90       | 54,80    | 13,7         | 0,12                                                        |
| Диорит из Seychelles . . . . .  | 3,88       | 49,89    | 20,1         | 0,13                                                        |
| Мадагаскарский гранит . . . . . | 4,6        | 60,86    | 1,0          | 0,13                                                        |

Норит и базальт обычно содержат около 50%  $\text{SiO}_2$ , диорит около 55% и гранит около 70%.

#### Нарушенные латериты: красноземы или латеризированные почвы

Харрисон изучал дальнейшие изменения, имеющие место в условиях низинного залегания и плохого дренажа, с нарушениями, вызываемыми сырыми и сухими периодами. В сухие периоды грунтовая вода, содержащая щелочи и силикаты, движется вверх, обуславливая вторичное обогащение силикатами первоначального латерита; гиббсит, таким образом, изменяется во вторичный каолин или галлоизит (halloysite). В результате получается слой краснозема, который может достигать толщины 15 м и состоит главным образом из вторичного каолина и гидратных окисей железа, вместе с некоторым количеством кварца. Разложение краснозема не особенно отличается от разложения почвы, происходящей из кислых горных пород, не подвергшихся латеризации.

Первичный латерит, таким образом, исчезает или может быть обнаружен лишь в виде тонкого слоя на поверхности материнской горной породы. Эти почвы поэтому не должны называться латеритными и должны получить иное название, как, например, «красноземы», или «латеризированные почвы».

**Выщелоченные или оподзоленные латеризированные почвы.** Могут иметь место и дальнейшие изменения. Краснозем может оказаться значительно выщелоченным сильными дождями, теряя при этом окиси железа и алюминия и оставляя под богатым расти-



тельным покровом содержащую кварц серую почву, переходящую ниже почти в однородную красную землю. Сентинус<sup>1</sup> изучал эти процессы оподзоливания на Яве и находит, что они протекают по существу так же, как в умеренных районах, но не доходят до такой же полноты.

Таким образом, в то время, как профиль развивается по направлению снизу вверх, изменения, соответствующие оподзоливанию, происходят сверху вниз.

Мы будем стараться различать:

1. Латеритные почвы, как результат первичных изменений, характерными признаками которых являются присутствие свободного глинозема, возможно в форме гиббсита, и отсутствие вторичного каолинита.

2. Латеризированные красные почвы, как результат подчиненных и вторичных изменений, характеризующихся присутствием вторичного каолинита и отсутствием свободного глинозема в сколько-нибудь значительных количествах.

Латеритные почвы обычно тонки, очень порозны и не пластичны; поэтому они меньше подвержены эрозии<sup>2</sup>, чем почвы с высоким отношением  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Они страдают недостатком связности, и их водный режим является довольно специфичным.

Так как основания выщелачиваются в значительных размерах, то почвы эти страдают недостатком калия и извести, а так как они содержат свободные окиси алюминия и железа, то обладают значительной способностью поглощения  $\text{P}_2\text{O}_5$ <sup>3</sup> и в результате страдают большим недостатком усвояемых как калия, так и фосфатов. Эти почвы кислы: pH их лежит обычно между 4 и 6. Они содержат много связанной воды: 10% в образцах из Британской Гвианы, 25% в Сиерра Леоне. Они очень отзывчивы на хорошую обработку и удобрение, в особенности органическими и зелеными удобрениями, и обрабатываются очень легко.

Красноземы—глубже и могут быть более плодородны. Характерной составной частью их является окись железа, которой они и обязаны своим цветом и некоторыми из своих свойств. Железо может встречаться в разных гидратных формах, соединений лимонита и туржита\*, но может встречаться и в негидратированном виде, как гематит<sup>4</sup>. Резкой характерной особенностью красноземов является их большая порозность, что делает их очень похожими на настоящие латериты. Вода дренируется через них так быстро, что они становятся пригодными для вспашки уже через не-

<sup>1</sup> Soil Res., 1930, 20, 10—56.

<sup>2</sup> H. H. Bennett, 1929, Rpt. Ninth Meeting of the Amer. Soil Surv. Assoc., стр. 55—74.

<sup>3</sup> См. Martin and Doyne, Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 135—143 и Seki, Proc. Third Pan. Pacific Sci. Cong., 1926, стр. 1936—1941.

\* Turgite (от Туржинска в СССР)—железная руда  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .  
Прим. перев.

<sup>4</sup> Обсуждение этих вопросов см. Morrow-Campbell, Mining Mag.

сколько часов после сильных ливней, несмотря на то, что в других отношениях они сходны с глинистыми почвами, а именно они могут иметь очень высокую «точку вязкости» (прилипаемости). Их способность поглощения оснований и поглощения фосфатов колеблется весьма сильно. На практике различие между латеритами и красными почвами не всегда легко провести и не всегда оно и возможно: до последнего времени не существовало методов для ясного отличия свободного глинозема от легко разлагающихся алюмосиликатов, и даже современные методы не везде приняты<sup>1</sup>.

### Общий обзор различных почвенных типов

Главные зональные почвенные типы определяются главным образом количеством воды, просачивающейся через почву. В районах с хорошим дренажем растворимые соли и основания уносятся вглубь, в нижележащие горизонты, и почва становится кислой. Краудер (Crowther, 1930) показал, что для данного постоянного количества дренажных вод тип почвы зависит от температуры. Если температура низка, то образующийся подзол характеризуется поверхностным слоем кислого гумуса и удалением полуторфных окисей и других почвенных компонентов из одного горизонта—элювиального горизонта А, в нижележащий иллювиальный горизонт В. По мере поднятия температуры почва переходит в бурые или серые лесные земли, характеризующиеся довольно глубоким залеганием нейтрального или лишь слегка кислого, хорошо разложившегося гумуса и отсутствием определенно выраженных элювиального и иллювиального горизонтов. Если температура высока, то образуются красные и желтые почвы, а также латериты, характеризующиеся низким содержанием гумуса и вымыванием кремневой кислоты из поверхностного слоя почвы. По мере уменьшения просачивания эти кислые почвы становятся нейтральными вследствие уменьшения вымывания солей и оснований; содержание и глубина гумуса в этих почвах значительно выше, и в профилях не обнаруживаются элювиальных или иллювиальных горизонтов. Представителями этих почв являются почвы прерий Америки и черноземы в СССР. Если осадки низки, то почвы переходят в тип пустынных или полупустынных почв, определяемых главным образом осадками, которые часто бывают недостаточны для вымывания растворимых солей из верхних слоев. Хотя эти почвы не имеют резко выраженных элювиального или иллювиального горизонтов, но некоторые исследователи считают, что подпочва их является элювиальным горизонтом, а почва—иллювиальным, т. е. что соли и продукты разложения переносятся снизу и откладываются близ поверхности. Рисунок 34, которым мы обязаны С. С. Неуструеву,

<sup>1</sup> Харди описывает метод определения некомбинированной окиси алюминия в почвах с помощью поглощения ализарина, в Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 150—166.

показывает в форме диаграммы распределение гумуса и кальциевых солей в русских зональных почвах.

Кроме этих зональных почвенных типов существует ряд интразональных типов, для которых один климат сам по себе не является доминирующим фактором почвообразования. Они могут образоваться благодаря действию грунтовой воды, как, например, болотные почвы влажных районов и засоленные почвы засушли-

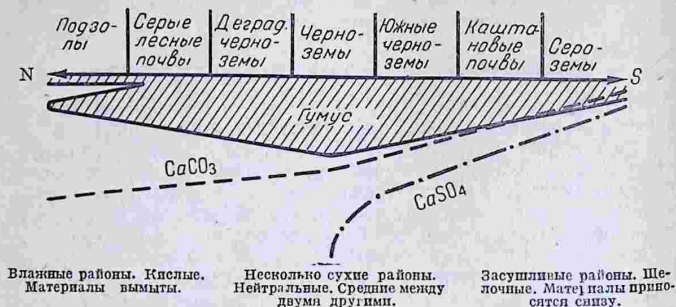


Рис. 34. Диаграмма, представляющая распределение почвенных типов в СССР с севера на юг (С. С. Неуструев).

вых районов, или же благодаря влиянию материнской горной породы, как, например, рендзины и интразональные бурые лесные почвы, или же благодаря введению новых типов растительности.

### Принципы ухода за почвой (Soil Management)

При уходе за почвой применяются обычно два главных метода воздействия на нее.

1. Тип хозяйства, насколько возможно, тесно согласуется с условиями и требует лишь слабого приспособления, с помощью методов, о которых говорится ниже.

2. Почву превращают в тип кальциевой почвы, к которому земледельцы нормально приспособились и привыкли и для которого уже выработаны сорта растений, орудия и общая система ухода.

Обычно первый из этих методов применяется в случаях, когда почва сильно уклоняется от нормальных условий, а второй метод,—когда необходимые изменения не особенно велики.

#### Уход за подзолистыми почвами

Освоение оподзоленной почвы требует трех процессов:

1) нейтрализации кислотности;



2) превращения кислого гумуса и кислой глины в комбинации с кальцием;

3) вынесения в почву гумуса и других составных частей, которые были выщелочены вглубь.

Первый и второй—требуют одних и тех же приемов обработки и по существу представляют собой одно и то же. Известь, известняк или мел вносятся в количествах, определяемых, как указано выше (стр. 181).

Д. Л. Аскинази и С. С. Ярусов<sup>1</sup> показали, что известь стимулирует разложение гумуса, обогащая почвенный раствор неорганическим азотом и фосфатами и повышая процент как азота, так и фосфорной кислоты в растениях за первый год. Улучшение в снабжении азотом с течением времени уменьшалось и окончательно прекратилось на 9-й год; улучшение же в снабжении фосфором еще продолжалось. Повышенная растворимость почвенных фосфатов, повидимому, обуславливалась не разложением железных или алюминиевых фосфатов, или органических фосфорнокислых соединений.

Третий процесс достигается углублением вспашки.

Прекрасный пример освоения почвы можно видеть в Ютландии, где вересковые пустоши превращались в фермы и леса методами, разработанными Фр. Вейсом и его сотрудниками. Вересковые пустоши являются типичными подзолами со слоем сырого гумуса наверху, подстилаемого серым оподзоленным песком, очень бедным гумусом; ниже песка лежит черный гумусовый уплотненный слой, гумус которого содержит около 3% азота; еще ниже находится пятнистый серо-бурый железистый уплотненный слой и далее—глубокий желто-бурый песок. Первым приемом разделки служит сжигание вереска, твердые стебли которого затруднили бы будущую работу; за этим следует осенью мелкая вспашка (15 см), чтобы вывернуть сырой гумус, и затем дискование следующей весной. В следующую осень почва перепашивается глубоко, чтобы вывернуть на поверхность как гумусовый, так и железистый уплотненный слой, и вносится мергель (50—60%  $\text{CaCO}_3$ ) в дозе 12—15 т/акр (30—37 метр. т/га).

Следующей весной эти различные составные части могут быть смешаны культиваторами и боронами, и высевается овес или яровая рожь как предварительная культура для будущего посева подходящей смеси трав и клевера. После этого почва становится способной давать хорошие урожаи с.-х. растений, для которых намечается соответствующий севооборот.

Для целей облесения нет необходимости заходить с разделкой так далеко. Подходящими деревьями являются *Picea excelsa* и

<sup>1</sup> «Kalkung, als Faktor der Mobilisation der Phosphorsäure in den Podsolböden», Москва, Труды НИУ, № 57, 1928.



*Pinus Montana*, которые хорошо идут вместе<sup>1</sup>; другие же деревья еще исследуются<sup>2</sup>.

Интересный пример освоения подзола в Новой Зеландии представляет разработка земель *Pakihi* в провинции Нельсон<sup>3</sup> на значительной площади земли, имеющей характер гумусового подзола. После сжигания дикой растительности вносится обильная доза извести (2 англ. тонны на акр = 5 т/га) и томасова шлака (5 англ. центнеров (cwt) на акр = 625 кг/га), затем производится основательная культивация дисковыми боронами. Все это являлось достаточной предварительной разработкой для посева травяных смесей. Не встречалось надобности ни в глубокой вспашке ни в раздроблении уплотненного слоя.

### Уход за орошаемыми почвами

Существенными чертами ухода за орошаемыми почвами являются:

- 1) исключение растворимых солей;
- 2) удаление избытка воды из почвы и понижение уровня почвенной воды.

### Проблема солей и воды

Соли натрия могут попадать в орошаемую почву двумя путями:

- 1) с водой, применяемой для ирригации;
- 2) через просачивание из вышележащей местности.

Степень вредного действия зависит от структуры почвы и от дренажа; так, например, легкая песчаная хорошо дренированная почва наиболее вынослива к солям, почва же тяжелая и плохо дренируемая наименее вынослива.

Содержание солей в некоторых ирригационных водах приведено в таблице 68.

Движение воды в почве должно контролироваться насколько возможно строго. Почва часто содержит растворимые соли, которые растворяются в воде и могут выноситься в более глубокие слои, где они накапливаются, убивают растительность и в конце концов делают почву бесплодной. Можно указать много моментов вреда, происходящего благодаря просачиванию воды. Вообще распреде-

<sup>1</sup> П. Э. Мюллер полагал, что *P. Montana* помогала азотному питанию *Picea*, увеличивая фиксацию азота. Этот взгляд в настоящее время оставлен; более вероятным является затенение почвы, препятствующее росту вереска и других растений, которые ассимилируют нитраты и производят кислый гумус, препятствуя таким образом накоплению нитратов в почве.

<sup>2</sup> Fr. Weis, Det. Kgl. Danske Videns. Selskab. Biol. Medd., 1929, 7, № 9, 1—196; Proc. Int. Soc. Soil Sci., 1929, 4, 254.

<sup>3</sup> T. H. Easterfield, T. Rigg and J. A. Bruce, New Zealand Journal Sci. and Tech., 1929, 11, 231.

ление солей очень неравномерно: некоторые пятна могут содержать их больше, чем остальная почва. Эти пятна должны быть отмечены при почвенной съемке<sup>1</sup> и тщательно исключены из ирригационной системы; затруднения, вызываемые солями, в таком случае значительно уменьшаются. Этот прием не так расточителен, как это кажется, так как при большинстве ирригационных систем имеется гораздо больше земель, чем может быть орошено.

Необходимо принимать все доступные меры, чтобы избежать утечки воды из каналов; цементная обшивка редко доступна, и обычно применяются менее дорогие способы, как, например, дре-

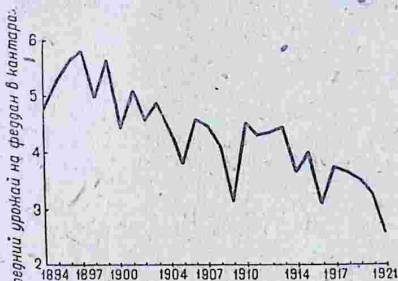


Рис. 35. Урожай хлопка (волокна), в кантарах на феддан, в Египте за ряд лет после начала интенсивного орошения (1 кантар = около 100 англ. фунтов; 1 феддан = 1,038 акра = 0,42 га) (E. Mckenzie Taylor и A. C. Burns)<sup>2</sup>.

нажная канава вдоль нижней стороны канала для собирания просачивающейся воды. Дренажные воды орошаемой земли следует отводить в определенное место, где они не могут причинить вреда.

При орошении ни в каком случае не следует тратить больше воды, чем это необходимо для растений, так как все вредные действия солей, занесенных с ирригационной водой, при этом усугубляются.

Ирригация может поднять также уровень грунтовой воды, а так как грунтовая вода вообще содержит большие количества солей, то поднятие ее может испортить значительную площадь и зачастую способствовать задушению корней от недостатка воздуха. На рисунке 35 показано падение урожая хлопка в Египте с тех пор, как там начали применять интенсивное орошение.

Засоленные почвы, образовавшиеся из нормальных почв благодаря занесению солей с грунтовой водой, называются русскими

<sup>1</sup> Как пример подходящей почвенной съемки см. Imperial Bureau Soil Sci., Tech., Comm. № 15, 1930, South Africa.

<sup>2</sup> Tech. Bull., 25, 1922, Egyptian Min Agric.

почвоведрами «ретроградированными» щелочными почвами. Виленский (1930) дает детали морфологических изменений их. Вообще, горизонт карбоната кальция остается ненарушенным, но сульфаты и хлориды перемещаются кверху. Хлористый кальций появляется на поверхности в первую очередь; хлористый натрий и сульфат натрия приходят позднее. Однако если почва дренирована, то сульфат кальция исчезает из поверхностного слоя последним. Таким образом, в ретроградированных щелочных почвах гипс оказывается выше горизонта карбоната кальция, а не ниже его, как в солонцах. Освоение этих почв может быть выполнено лишь при понижении уровня грунтовой воды, что является часто чрезвычайно затруднительным.

### Образование карбоната натрия («черной щелочи») в почвах

Там, где натриевая глина находится в естественных условиях или образовалась благодаря заносу натриевых солей, гидролиз их ведет к условиям, очень не благоприятным для растений: щелочность, вязкость и образование ортштейна с сопровождающим его застоём воды—все это является очень вредным. Гидрат окиси натрия и карбонат, образующиеся одновременно, обнаруживают легко свое присутствие, так как они растворяют некоторое количество гумуса, образуя черный раствор, который собирается в небольших впадинах и при испарении оставляет черные отложения. Поэтому фермеры западных штатов в США уже давно дали таким почвам название черной щелочи, по справедливости связывая их с плохими условиями и приписывая им эти условия. Такие почвы были отмечены в Египте и СССР, и немало работ было посвящено выяснению их происхождения.

Исследования эти играли столь важную роль в развитии современной науки о почве, что мы считаем необходимым дать обзор их.

Работа началась французскими химиками в последние годы XVIII века. Бертолле предполагал, что образование карбоната натрия происходило благодаря взаимодействию хлористого натрия и карбоната кальция<sup>1</sup>. Эта гипотеза была повсеместно принята в Европе и поддерживалась школой Хильгарда в Калифорнии и физико-химиками Почвенного бюро в США<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> C. Bertollet, Observations sur le Natron, Journ. de physique, de chimie et d'hist. nat., 1800, 51, 1—9. Интересное изучение «Vallée des lacs de natron» в Египте.

<sup>2</sup> Hilgard and Weber, Amer. Soc. Promotion Agric. Sci., 1888; Hilgard, Cal. Exp. Sta. Rept., 1890, 87; Jaffa, ibid. 100; F. Cameron, U. S. Dept. Agric. Bureau of Soils, Bulls. 17 и 18, 1901; W. P. Kelley, The Effect of Nitrate of Soda on Soils, Cal. Exp. Sta. Rept. 1916, стр. 59; J. F. Breazeale, Formation of Black Alkali (Sodium Carbonate) in Calcareous Soils, Journ. Agric. Rs., 1917, 10, 541.

Камерон<sup>1</sup> и вслед за ним Холл и Миллер (1905) ввели два различные биологические объяснения, оба предполагающие, что карбонаты могут образоваться растущим растением, но Камерон

Таблица 68

Общее количество растворимых твердых веществ в воде, применяемой для орошения

|                                               | Частей на миллион |                  |
|-----------------------------------------------|-------------------|------------------|
|                                               | Пригодные воды    | Непригодные воды |
| Белый Нил . . . . .                           | 150               | —                |
| Голубой Нил . . . . .                         | 120               | —                |
| Река Муррея (Австралия) . . . . .             | 96,5              | —                |
| Бомбей (долина «Нира») хорошая вода . . . . . | 470               | —                |
| » » плохая вода . . . . .                     | —                 | 1350—3600        |
| Канал Оуда (Oudh) . . . . .                   | 212               | —                |
| Колодец Оуда . . . . .                        | —                 | 1000             |
| Почва Арканзаса (Рокки Форд) . . . . .        | —                 | 2000             |
| Река Иордан (штат Юта) . . . . .              | 890               | —                |

объяснял это избытком поглощения растениями щелочных оснований над кислотами, и этот избыток после перегнивания растений должен был оставаться в почве в виде щелочных карбонатов; между тем Холл делал как раз обратное допущение, предполагая избыток поглощения кислот (т. е. нитратных ионов) над основаниями, вследствие чего щелочные карбонаты оставались в почве.

Та и другая гипотезы оказались неудовлетворительными. Объяснение, принятое в настоящее время, было впервые выдвинуто в результате остроумных исследований Поля де-Мондезира в 1888 г.

Найдя хлористый кальций в водной вытяжке одной почвы близ моря, он утверждал, что эта соль должна была образоваться из хлористого натрия. Но куда ушел натрий? Его было слишком много, чтобы он мог быть извлечен урожаями растений, и Мондезир заключил, что он должен был быть поглощен почвой. Прямые лабораторные опыты показали, что почва реагировала с хлористым натрием, давая хлористый кальций и некоторые нерастворимые соединения натрия. После удаления хлористого кальция соединения натрия легко распадалась в присутствии  $\text{CO}_2$ , давая карбонат натрия, и, при последовательной обработке почвы сначала хлористым натрием, потом водой и в заключение  $\text{CO}_2$  и водой, Мондезиру удалось приготовить 100 г карбоната натрия из 1 кг почвы. Объяснение Мондезира, таким образом, сводилось к тому, что хло-

<sup>1</sup> Камерона привело к его исследованиям популярное в западных штатах (США) убеждение, что некоторые растения, а особенно *Sarcobatus vermiculatus* (из сем. *Chenopodiaceae*), превращают в почве безвредные соли в карбонат натрия.



ристый натрий реагирует не с карбонатом кальция, а с почвой, образуя натриевый поглощающий комплекс, который после удаления хлористого кальция может быть разложен с помощью  $\text{CO}_2$  или карбоната кальция.

Работа Мондезира, к сожалению, была не замечена, и американские исследователи продолжали основывать свои изучения на старой гипотезе Бертоле. Тридцать четыре года спустя то же самое объяснение было выдвинуто Гедройцем (1912), который не упоминает работы Мондезира и был, очевидно, незнаком с последней. Но по любопытному совпадению и работа Гедройца в свою очередь оставалась незамеченной за пределами СССР целые 12 лет, пока она не была переведена с русского языка Департаментом земледелия США и не стала доступной научным работникам других стран.

Изучая русские щелочные почвы, Гедройц сделал наблюдение, что количества карбоната натрия, извлекаемые водой, уменьшались при последовательных экстракциях, но в меньшей степени, чем если бы карбонат натрия существовал в почве, как таковой. Он заключил отсюда, что карбонат натрия или задерживался благодаря поглощению или что он продолжал непрерывно образовываться в почве.

Далее он показал, что количество вымываемого углекислого натрия понижалось при прибавлении хлористого или сернокислого натрия, но возрастало после удаления этих солей. Этот результат не допускает выбора между двумя возможностями, но подтверждает обе их: если карбонат натрия задерживается благодаря поглощению, то последнее должно усиливаться при хлористом и сернокислом натрии, и обратно—если он образуется в почве, то он не может образоваться прямо из хлористого или сернокислого натрия, как предполагали раньше.

После этого Гедройц прибавил к почве хлористый натрий и углекислый кальций и экстрагировал ее водой, но получил при этом только незначительное количество карбоната натрия. Наконец, он прибавил только хлористый натрий, экстрагировал водой, и уже затем добавил карбоната кальция, экстрагировал вновь и получил значительное количество карбоната натрия, гораздо большее, чем получалось без прибавления хлористого натрия<sup>1</sup>.

Повидимому, образование карбоната натрия происходило в три стадии:

- 1) реакция между хлористым натрием и почвой;
- 2) выщелачивание растворимых продуктов;
- 3) реакция между нерастворимым продуктом натрия и карбонатом.

<sup>1</sup> A. B. Cummins and W. P. Kelley (Univ. Cal. Agric. Exp. Sta., Tech. Paper №3, 1923) независимо от Гедройца пользовались этим методом для превращения кислой почвы сначала в нейтральную и затем в щелочную, и, таким образом, они демонстрировали простейшее отношение между кислотностью и щелочностью почвы.

Простейшим объяснением являлось предположение, что хлористый натрий реагировал с «цеолитными силикатами», образуя натриевую глину, которая затем уже реагировала с карбонатом, давая карбонат натрия и кальциевую глину. Парализующее влияние хлористого натрия и сульфата натрия естественно происходит вследствие того, что эти соли мешают обмену между карбонатом кальция и натрием глины.

Это объяснение происхождения карбоната натрия послужило ключом для обработки «черных щелочей». Рекомендованное ранее простое вымывание карбоната водой является, очевидно, недостаточным средством до тех пор, пока глина остается натривой глиной: для коренного исправления почвы является необходимым замена в поглощающем комплексе натрия кальцием; следующим шагом явится уже предупреждение дальнейшего образования натривой глины.

Хильгард в некоторых случаях с большим успехом применял сульфат кальция (гипс), если представлялась возможность организовать надлежащее затопление и дренаж почвы. Но при определении потребного количества гипса он принимал во внимание только карбонат натрия, вымываемый из почвы водой.

### Превращение щелочных почв в известковые; освоение щелочных почв

При освоении или превращении щелочных почв в известковые имеются три стадии.

1. Замещение натрия в поглощаемом комплексе кальцием, производимое с помощью гипса.
2. Удаление сульфата натрия, образовавшегося при этом замещении, и исключение всякого нового притока натрия.
3. Нейтрализация щелочности.

Последнее является естественным следствием, если осуществляются первое и второе, но оно может быть облегчено другими путями, что ускоряет весь процесс.

Превращение щелочных почв в известковые может быть достигнуто обработкой щелочной почвы сульфатом кальция, причем имеет место двойное разложение—образование кальциевой глины и сульфата натрия, который может быть вымыт. Если дренаж хорош и возможно применение больших количеств гипса, то процесс проходит удовлетворительно. Однако безусловно необходимым требованием является недопущение нового притока натрия. Польза от этого может быть еще большей благодаря тому, что гипс усиливает проницаемость почвы и облегчает удаление натрия. Это очень хорошо было показано в опытах Грина в Гезире (рис. 36)<sup>1</sup>. Почва здесь была тяжелой щелочной глиной и очень непроницаемой. Она была затоплена в апреле, и затем через некоторый интервал вре-

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1928, 18, 531.

мени определялся процент влажности на различных глубинах. Воды больше не давалось, и второй ряд определений был сделан в октябре. В декабре почва была опять орошена, и распределение солей определялось вновь. Без гипсования вода оставалась близ поверхности, при возрастающих же дозах гипса она проникала в почву все глубже и глубже. Высушивание происходило в первых 2 футах одинаково с применением и без применения гипса, но оно не равно затрагивало более глубокие слои. Запасы воды, прошедшие в глубину, при более сильных дозах гипса оставались.

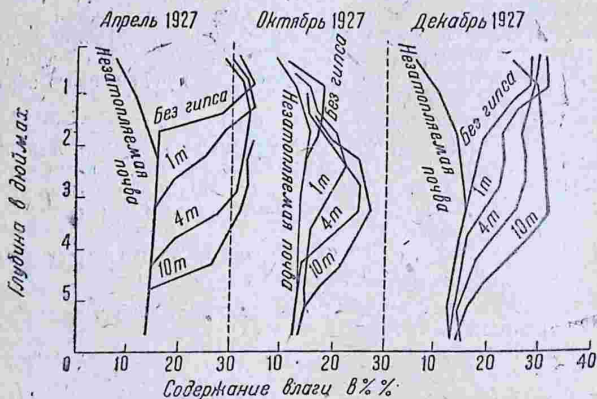


Рис. 36. Эффект гипса на проницаемость почвы. % влаги на различных глубинах незатопляемой почвы (левая линия) и затопляемых почв (правые линии), обработанных различными количествами гипса (в тоннах на акр) (H. Green).

Значительные улучшения дает обычно зеленое удобрение. С этой целью возделываются растения с глубокими корнями, как, например, донник (*Melilotus alba*), люцерна и т.д.; они выносившие к солям, поглощают некоторое количество их и пробивают ходы через компактные слои, оставляя после отмирания корней сеть каналов, по которым вода легко просачивается, не застревая на поверхности. Когда остатки этих или иных растений запахиваются после укоса сена, они прибавляют в почву гумус, который маскирует вредный эффект растворимых солей.

Как только улучшение осуществлено и культура этих почв становится возможной, необходимо строгое соблюдение трех правил.

1. Применение воды в возможно меньших количествах: система ирригации должна свести излишнюю воду к минимуму.
2. Хороший дренаж.



3. Возделывание растений и сортов, выносливых к солям; для этих целей очень подходит рис, а в Египте—динеба (*Panicum crus galli*).

**Искусственное кислование почвы.** При некоторых условиях является необходимым передвинуть реакцию почвы в направлении большей кислотности, как, например, при разделке щелочных почв (стр. 263) или в случае необходимости сделать почвенные условия менее благоприятными для некоторых нежелательных растений или животных организмов (стр. 425).

В этих целях на практике применяются три метода.

1. В почву вносится порошкообразная сера (серный цвет) в дозе 2 500—3 750 кг/га. Она подвергается окислению под влиянием некоторых почвенных бактерий, образуя серную кислоту (стр. 309).

Однако сера может замедлить нитрификацию, если почва делается слишком кислой, и в этом случае она не будет способствовать улучшению роста растений<sup>1</sup>, как можно было бы ожидать.

2. Применяется сульфат закиси железа или алюминия. Происходит гидролиз и освобождается свободная серная кислота.

3. Применяется сульфат аммония. Он вступает в реакцию с карбонатом кальция в почве, образуя гипс, который вымывается. Потеря кальция ведет постепенно к закислению почвы (стр. 202).

#### Освоение засоленных почв в США

Проблема щелочных почв являлась одной из больших трудностей для прежних поселенцев в западных штатах, и она детально изучалась Хильгардом, основателем Калифорнийской школы почвенных исследований. Результаты, полученные им, собраны в ряде отчетов и были обработаны им в его книге о почве (1906); он подчеркивал значение обработки почвы гипсом и орошения и открыл пути для исследований, которые могли бы продолжать его преемники.

Методы разделки изучались Келли и его коллегами в Фресно, в долине Сан Хоакин (San Joaquin) в Калифорнии. Эта долина очень широка, и уровень ее в этом месте находится около 300 футов ниже уровня океана. Почва—легкий песчаный суглинок, содержащий карбонат кальция в небольших, но в очень колеблющихся количествах; почва подстилается твердым уплотненным известковым орштейном, который, однако, проницаем для воды. Первоначально здесь практиковалась непрерывная культура пшеницы, потом ячменя и затем, с развитием оседлости, развились фруктовые культуры. Для этой цели потребовались разрушение орштейна (часто с помощью взрывчатых веществ) и ирригация, которая была введена без дренажа в большом масштабе. С 1890—1900 гг. район Фресно представлял собой обильные виноградники; уровень грунтовой воды находился на 80 футов ниже поверхности, но да-

<sup>1</sup> Rept. of Govt. Chemist, Khartoum, 1928.



лее, по мере развития ирригационной системы, уровень грунтовых вод поднимался, что случается очень часто; на почве стала выступать пятнами соль, принесенная снизу, что вызывало сначала побурение листьев, а позднее—гибель растений.

Земля, свободная от растительности, имеет обычно пятнистый вид: на ней замечаются черные пятна, где почва, засыхая, делается твердой, как камень, и при обработке распадается в хлопья; другие пятна блестят частицами песка; в некоторых местах растут сорные травы, в особенности *Atriplex bractiosa* и *Tissa salina*, и, наконец, в некоторых местах возможна культура выносливых растений, как, например, донника (*Melilotus alba*). Дождь уплотняет почву так сильно, что вода остается на поверхности и не просачивается, за исключением мест, где рос донник. Коротко говоря, эта почва—натриевая почва<sup>1</sup>.

Келли (1928) начал свои опыты освоения в 1919 г. Его главный метод состоял в том, чтобы вызвать обратный процесс: понизить уровень грунтовой воды, удалить соли и, наконец, восстановить кальций в поглощающем комплексе.

Предварительные опыты показали, что вымыванием удалялся хлористый натрий, но не карбонат кальция—в настоящее время это совершенно понятно (стр. 258).

Применение гипса с последующим затоплением оказалось вполне эффективным. Однако для полной эффективности требовалось гипса 12 т/акр (27 т/га); это понижало pH с 10 до 7,3. Меньшие количества были слабо эффективны. Лучшие результаты получались при применении серы в дозе 3 600 фунт/акр (4 000 кг/га). Первоначально не замечалось перемен, но года через три произошло резкое улучшение, выразившееся в прекрасном росте люцерны. Сера превращалась в серную кислоту (стр. 264), что давало двойной эффект: она нейтрализовала карбонат натрия и переводила кальций в раствор в виде сульфата кальция, который продолжал оказывать действие, как гипс. В течение семи лет весь карбонат натрия и некоторое количество карбоната кальция были удалены из толщ верхних 2 футов почвы. Лучшим способом применения серы оказалось действие ее без орошения в течение двух лет, с достаточной поверхностной обработкой почвы, для поддержания верхнего разрыхленного слоя (мульчи); в течение этого времени окисление в серную кислоту и реакция с карбонатами завершались; после этого давалось достаточное количество воды для удаления сульфата натрия и, наконец, высевался донник и запахиался на зеленое удобрение. После этого участок становился готовым для других культур, и люцерна росла очень успешно. Это восстанавливает органическое вещество почвы и разбивает известковый орштейн, открывая, таким образом, путь для плодовых культур.

<sup>1</sup> В этой почве не замечалось столбчатого строения солонца, и она скорее походила на солончак.

## Освоение венгерских засоленных почв (Szik)

Засоленные почвы встречаются в Европе, главным образом в СССР и в Венгрии. Русские исследования уже были описаны нами. Венгерские исследования вследствие трудности языка менее известны, чем они того заслуживают; однако в последнее время венгерские работы были собраны Сигмондом (1927)<sup>1</sup>. Эти почвы известны под именем почв «Szik» и распадаются на два главных типа: натриевые Szik, соответствующие солончакам, — они содержат растворимые соли и колеблются от легких песчаных до среднетяжелых почв, богатых карбонатом кальция, но подстилаемых очень непроницаемым слоем, и тяжелые глинистые, очень сходные с тяжелыми глинистыми солонцами, содержащие в поглощающем комплексе обменный натрий, но обычно не содержащие растворимых солей или карбоната кальция. Разделка натриевых засоленных почв производится с помощью вымывания солей, и для этой цели были разработаны специальные методы. Тяжелые глинистые почвы разделяются:

а) прекращением поднятия солей вверх; это достигается уменьшением испарения с поверхности почвы с помощью культивации, а также культурой люцерны, которая иссушает почву и таким образом останавливает поднятие солей;

б) с помощью разрушения уплотненного слоя, который делается рыхлым при применении карбоната кальция, дефекационной грязи, гипса и навоза, выделяющего углекислоту и, таким образом, способствующего растворению карбоната кальция;

в) на одном типе этих почв практикуется применение мергеля, добываемого из подпочвы и разбрасываемого на поверхности.

## Освоение почв, поврежденных морской водой

Интересные наблюдения над образованием натриевой глины от затопления морской водой были сделаны Даймондом (Dymond) в 1897—1899 гг.<sup>2</sup> Первым следствием затопления была гибель растительности от прямого действия солей, но, по прекращении затопления и когда дождевая вода начинала вымывать соли, замечалась интересная цепь явлений. Почва сначала получала «замечательно хорошие свойства, хорошо пахалась и образовала прекрасный слой для развития семян» (Seed bed). Но при дальнейшем удалении солей «эти свойства постепенно нарушались, пока почва не делалась чрезвычайно трудной для обработки и в сухое время затвердевала, как камень». Глина деагулировалась и могла оставаться неде-

<sup>1</sup> См. также A. A. J. de'Sigmond, A. Arany and A. Herke, Proc. First Int. Cong. Soil Sci., 1927, 2, 512; также A. A. J. de'Sigmond, Imperial Bureau Soil Sci., 1932, Tech. Communication № 24.

<sup>2</sup> Отчет о повреждении с.-х. площади на берегу Эссекса наводнением морской водой 29 ноября 1897 г.; Chelmsford, 1899.

ллями в суспензии, тогда как почва с затопленного участка осаждалась в течение нескольких часов<sup>1</sup>.

Даймонд доказал, что эффект этих солей выражался в вытеснении кальция и магния из глины и утверждал, что место их занимал натрий. Он приписывал первоначальные благоприятные физические свойства коагуляции, производившейся небольшим количеством оставшихся солей; но когда последние вымывались, глина становилась чрезвычайно декоагулированной.

Наблюдения Даймонда вполне согласуются с голландскими опытами, в связи с проблемой Зюдерзее. Затопляемые почвы «Kwel-dergtonden» остаются открытыми и порозными до тех пор, пока они подвергаются случайным наводнениям, но когда потом их защищают плотинами, то под действием дождя они постепенно теряют соли и становятся вязкими, непроницаемыми для воздуха и воды в мокром состоянии и очень твердыми в сухом<sup>2</sup>.

В последнее время в Голландии начат грандиозный план освоения на Зюдерзее и усиленное изучение методов разработки земли, бывшей под морем. Этот план состоит в следующем:

- а) отделение Зюдерзее с помощью плотины поперек устья его;
- б) выделение из образовавшегося таким образом озера четырех обширных площадей земли, называемых польдерами.

Центральная, глубокая часть озера останется под водой и образует озеро Иссель, поверхностью около 110 тыс. га; поверхность его будет на 40 см ниже нормального уровня моря в Амстердаме. Это озеро будет получать воду из реки Иссель, и вода его станет пресной, а не соленой, как в настоящее время.

Опреснение воды в озере Иссель будет иметь громадную ценность для северной Голландии, где в настоящее время вода во время засухи находится в таком недостатке, что расход ее для скота приходится сильно сокращать. После разделки будет введена система ирригации и обводнения этих северных районов.

В Андейке (Andijk) имеется опытный польдер, площадью 110 акров, на котором испытываются различные методы культуры и удаления солей из почвы. В почве еще остается некоторое количество солей, но уже не препятствующее культуре; наиболее ус-

<sup>1</sup> Интересный пример отметил впоследствии Э. Хальтон в North Lincs. Почва здесь была первоначально весьма плодородной и считалась особенно пригодной для пшеницы и бобов; в 1921 г. она подверглась затоплению морем и сделалась бесплодной. С тех пор она не затоплялась больше, но остается чрезвычайно вязкой и в мокром состоянии и твердой, как бетон, — в сухом, так что обработка ее становится невозможной; даже дикие растения с трудом растут на ней (H. J. Page and W. Williams, Journ. Agric. Sci., 1926, 16, 551—573). В 1931 г. эта почва еще проявляла признаки разрушения, но дикий белый клевер, посеянный в смеси трав, уже рос хорошо. Выяснилось, что дренажные воды в глубине были забиты декоагулированными частицами.

<sup>2</sup> Отчет об этих почвах см. у Hissink, отчет в Verslagen Proefstation, № 29, 170—184, 1923. Abstract in Bied. Zentr. 1924, 53, 306—311.



пешно растут ячмень, сахарная свекла, рапс, кормовая свекла и картофель; горох и бобы растут не так хорошо<sup>1</sup>.

Улучшение этой почвы детально изучалось Хиссинком<sup>2</sup>, отчеты которого заключают в себе наиболее важную информацию о результатах, полученных при разделке земли морского дна. Хиссинк показывает, что почва вскоре после удаления с нее морской воды становится неплодородной, так как содержит натриевую глину; существенной операцией при разделке является, таким образом, превращение этой почвы в кальцевую глину. К счастью, эта почва содержит так много кальция, что дополнения его не требуется, за исключением:

- 1) надлежащего дренажа для вымывания хлористого натрия и
- 2) возделывания растений, способствующих образованию в почве углекислоты, которая переводит кальций в раствор и способствует взаимодействию его с поглощающим комплексом, образуя кальцевую глину.

Процесс этот требует времени; он идет с поверхности вниз, но как только пахотный слой приведен в хорошее состояние, то можно уже приступить к возделыванию растений, и присутствие неизменной натривой глины в подпочве уже не представляет неудобств.

Интересные наблюдения были сделаны над свойствами натривой глины. В сыром состоянии она вязка, бесплодна и крайне влажна: она может содержать до 200 г воды на 100 г сухой почвы и избыток солей, вредный для растительности. На второй год она значительно высыхает, и много солей вымывается из нее дождями, но их остается еще достаточно для коагуляции глины, так что она теряет свою вязкость. Действительно, ее структура может быть даже лучше, чем в нормальной почве: если бы это состояние могло поддерживаться, то на этих почвах возможно было бы с большим успехом возделывать с.-х. растения. Но вымывание солей дождями продолжается, и на третий год вымывается так много, что глина уже не остается в коагулированном состоянии, но становится вновь вязкой и трудной для обработки. На четвертый год кальций начинает действовать, и образуется нормальная кальцевая глина, с которой голландские фермеры умеют обращаться и к которой подходят возделываемые ими растения и способы возделывания их.

В таблице 69, взятой по Хиссинку, показано, как отношение двухвалентных и моновалентных обменных оснований в некоторых из этих почв влияет на физические свойства их в отсутствии солей.

Дренаж осуществляется первоначально естественным высыханием почвы, которое начинается, когда почва содержит до 200 г воды на 100 г сухой почвы. Затем прокладываются дренажи или

<sup>1</sup> De afsluiting en gedeeltelyke droogmaking van de Zuidersee, 1930.

<sup>2</sup> Rapporten met betrekking tot de bodemgesteldheid van de Wieringermeer en van den Andijker Proefpolder, 1929, № 1, стр. 81—288. British Association Rpts., 1931.



Таблица 69

Влияние пропорции двухвалентных оснований к одновалентным на физические свойства некоторых голландских почв

| Физическое состояние                | 100 частей обменных оснований содержат |      |                      |     |      | Сумма моно-валентных |
|-------------------------------------|----------------------------------------|------|----------------------|-----|------|----------------------|
|                                     | Ca                                     | Mg   | Сумма двух-валентных | K   | Na   |                      |
| Хорошее. Нормальная глина . . . . . | 79,0                                   | 13,0 | 92,0                 | 2,0 | 6,0  | 8,0                  |
| Довольно хорошее . . .              | 65,8                                   | 17,6 | 83,4                 | 4,0 | 12,6 | 16,6                 |
| Плохое . . . . .                    | 42,1                                   | 25,0 | 67,1                 | 6,5 | 26,4 | 32,9                 |

осушительные каналы. Типичной является мелкая обработка, так как с глубокой обработкой приносилось бы слишком много влажной почвы, содержащей много натриевой глины или натриевых солей. Главными культурами являются ячмень, сахарная свекла, кормовая свекла, рапс и картофель. Эти почвы очень плодородны и, повидимому, не требуют никаких искусственных удобрений.

### Образование ортштейна

Название «ортштейн» (англ. «Pan») дается твердому компактному слою, который образуется во время оподзоливания или осолодения на глубине около 25 см и более от поверхности почвы. Как было сказано выше, ортштейн бывает двух родов.

1. Железистый и гумусовый ортштейн, образующиеся осажждением гумуса и окиси железа вместе с глиной и глиноземом в более или менее глубоких слоях кислых почв; это является частью процесса оподзоливания (стр. 225), который имеет место в условиях влажности и кислотности.

2. Ортштейн, образующийся в натриевых (засоленных) почвах, в условиях засушливости и щелочности.

Много работ было проведено по изучению железистого ортштейна, который образуется в условиях торфянистых почв в северной Европе, т. е. подзолистого ортштейна. Прежние объяснения были чисто химические; предполагалось, что основания, так же как и гуматы, вымывались, железо первоначально восстанавливалось до закисных форм; так как окисные гуматы железа являются нерастворимыми. Этот взгляд поддерживался С. Emeis<sup>1</sup> и Адольфом Майером<sup>2</sup>. Но при этом не удавалось объяснить многих фактов, в особенности в отношении осаждения. Раманн (1911) развивал идею, что образование ортштейна являлось коллоидальным

<sup>1</sup> Waldbauliche Forschungen u. Betrachtungen, Berlin, 1875.

<sup>2</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1903, 58, 161.

явлением, с дисперсией первоначально и с последующей коагуляцией. Этот взгляд удовлетворительно объясняет все факты и согласуется с современными концепциями изменений в почве, и в настоящее время повсеместно принят. Орштейн связан с вопросом большой технической важности, так как он препятствует свободному развитию корней и, таким образом, отрезывает растения от запасов подпочвенной воды; с другой стороны, он временно задерживает избыток воды и препятствует просачиванию ее вглубь. Таким образом, растения страдают от двух крайностей: то от засухи, то от застоя воды, что одинаково плохо для роста.

Неизвестны еще никакие химические методы освобождения от орштейна. Его можно разбивать механически при глубокой обработке и с помощью растений с глубоко идущими корнями, как, например, люцерна, или же, если он очень тверд, то можно разрушать его взрывчатыми веществами, специальные типы которых были выработаны для этой цели<sup>1</sup>. Кислые почвы, однако, необходимо нейтрализовать известью, иначе орштейн будет образовываться снова.

### Эффект высушивания и нагревания почвы

Когда почва высушивается или нагревается, в особенности, когда то и другое происходит в одно время, как, например, летом, то совершаются изменения, которые пока еще не могут быть удовлетворительно объяснены; неизвестна также относительная важность при этом температуры и высушивания в отдельности.

1. Растворимость фосфорной кислоты, неорганических электролитов и органического вещества увеличивается как от высушивания почвы при комнатной температуре<sup>2</sup>, так и от нагревания влажной почвы<sup>3</sup>. Эти изменения становятся обратными, если почва оставляется холодной и влажной на достаточно долгое время: растворимость фосфорной кислоты и неорганических солей падает до уровня невысушенной почвы, растворимость же органического вещества остается, однако, всегда несколько повышенной.

2. Содержание нитратов имеет тенденцию к понижению как при высушивании, так и при нагревании.

<sup>1</sup> См. R. S. Smith, *Experiments with Subsoiling, deep Tilling and Subsoil Binamiting*, Illinois Exp. Sta., Bull. 258, 1925.

C. W. Burrows, *Land Clearing by Explosives*, Agric. Gaz. N. S. Wales, 1919, 30, 153—167, 381—390.

P. H. Haviland, *The Use of Explosives on the Farm* Rhodesia Agr. J., 1928, 25, 435—450.

E. R. Cross, *The Use of Explosives in Agriculture*, New Jersey Exp. Sta., 1923, Circ. 159.

G. R. Boyd, *The Use of Explosives in Clearing Land*, Proc. Int. Cong. Soil Sci. (Wash.), 1927, 4, 765—770.

A. Bruttini, *The Use of Explosives in Agriculture*, L'Agricoltura Ital., 1919, № 4, стр. 21—31.

<sup>2</sup> J. L. Steenkamp, *Soil Sci.*, 1928, 25, 163—182, 239—251, 327—332.

<sup>3</sup> A. Achromeiko, *Zeit. f. Pflanz. Düng.*, 1928, A, 11, 65—82.

Объем этих эффектов зависит от типа почвы; в русских работах он был всегда значительнее для чернозема, чем для подзолов.

3. Свойства глины—почвы становятся менее выраженными; частицы глины цементируются и действуют, как частицы пыли или тонкого песка. Так, например, почва Гезиры (Судан) представляет собой очень тяжелую глину, которую было бы невозможно обрабатывать в Англии. В этом же жарком и сухом климате она легко распадается на комочки, как обыкновенный суглинок. Однако, до тех пор, пока не прибавлена вода.

Количество обменных оснований и обменного водорода в почве при переменах температуры или влажности, по видимому, меняется; это было показано Винокуровым<sup>1</sup> для полевых почв в разных условиях обработки в течение двух лет и Стинкампом<sup>2</sup> (J. L. Steenkamp) в Оксфорде для почв, высушенных при обычной температуре в лаборатории. Колъс (H. G. Coles) и Морисон<sup>3</sup> показали, что кислотность всех минеральных почв значительно повышалась при продолжительном нагревании при 98°, после чего следовало легкое понижение при дальнейшем нагревании. Эти изменения обратимы. Торф показывал медленные изменения, но лишь до тех пор, пока не была удалена вся вода, и после этого изменения становились необратимыми.

Как показано на стр. 179, изменения кислотности при высушивании почвы на воздухе, при обыкновенной лабораторной температуре, очень невелики.

Таким образом, высушивание и нагревание почвы увеличивают продуктивность ее, продолжительное же хранение сухой почвы дает дальнейшее повышение. В таблице 70 даются результаты опытов Гедройца<sup>4</sup> с овсом, выращенным на почвах, хранившихся несколько лет.

Таблица 70

*Эффект хранения почвы в сухом состоянии на ее продуктивность.*

Овес по Гедройцу. В г на сосуд

| Число лет хранения | Без удобрений | Полное удобрение | Без азота | Без фосфора |
|--------------------|---------------|------------------|-----------|-------------|
| 0                  | 10,3          | 83,5             | 13,5      | 11          |
| 1                  | 17,8          | 83,9             | 32,0      | 19          |
| 3                  | 24,6          | 90,9             | 23,6      | 35,4        |
| 5                  | 25,0          | 102,8            | 32,2      | 42          |

<sup>1</sup> Pedology (Почвоведение), 1928, № 3—4, 46—93.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1928, 25, 163—182, 239—251, 327—332.

<sup>3</sup> Soil Sci., 1930, 29, 58—70.

<sup>4</sup> Bull. Bureau Agric. Int. Inst., Rome, 1915, 6—37. О других результатах см. A. V. Gustafson, Soil Sci., 1922, 13, 173—213.

Явления эти не всецело физические, так как они сопровождаются важными биологическими изменениями, в результате частичной стерилизации. Прескотт при своих исследованиях сделал запись этих изменений при высушивании египетских почв<sup>1</sup>, а Лебедянец<sup>2</sup>—при изучении русских почв (стр. 379).

<sup>1</sup> Замечательный эффект высушивания («Sharaq») описан, Prescott Journ. Agric. Sci., 1919, 216—236 и 1920, 10, 177; Mosseri, Int. Review Sci. and Practice of Agric., Rome, 1926, New Ser. 4, 1.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1924, 18, 419—447, а также Journ. Landw. Wissensch. 1926, 3, 243—258.



## ГЛАВА V

### ПОЧВА В ПРИРОДЕ. ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ

Органическое вещество почвы произошло первоначально из органических соединений, построенных растениями из углерода, углекислоты воздуха; некоторая часть его, однако, подвергалась видоизменениям с помощью микроорганизмов и других агентов в почве. Оно является по существу преходящей составной частью, так как постоянно пополняется прибавлением новых запасов, старые же материалы постоянно разлагаются, но во всякой данной почве различные процессы приходят к известного рода равновесию, так что содержание органического вещества остается довольно постоянным как по количеству, так и по составу до тех пор, пока общие условия остаются прежними. Однако это равновесие—подвижное, и изменения совершаются постоянно, причем они имеют тенденцию взаимно уравниваться.

Мы рассмотрим сначала накопление органического вещества, а затем разложение его.

#### Накопление органического вещества в почве

Накопляющееся в почве органическое вещество представляет собой разность деятельности растений в созидании свежих материалов для пополнения запасов и деятельности микроорганизмов, разрушающих их. Высокая температура благоприятствует разложению органического вещества, а задержка в снабжении воздухом благоприятствует его накоплению. В условиях хорошего дренажа и высокой температуры преобладает действие разрушения: муравьи и микроорганизмы являются очень активными, и для накопления гумуса не создается благоприятных условий. Почвы с хорошей аэрацией, подвергающиеся действию средней температуры в  $25^{\circ}\text{C}$  и более, как, например, почвы Явы<sup>1</sup> и Гезиры (стр. 319), содержат

<sup>1</sup> E. C. S. Mohr, De Grond van Java en Sumatra, 2-е изд. 1930 г. (стенографированный английский перевод, выпущенный с.-х. колледжем Филиппинского университета, № 655).

очень мало гумуса или азота. В условиях же более слабой аэрации гумус накапливается.

В прохладных районах микроорганизмы менее активны, и их деятельность еще более уменьшается при сокращении доступа воздуха в почву; поэтому в этих случаях органическое вещество накапливается в больших количествах.

Органическое вещество может накапливаться на поверхности почвы или может перемешиваться с верхними слоями ее; определяющим фактором является почвенная реакция. В нейтральных почвах корни растений могут проникать глубоко (если только им не препятствуют твердая горная порода или уровень грунтовой воды), и дождевые черви движутся свободно, перетаскивая листья и стебли в свои норы, вынося почву снизу и оставляя ее на поверхности, где она покрывает всякие остатки растений, лежащие на почве (стр. 361). В кислых почвах участвующие агенты менее эффективны: дождевых червей мало или их совсем нет; корни растений не легко проникают вглубь (стр. 423), а имеют тенденцию оставаться в самом верхнем слое, где условия несколько более благоприятны. Могут иметь место два случая.

1. Кислые условия: органическое вещество выделяется как отдельный слой и называется в этом случае торфом, или сырым гумусом (от немецкого Rohhumus).

2. Менее кислые или нейтральные условия: органическое вещество перемешивается с почвой; при этом накопление органического вещества может иметь двойкий характер:

а) снабжение воздухом задерживается, так что происходит значительное накопление органического вещества: низинные болота, фены;

б) снабжение воздухом более значительно, так что накапливаются сравнительно небольшие количества гумуса: полевой гумус.

В настоящей главе мы будем касаться только последнего случая, который является более обычным в практике. Торфяные и феновые почвы рассматриваются в главе VIII.

## Разложение органического вещества в почве

Органическое вещество, прибавляющееся таким образом к почве, быстро разлагается; главными продуктами разложения являются  $\text{CO}_2$ , нитраты и органическое вещество почвы, кратко называемое гумусом. Разложение производится весьма разнообразными микроорганизмами, живущими в почве. В главных чертах оно является окислением; кислород поглощается и выделяется приблизительно равный объему  $\text{CO}_2$ <sup>1</sup>.

Процессы окисления. Актуальное количество кислорода, поглощаемое почвами в естественных условиях, определяется

<sup>1</sup> Впервые это было доказано Буссенго и Леви (1853).

несколькими различными методами; в Ротамстеде определение производится составлением счета баланса для органического углерода за целый ряд лет и нахождением темпа потерь его. Средний темп поглощения кислорода в течение года составляет цифру порядка около 2 л на 1 м<sup>2</sup> в день, что соответствует выделению около 4 г СО<sub>2</sub>. Определения другими работниками давали для августа более высокие, но все же сравнимые величины: поглощалось от 10 до 26 л кислорода и выделялось в день от 20 до 50 г СО<sub>2</sub> на 1 м<sup>2</sup>. Цифры даны в таблице 71.

Таблица 71

*Выделение СО<sub>2</sub> и поглощение кислорода в полевых почвах в естественных условиях*

|                                                       | Выделение СО <sub>2</sub> на<br>1 м <sup>2</sup> в день (в г) | Поглощение кисло-<br>рода на 1 м <sup>2</sup> в день<br>при 15° С (в л) |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Бродбок, удобряемая делянка . . . . .                 | 4,2 <sup>1</sup>                                              | 2                                                                       |
| Стоклаза и Эрнест (1905), пшеничное<br>поле . . . . . | 7,5 <sup>2</sup>                                              | 4                                                                       |
| Ларс-Гуннар Ромелль (1923) (август)                   | 13,20 <sup>3</sup>                                            | 7—10,5                                                                  |
| Люндегорд (1925) <sup>4</sup> (август) . . . . .      | 2,6—50                                                        | 1,4—26                                                                  |
| II. Хассе и Ф. Киршмейер <sup>5</sup> :               |                                                               |                                                                         |
| земля без растительности . . . . .                    | 1,6—4,8                                                       | —                                                                       |
| рожь . . . . .                                        | 5,4—10,2                                                      | —                                                                       |
| картофель . . . . .                                   | 11,8—12,7                                                     | —                                                                       |
| люцерна . . . . .                                     | 9,0—21 <sup>6</sup>                                           | —                                                                       |
| Г. Гумфельд <sup>7</sup> :                            |                                                               |                                                                         |
| незанятая земля . . . . .                             | 1,8                                                           | —                                                                       |
| занятая растениями . . . . .                          | 2—4,4                                                         | —                                                                       |

Окисление сопровождается выделением энергии. Цифры для Бродбока соответствуют приблизительно 10 калориям на 1 м<sup>2</sup> в день (стр. 365). Значение их обсуждается ниже (стр. 364). Таким образом, процесс этот является совершенно обратным тому, кото-

<sup>1</sup> Годовое выделение, разделенное на 365. Стоклаза и Эрнест принимают только 200 «активных» дней, что дало бы темп выделения 7,7 г/день—величину, очень близкую к их цифре. Но в Ротамстеде в год насчитывается более 200 активных дней.

<sup>2</sup> Общее выделение 13,5, но предполагается, что из них 6,6 происходят от корней пшеницы, а из почвы остальные 7,5.

<sup>3</sup> Выделение СО<sub>2</sub> лесными почвами, включая и выделения корнями деревьев. Только летние данные.

<sup>4</sup> Стр. 361 его книги; см. также Soil Sci., 1927 23, 417.

<sup>5</sup> Zeit. f. Pflanz. Düng., 1927, A, 10, 257—298.

<sup>6</sup> Было определено, что из этого количества 80% происходило от респирации корней.

<sup>7</sup> Soil Sci., 1930, 30, 1 (сентябрьские данные).

рый происходил в растениях первоначально во время построения органического вещества, когда энергия поглощалась с помощью хлорофилльного аппарата.

Окисление, однако, является не полным; всегда остается некоторый остаток и происходит вторичный синтез органического вещества микроорганизмами при построении ими веществ своего тела. Вещества, относительно более бедные углеродом (сахар, крахмал, целлюлеза), имеют тенденцию исчезать в первую очередь, причем углерод уходит быстрее, чем азот; поэтому окончательный гумус становится более богатым как углеродом, так и азотом, чем первоначальное вещество растений (табл. 72).

Таблица 72

Сравнение процентного содержания углерода и азота в составных частях растений и в почвенном гумусе

|                               | Процентный состав |             | Отношение C/N |
|-------------------------------|-------------------|-------------|---------------|
|                               | Углерод           | Азот        |               |
| Составные части растений      |                   |             |               |
| Сахар, крахмал . . . . .      | 40                | —           | —             |
| Целлюлозы, гемицеллюлозы . .  | 45                | —           | —             |
| Жиры, воск, масла . . . . .   | 45—60             | —           | —             |
| Лигнин . . . . .              | 63                | —           | —             |
| Протеин . . . . .             | 50                | 16          | 3             |
| Цельное растение              |                   |             |               |
| Сухое органическое вещество   | 45—50             | 1,5—3,5     | 15—30         |
| Растительные остатки и живые  |                   |             |               |
| Злаки . . . . .               | около 45          | 0,5 и менее | 90 и более    |
| Бобовые . . . . .             | около 50          | 2—3,5       | 13—25         |
| Перегнившие остатки           |                   |             |               |
| Искусственный навоз . . . . . | 56                | 2,6         | 20            |
| Грибной мицелий . . . . .     | 45                | 4—8         | 6—11          |
| Органическое вещество почвы   |                   |             |               |
| В целом . . . . .             | 58                | 5—6         | 10            |
| Гуминовая кислота . . . . .   | 56                | 5—6         | 10            |

Примечание. Эти цифры только приблизительны.

Изменения, влияющие на углерод, тесно связаны с изменениями, влияющими на азот. Азот может превращаться в нитраты



только в случае, если он превышает некоторое критическое количество по отношению к углероду—обычно отношение C/N равно 12 или менее. Когда пропорция углерода больше, то избыток его уходит в виде углекислоты, а азот остается в виде комплексного протеина; весь присутствующий аммиак или нитраты подвергаются также превращению в протеин. С другой стороны, если пропорция азота увеличивается, то избыток его превращается в нитраты, которые могут быть поглощены растениями или подвергнуты иным потерям из почвы. Каков бы ни был первоначальный состав внесенного растительного вещества и какова бы ни была форма его—будет ли это солома, листья или извержения животных,—конечный гумус имеет в основных чертах одинаковый состав и свойства, и его отношение C/N в районах умеренного климата составляет обычно 10—12; во всяком случае, если это отношение нарушается, то оно стремится опять возвратиться к этой нормальной величине<sup>1</sup>.

Эта тесная зависимость между углеродом и азотом вытекает из того факта, что разложение органического вещества производится микроорганизмами. Углеводы доставляют им материал энергетический и для роста, но при этом требуется соответствующее снабжение азотом, фосфатами и другими питательными веществами; последние ассимилируются и служат для построения составных частей их тела. Азот принимает участие в разложении в первую очередь. Он ассимилируется микроорганизмами, производящими разложение, и переходит из формы растительного протеина в протеин микроорганизмов.

Лайон, Биззель и Вильсон (1918) показали, что нитраты берутся из почвы при разложении растительных остатков, содержащих менее чем примерно 1,8% азота; это же количество, однако, поддерживает процесс самодовлеющим. Вещества, содержащие большие количества азота, увеличивают содержание азота в почве (табл. 74).

<sup>1</sup> Отсутствие влияния удобрений на изменение отношения C/N показывают следующие анализы (Пейджа и Гобсона) почв, подвергавшихся одному и тому же удобрению с 1852 г.

| Поле Барнфильд; кормовая свекла                | Дел. | % C  | % N   | Отношение C/N |
|------------------------------------------------|------|------|-------|---------------|
| Без всякого удобрения с 1843 г. . . . .        | 8—0  | 0,87 | 0,095 | 9,2           |
| Навоз с 1852 г. . . . .                        | 1—0  | 2,86 | 0,256 | 11,2          |
| Полное удобрение с сульфатом аммония . . . . . | 4—A  | 0,98 | 0,099 | 9,9           |
| То же + навоз . . . . .                        | 2—A  | 3,13 | 0,253 | 12,4          |
| Только калий и фосфор, без азота . . . . .     | 4—0  | 0,96 | 0,090 | 10,6          |

Таблица 73

Процент углерода и азота и отношение C/N в разных почвах  
(в растительных остатках C/N=около 40, но для бобовых около 25)

| Холодный климат                          | C    | N     | C/N  | Жаркий климат                     | C    | N    | C/N  |
|------------------------------------------|------|-------|------|-----------------------------------|------|------|------|
| Ротамстед:                               |      |       |      | Гезира (Судан) <sup>2</sup> . . . | 0,4  | 0,03 | 12,6 |
| Бродбок, пшеничное поле без навоза       | 0,89 | 0,092 | 9,6  | Трансвааль <sup>1</sup> :         |      |      |      |
| То же, с навозом                         | 2,91 | 0,263 | 11,0 | Черный суглинок                   | 1,87 | 0,13 | 14,4 |
| Вобэрн, с зеленым удобрением . . .       | 1,19 | 0,12  | 10   | Снам:                             |      |      |      |
| Абердин, Сев. Уэльс:                     |      |       |      | Рисовая почва <sup>1</sup> . . .  | 6,37 | 0,56 | 11,4 |
| 6 почв под травами <sup>1</sup>          | 3,22 | 0,35  | 9,2  | Среднее данных                    |      |      |      |
| 6 почв под пашней <sup>2</sup> . . . . . | 2,93 | 0,32  | 9,2  | Дженни <sup>3</sup> . . . . .     | —    | —    | 9,2  |
| 50 англ. почв . . .                      | —    | —     | 10   |                                   |      |      |      |

C/N

Штат Вашингтон <sup>4</sup> девственные почвы . . . . . 11,7  
После продолжительной культуры . . . . . 10,2  
Штат Айова (Браун и О'Ниль) . . . . . 12—13  
» Небраска (Ольвей и Вейль) <sup>5</sup> . . . . . 10—12,7

Таблица 74

Содержание нитратов в почве, в которую вносились корни, оставшиеся в ней 3 месяца.

Lyon, Bizzell and Wilson

| М а т е р и а л ы       | % азота | Вес внесенных корней (в г) | Азот нитратный (в мг) |
|-------------------------|---------|----------------------------|-----------------------|
| Контроль . . . . .      | —       | —                          | 946,6                 |
| Корни овса . . . . .    | 0,45    | 133,3                      | 207,3                 |
| » тимофеевки . . . . .  | 0,62    | 96,8                       | 398,4                 |
| » кукурузы . . . . .    | 0,79    | 75,9                       | 510,6                 |
| » клевера . . . . .     | 1,71    | 35,1                       | 924,4                 |
| Сушеная кровь . . . . . | 10,71   | 5,6                        | 1 751,1               |

<sup>1</sup> W. Mc Lean, Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 348.

<sup>2</sup> Среднее 42 образцов, слоя первых 30 см. А. Ф. Joseph.

<sup>3</sup> Н. Jenny, Soil Sci., 1929, 27, 168. В противоположность Мак-Лину он получил меньшие величины в теплом климате, чем в холодном.

<sup>4</sup> F. J. Sievers and H. F. Holtz, Washington Agric. Exp. Sta. Bull. 206, 1926.

<sup>5</sup> Nebr 25 th Rept. 1912, стр. 145. Новейшее обсуждение вопроса см. у W. R. Leighty and E. C. Shorey, Soil Sci., 1930, 30, 257.

Иенсен (Jensen, 1929) нашел, что разложение растительных остатков и других веществ в почве сопровождается иммобилизацией одной части азота на каждые 20—25 частей углерода, если почва нейтральна, и на каждые 13—18 частей, если почва кислая, и только в случаях, когда количество азота превышает названное, в почве появляются нитраты<sup>1</sup>. Результаты приведены на рис. 37.

Производилось много исследований, чтобы проследить ход этого разложения; из них мы упомянем здесь только три.

Влияние содержания азота на минерализацию азота в суглинке (Н. Л. Jensen)

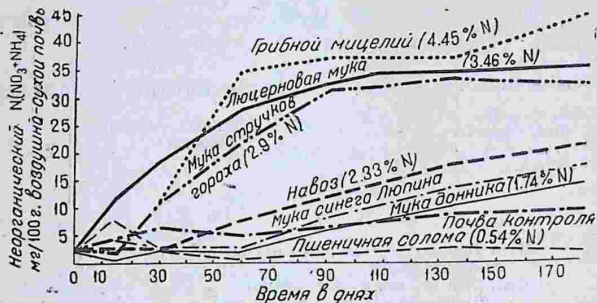


Рис. 37. Темп накопления нитратов в почве, в которую вносились разные органические вещества (Н. С. Jensen, 1929).

Дю Туа (Du Toit) в Ротамстеде<sup>2</sup> смешивал растительные остатки с почвой и через 6 месяцев определял процент потерь разных составных частей, а также прирост растворимого гумуса.

В каждом опыте на 28 англ. фунтов (12,7 кг) почвы вносилось 0,6 г азота.

Фурфуроиды исчезают почти сполна, но целлюлеза и лигнин в значительно меньшей степени. Потери лигнина были тесно связаны с приростом гумуса. В результате этих определений Дю Туа в общем пришел к заключению, что  $2\frac{1}{2}$  части лигнина образуют 1 часть гумуса, цифра, почти тождественная с цифрами, полученными Шрадером в лаборатории<sup>3</sup>, когда лигнин превращался в искусственный гумус с помощью щелочей (табл. 75).

<sup>1</sup> Это имеет значение при применении навозного удобрения. Чтобы избежать иммобилизации, Герман Франц обрабатывал навоз специальным способом (Edelmist). Процесс описан А. Cunningham'ом в Scot. Journ. Agric., 1927, 10, 434; бактериологическое изучение было произведено Ленисом и Рущманом. Полную сводку см. G. Ruschmann, Bied. Zentr., A, 1931, 60, 177—199.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci. 1932. Эта работа была произведена в 1925 г. и помещена в 5-м изд. «Почвенные условия», 1926 г., но отдельный выпуск ее был замедлен.

<sup>3</sup> Brennstoff-Chem., 1922, 3, 161.

Таблица 75

*Потери составных частей растений и приросты гумуса при заделке растительных остатков в почву. Дю-Туа*

| Заделанные материалы      | % азота | Потери беззольн. органич. вещества | Целлюлоза          |        | Фурфуролы          |        | Лигнин             |        | Прирост гуминовых веществ |
|---------------------------|---------|------------------------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|---------------------------|
|                           |         |                                    | Было первоначально | Потери | Было первоначально | Потери | Было первоначально | Потери |                           |
| Клевер . . . . .          | 2,74    | 54                                 | 59,4               | 31,2   | 19,4               | 16,4   | 21,2               | 12,4   | 6,2                       |
| Солома . . . . .          | 0,53    | 49                                 | 45,2               | 10,3   | 35,5               | 32,7   | 19,2               | 9,2    | 3,2                       |
| Стержни початков кукурузы | 0,27    | 37                                 | 45,0               | 4,3    | 45,4               | 31,9   | 10,5               | 3,0    | 1,1                       |
| Опилки . . . . .          | 0,05    | 21,4                               | 54,7               | 9,0    | 12,5               | 8,5    | 32,8               | 3,9    | 0,9                       |

Ваксман и Тенни (Tenney, 1928) сравнивали процентный состав неразложившихся растительных материалов с органическим веществом почвы; данные их приведены в таблице 76.

Таблица 76

*Сравнение растительных материалов с органическим веществом почвы. Ваксман и Тенни*

|                                    | Растительные материалы | Органическое вещество почвы |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Целлюлозы . . . . .                | 20—40                  | 3—5                         |
| Гемицеллюлозы . . . . .            | 15—25                  | 5—8                         |
| Лигнин . . . . .                   | 10—30                  | 40—50                       |
| Протеин . . . . .                  | 2—10                   | 30—35                       |
| Воднорастворимый протеин . . . . . | 15—30                  | 0                           |

Изменения в почве проследить очень трудно, и А. Г. Норман (1931) применил более простой метод для изучения перегнивания в лабораторных условиях. Он брал в качестве материала солому злаков и нашел, что наиболее характерными изменениями были:

1. Синтез протеина микроорганизмами из аммиака или нитратов, вносившихся в культурную среду.



## 2. Быстрое разложение целлюлозы и гемицеллюлез.

Целлюлеза разлагается сполна, за исключением случаев, когда она защищается стойким слоем лигнина, что составляет главную часть потери веса. Ксиланы также распадаются сполна, как и протеины, но они синтезируются заново. Гемицеллюлозы, однако, разлагаются только отчасти или чередуясь с повторным синтезированием. С другой стороны, лигнин разлагается не сполна, а лишь нарушается и превращается в черное вещество.

**Образование гумуса.** Эти исследования дают очень хорошую информацию относительно способов образования и состава гумуса. Они подтверждают тесную связь между гумусом и лигнином, отмеченную Фишером и Шрадером<sup>1</sup>; и тесную ассоциацию протеина с группой литноидов. Они согласуются со взглядами Ваксмана (1928)<sup>2</sup>, что гумус является смесью лигнина и других неразложившихся остатков с тканями микроорганизмов, содержащими синтезированный протеин и гемицеллюлозы, а также со взглядами Пейджа (стр. 187), что он является комбинацией измененного лигнина с протеином аналогично с комбинацией танниновой кислоты с протеином при образовании кожи.

## Микроорганизмы, участвующие в процессах изменений органического вещества

Все микроорганизмы, активные в почве, так или иначе участвуют в разложении органического вещества постольку, поскольку все они зависят от пищи и энергии. Однако некоторые из них играют или более прямую или более специальную роль, чем другие, так что являются связанными преимущественно с какой-нибудь одной группой соединений или с определенным родом деятельности.

### Сахара и крахмалы

Эти вещества разлагаются практически всеми бактериями и грибами почвы при всяких условиях и в этих действиях не замечается никаких особенностей. Наиболее обычными окончательными продуктами являются  $\text{CO}_2$  и вода; Иенсен (1931b) показал, однако, что некоторые грибы производят гумус. Почвенные нитраты ассимилируются и превращаются в протеин микроорганизмов (стр. 276).

<sup>1</sup> Brennstoff-Chem., 1921, 2, 37.

<sup>2</sup> Хороший обзор работ Ваксмана см. Trans. Second Comm. Int. Soc. Soil Sci., Budapest, 1929, A, 172.

О физико-химической гипотезе образования гумуса см. у Я. Жолчинского (Jan Zolcinski) Roczn. N, Roln i. L. (Познань), 1927, 16, 42. Также у М. Berthelot, Colimie agricole et végétale, v IV, стр. 179—182, 1899. Я. Никитинский, «Über die Zersetzung der Huminsäure durch physikalisch—chemische Agentien und durch Microorganismen. Jahrb. wiss. Bot., 1907, 37, 365—420 (разложение гуминовой кислоты под влиянием света)»

Однако пентозы разлагаются не так легко: организмы при этом более специфичны<sup>1</sup>.

### Целлюлоза

С другой стороны, целлюлозы атакуются только ограниченным числом организмов, и каждая группа их работает только в известном тесном кругу условий. Иенсен (1931b) в Ротамстеде нашел, что флора, развивающаяся при внесении в почву навозного удобрения, соломы или целлюлозы (фильтровальной бумаги) и следовательно, как предполагается, наиболее участвующая в разложении их, управлялась реакцией почвы и снабжением воздухом.

**Условия кислотности:** pH 4 и менее. Преобладают грибы<sup>2</sup>. В особенности *Trichoderma* и *Penicillium*.

Условия меньшей кислотности или нейтральные: pH 5,5 и более. Преобладают бактерии:

1. Аэробные. pH 5,5—6—бактерии. Спирохеты Хэтчинсона и Клейтона.

pH 7—вибрионы. Маленькие палочки Грея и Кальнинса. Большею частью не образующие спор, но и некоторые—образующие споры. Некоторые грибы *Mucogone nigra*, *Stachybotrys* sp.

2. Анаэробные. Клостридии (образующие споры) *Coccospora agricola* (?), *Botryosporium* sp.

**Аэробные условия.** Иенсен получил одинаковые соотношения между величинами pH и флорой, производящей разложение как при изучении естественных почв с различной кислотностью, так и при одной и той же почве, обработанной прибавлением известия для получения разных степеней реакции. Первоначально предполагалось, что актиномицеты играли важную роль при разложении целлюлозы. Они действительно могут разлагать ее в культурных растворах<sup>3</sup>, но, повидимому, не играют большой роли в почве. Иенсен не нашел никаких очевидных доказательств увеличения числа их, когда целлюлозный материал прибавлялся к почве в Ротамстеде, как не нашли этого Ваксман и Скиннер в Нью-Джерсей (1926); актиномицеты, однако, размножались позднее, когда начинал разлагаться микелий грибов.

Почвенные грибы, способные разлагать целлюлозу, известны были уже давно. Они изучались первоначально Ван Итерсеном (1904), позднее Мак-Бетом и Скейльсом (Mc Beth and Scales)<sup>4</sup>. Ваксманом и Скиннером<sup>5</sup> и Иенсеном (1931b). Более ранние исследователи давали недостаточно деталей и требуются еще даль-

<sup>1</sup> См. J. A. Viljoen, E. B. Fred, W. H. Peterson, Journ. Agric. Sci., 1926, 16, 1, и J. Ziemińska, Roczn. N. Roln. i. L (Познань), 1931.

<sup>2</sup> См. R. J. Dubas, Ecology, 1928, 9, 12—27.

<sup>3</sup> A. Krainsky, Centr. Bakt., Abt. II, 1914, 41, 649—688.

<sup>4</sup> U. S. Bur. Plant. Ind. Bull., 266, 1913.

<sup>5</sup> Journ. Bact., 1926, 12, 57.

нейшие исследования грибов, преобладающих в кислых условиях. Ваксман нашел, что целлюлеза в целом не ассимилировалась грибами сполна, и неассимилированная часть превращалась в  $\text{CO}_2$ ; никаких побочных продуктов при этом нельзя было обнаружить<sup>1</sup>. С другой стороны, Йенсен нашел, что некоторые грибы производили гумус при разложении целлюлозы, хотя другие не производили. Повидимому, грибы являются главными агентами, производящими разложение соломы. В кучах навоза, как и следовало ожидать, они являются термофильными, включая несколько *Aspergillus* (*fumigatus*, *nidulans*, *terreus*, *niger*), несколько актиномицетов, триходерму и термофильный организм *Serpodonium*; все они действуют при сравнительно высоких температурах, причем для последнего оптимальной температурой является  $45-50^\circ\text{C}$ , и он выживает и при температурах, превышающих  $60^\circ\text{C}$ , что значительно выше обычных условий. Многие организмы имеют свой оптимум около  $22^\circ\text{C}$  и отказываются развиваться при температуре выше  $35^\circ\text{C}$ .

Эти организмы не только термофильны, но в то же время и сильно термогенны, и если их прививают к стерилизованной соломе, то они разлагают ее настолько эффективно, что быстро поднимают температуру до  $40^\circ\text{C}$  и более.

Неизвестно еще, однако, насколько эффективны они в почве<sup>2</sup>. Бактерии, функционирующие в менее кислых и нейтральных условиях, распадаются на три группы.

1. Спирохета, преобладающая в условиях pH 5,5—6, была первоначально описана Хэтчинсоном и Клейтоном (1919) и названа ими *Spirochaeta cytophaga*. Она аэробна и отличается большой избирательностью действия: целлюлеза является единственным соединением, на котором она развивается; она действительно задерживается в развитии на многих углеводах, в особенности на содержащих группы восстановления. Потребность ее в азоте удовлетворяется простыми соединениями, как, например, аммиачными солями, нитратами, аминокислотами, но не высшими соединениями, как пептоны (за исключением слабых растворов), желатин и т. д. Продукты разложения целлюлозы содержат небольшие количества летучих кислот, камеди, растворимые в аммиаке, но не растворимые в кислотах и не дающие при гидролизе оптически активных соединений, а также пигмент, повидимому, имеющий отношение к группе каротина. В культурах ее не замечается выделения газа. Подобно многим другим почвенным организмам, она проходит жизненный цикл, стадии которого представляют значительные морфологические различия.

Виноградецкий рассматривает ее не как индивидуум, а как группу, разделяемую им на некоторое число различных видов<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Н. Heukelekian and S. A. Waksman, Journ. Biol. Chem., 1925, 66, 323.

<sup>2</sup> См. также Rege, Applied Biology, 1927, 14, 1.

<sup>3</sup> Ann. Inst. Pasteur, 1929, 43, 549.



2. Вибрионы, маленькие палочки, не образующие спор. Они были найдены ранними исследователями, Ван Итерсенем и Мак-Бетом и Скейлсом (Scales) (стр. 281). Первой детально описанной была *Microspira agar-liquefaciens* P. H. N. Grey'a и C. H. Chalmers'a (1924). Этот организм отличается от спирохет как морфологически, так и по одной важной особенности—большой выносливости к другим углеводам; его способность к разрушению целлюлозы действительно усиливается небольшими количествами декстрина, ксиллозы, арабинозы и некоторых других сахаров, а также лигнина; в отличие от большинства других организмов он превращает агар в жидкость. По усвоению аммиака и нитратов в качестве азотистой пищи он сходен с *Spirochaeta cytophaga*. Впоследствии Кальнис (1930), также в Ротамстеде, изолировал и детально изучил около 20 различных форм разных типов, включая одну, которая превращает около 50% целлюлозы в глюкозу или в иной сахар, подобный ей. Ненсен (1931в) выделил еще несколько видов. Кальнис нашел также несколько спорообразователей, которые являются первыми из числа способных к аэробному разложению целлюлозы.

3. Анаэробное разложение. Клостридии. Встречаются в естественных условиях в болотах и маршах и характеризуются производством метана, который получил отсюда название «болотный газ». Впервые клостридии были систематически исследованы Дегереном<sup>1</sup>, который показал, что они должны быть отнесены к бактериям, зависящим от присутствия азотистых соединений. Клостридий может производить действие одним из двух путей, давая соответственно болотный газ и водород; последний, однако, всегда сопровождается образованием бутировой кислоты. Дегерен высказал мысль, что существуют два различных микроорганизма: один, производящий болотный газ, а другой—водород, или возможно, что один из организмов может производить любой из этих газов, если условия меняются. Одиннадцать лет спустя, когда бактериология уже сделала значительные успехи, Омелянскому удалось показать, что действительно имеются два отдельных организма. Оба организма требуют тех же общих условий—отсутствия воздуха, обильного снабжения водой и азотистыми соединениями. Они различаются по своим требованиям в отношении реакции; водородные организмы требуют кислой среды, а метанные организмы—нейтральной. Таким образом, ферментация может изменяться в любом из этих направлений при контроле кислотности<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Annales agronomiques 1884, 10, 385; см. также 1888, 14, 97, где он рассматривает разложение в навозной куче.

<sup>2</sup> В нейтральных условиях получают большие количества газов при ферментации соломы или других растительных тканей. E. H. Richards и R. L. Atmore получили в Ротамстеде количества газа, соответствующие 10 000 куб. футов на тонну растительного материала (применялись нильские водоросли); газ содержал 38% CO<sub>2</sub>, 56% метана и 6% других горю-



Ни один из организмов Омелянского не был еще изолирован в чистом виде, но не подлежит никакому сомнению общая точность его работы.

Были открыты после того еще два анаэробные организма. В 1923 г. И. Хувина открыла<sup>1</sup> в человеческих кишках организм, который, по ее мнению, связан был с перевариванием целлюлозы; она назвала его *Bac. cellulosaе dissolvans*. Три года спустя, в 1926 г., Viljoen, Fred и Peterson<sup>2</sup> описали другой организм, термофильный *Clostridium thermocellum*, который разлагает целлюлозу при анаэробных условиях в пределах температуры от 43 до 65° С; он продолжает жить и при 72° С, хотя уже не разлагает при этой температуре целлюлозу, равно как и не разлагает ее при температуре ниже 40° С, так что, повидимому, мало вероятно, чтобы он работал в почве.

Какие бы организмы ни разлагали целлюлозу, скорость их действия зависит от количества имеющегося азота; этот факт используется в процессе приготовления искусственного навоза<sup>3</sup>. Ваксман и Скиннер<sup>4</sup> показали, что при анаэробных условиях требуется меньше азота, чем при аэробных, так как при этом организм утилизирует меньше энергии; однако разложение при этом идет вначале медленнее.

### Лигнин

Хотя лигнин разлагается в почве, однако, еще ничего неизвестно относительно самого процесса или организма, вызывающего его. Ваксман утверждает<sup>5</sup>, что разложение может совершаться актиномицетами и некоторыми бактериями, однако ротамстедским работникам не удалось изолировать из почвы ни одного организма, обладающего этой способностью. Известны также грибы, разлагающие дерево, но они не живут в почве.

### Второстепенные составные части растительных остатков

#### *Ароматические компоненты растения и продукты разложения*

Некоторые составные части растения и некоторые из продуктов разложения протеинов ядовиты для растений и причиняли бы

чих газов, преимущественно водорода, представляющих около  $\frac{1}{3}$  энергии (калорифической способности) ферментирующих материалов. В кислых условиях выделение газа происходит гораздо медленнее, но он содержит до 55% водорода, остальная же часть состоит главным образом из углекислоты. Другие цифры, которые не расходятся с этими, см. А. М. Buswell, J. Ind. Chem., 1830, 32, 1168.

<sup>1</sup> Ann. Inst. Pasteur, 1923, 37, 711.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1926, 16, 1—17.

<sup>3</sup> Н. В. Hutchinson and E. H. Richards, Journ. Min. Agric., 1921, 28, 398, 482.

<sup>4</sup> Journ. Bact., 1926, 12, № 1.

<sup>5</sup> Principles of Soil Microbiology, 1927, стр. 298 и 459.

серьезный вред, если бы они могли накапливаться в почве<sup>1</sup>. К счастью, они не накапливаются; те из них, которые способны окисляться с выделением энергии, разлагаются микроорганизмами. Наиболее обычными продуктами, встречающимися в природе, являются фенолы и их производные, а также некоторые ароматические альдегиды, ванилин и т. д. Фаулер, Ардерн и Локкет<sup>2</sup> впервые показали, что фенол может разлагаться бактериями, и изолировали и описали этот организм. В процессе исследования канализационных вод они заметили исчезновение фенола из вытекавшего потока при обстоятельствах, наводивших на мысль о деятельности бактерий. Р. Вагнер<sup>3</sup> нашел в почве много организмов, способных окислять и использовать в качестве источника энергии фенол, бензол, толуен, ксилен, катехол, флороглюцинол и подобные соединения; это было подтверждено рядом исследований в Ротамстеде. Благодаря технической важности этого вопроса разложение фенола изучалось детально N. N. Sen Gupta<sup>4</sup>. Действие это сложно, включая химические изменения, вызываемые, повидимому, окисью марганца в почве, или окисление, производимое бактериями. Н. G. Thornton и Р. Н. Н. Грау нашли несколько видов бактерий в английских почвах, которые могут окислять фенол, о-, м- и р-крезол, толуен и нафталин. Трудно понять, как могли усвоить они эту замечательную способность, так как ни толуен ни нафталин не встречаются в естественных условиях, и оба чрезвычайно трудно поддаются химическому расщеплению при обыкновенных температурах.

Грей<sup>5</sup> нашел также двух бактерий, а Kluyver<sup>6</sup> одну микробактерию, которые атакуют индол (одно из соединений навоза и урины), окисляя их до индиготина. Они используют индол как источник азота, но не энергии, и поэтому нуждаются в сахаре или иных соответствующих соединениях. Индол, однако, не является для них идеальной азотистой пищей и они успешно развиваются, если им доставляют взамен его другие питательные вещества.

Окисление ванилина бактериями почвы представляет известный интерес, так как это вещество встречается в некоторых растительных остатках и было бы ядовито, если бы накапливалось<sup>7</sup>. A. Matthews нашла многие ароматические соединения, способ-

<sup>1</sup> Так, например, Liechti и Mooser (Landw. Jahrb. Schweiz., 1906, 1) определяют, что с обычным удобрением навозной жижой в почву вносится от 34 до 83 кг/га фенола. Эти цифры значительно выше того, что мы получили в Ротамстеде.

<sup>2</sup> Proc. Roy. Soc., 1911, B, 83, 149—156.

<sup>3</sup> Zeit. f. Gärungsphysiol., 1914, 4, 289.

<sup>4</sup> Journ. Agric. Sci., 1925, 15, 497—515.

<sup>5</sup> Proc. Roy. Soc., 1928, B, 102, 263, 1929, 3, 308—313.

<sup>6</sup> Nederl. Tijdschr. Hyg. Microbiol., 1929, 3, 308—313.

<sup>7</sup> См. W. J. Robbins and E. Lathrop, Soil Sci., 1919, 7, 475; W. J. Robbins and A. B. Massey, ibid. 1920, 10, 237; M. J. Funchess, Ala. Agric. Exp. Sta., Bulls. 195 и 196, 1917.

ствующие сильному увеличению числа бактерий в почве<sup>1</sup>, с одновременной ассимиляцией аммиака и, как можно заключить отсюда, служащие пищей или энергетическим материалом.

Кератин, сложный протеин, богатый цистином, являющийся аминокислотой и характеризующийся присутствием большого количества серы, попадает в почву из животных источников, так как он является важной составной частью рогов, копыт, ногтей, волос, перьев, эпителиальных клеток и т. д. Иенсен<sup>2</sup> показал, что кератин может разлагаться двумя почвенными организмами, разновидностями актиномицетов, из которых один *A. citreus* Крайнского, а другой похож на *A. 145*, Ваксмана.

## Изменения азотистых компонентов

### ОБРАЗОВАНИЕ АММИАКА И НИТРАТОВ

#### Образование аммиака

Азотистые составные части растительных остатков, внесенные в почву, распадаются с образованием аммиака, до тех пор, пока отношение C/N не сильно превосходит 10.

Исследования метода производства аммиака в почве, сделанные Маршаллом (1893), настолько полны, что с тех пор мало было прибавлено к фактам, установленным им. Мюнц и Кудон (1893) установили микроорганическую природу этого процесса, показав, что он прекращался при стерилизации, что, однако, не совсем верно. Поэтому Маршалл произвел систематические бактериологические и микологические анализы почвы и изучал действие полученных при этом организмов на растворы альбумина. Из десятка или около того видов, которые неизменно встречались, практически все разлагали альбумин и образовали аммиак. Одна из микробных групп оказалась чрезвычайно энергичной и изучалась несколько детальнее. Процесс считался простым окислением, необходимым для жизни организма; кислород поглощался и выделялась углекислота, причем отношение этих продуктов было  $\text{NH}_3 : \text{CO}_2 = 1 : 8,9$ . Для полного окисления углерода, водорода и серы молекулы альбумина отношение это составило бы  $1 : 10,3$ , но было известно, что изменение было не полным, и при этом можно было обнаружить небольшие количества лейцина, тирозина и жирных кислот. Свободный кислород при этом не был необходим: при разведении в культурном растворе, содержащем сахар и нитраты, организм брал свой кислород из нитратов, но при этом он производил аммиак.

Указанные энергетические взаимоотношения оставались со-

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 1—57. См. также W. Buddin, *ibid.*, 1914, 6, 417.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 390—398.



вершено незамеченными исследователями приблизительно в течение четверти века, и только в 1916 г. Дориланд показал значение их. Организм, производя аммиак, удовлетворяет этим свое насущные потребности в пище и энергии и все же может еще оставлять при этом избыток аммиака сверх своих потребностей. Если доставляются источники энергии иные, чем протеин, например, углеводы, то производство аммиака падает до ничтожного количества или даже становится отрицательным: в этом случае производители аммиака становятся потребителями его совершенно так же, как и высшие растения, и, действительно, они конкурируют за него с растущими растениями.

Это и является главным фактором, обуславливающим лишь небольшие колебания в отношении C/N в почве. Этим объясняется также и неполнота выделения аммиака из органических соединений, первоначально наблюдавшаяся Липманом в Нью-Джерсей при его многочисленных вегетационных опытах, начатых в 1898 г. и описанных в годовых отчетах станции<sup>1</sup>. Принимая использование аммиака из сульфата аммония за 100, использование его из сушеной крови было найдено равным 90, а из свежего навоза только 75. Это объясняет также, почему продукция аммиака из сушеной крови понижается углеводами<sup>2</sup>.

**Участвующие организмы.** Производство аммиака в почве долго приписывалось обширным группам спорообразующих *B. Mucoides* и *B. Subtilis* на том основании, что они преобладали на прежних желатинных пластинках. Н. J. Conn (1919) доказал, однако, со всей очевидностью, что эти организмы совсем не играют важной роли в почве; активными же агентами были более мелкие, не образующие спор формы группы *Ps. fluorescens* и еще другой, названной им *Ps. caudatus*, которая является хотя немногочисленной в удобренной почве, однако энергично размножается и производит аммиак при внесении навоза. Современные прямые методы подсчета подтверждают этот взгляд постольку, поскольку они показывают значительное численное превосходство в полевых почвах форм, не образующих споры, но кроме того они показывают также и присутствие вегетативных стадий спорообразователей, которые могут размножаться в подходящих условиях.

Имеются некоторые доказательства, что актиномицеты и грибы также могут производить некоторое количество аммиака в почве.

Однако производство аммиака в почве не является всецело результатом прямого действия микроорганизмов. Оно происходит даже в присутствии антисептиков. Таким образом, нужно предполагать участие в этом и энзим (Рэссель и Хэччинсон, 1909). Суб-

<sup>1</sup> Суммарную сводку 1898—1912 гг. см. New Jersey Agric. Exp. Sta. Bull. 288, 1916.

<sup>2</sup> J. G. Lipman, A. W. Blair, I. L. Oven and Mc Lean, New Jersey Agric. Exp. Sta. Bull. 247, 1912.



рахманиан (1927, 1928) показал, что водно-глицериновая вытяжка почвы, обработанной толуеном, выделяла аммиак из пептона и, следовательно, как можно предполагать, содержала деаминазу. Он получил очевидные факты, что это обуславливает и накопление аммиака, имеющее место в заболоченных почвах (стр. 323).

### Нитрификация

Аммиак, образующийся с помощью почвенных бактерий или внесенный в удобрениях, переходит в карбонат аммония, который далее быстро обращается при помощи нитрозомонас и нитрозококкус в нитриты, а последние с помощью нитробактера—в нитраты, причем процесс этот происходит так быстро, что в нормальной пахотной почве находят только следы аммиака или нитритов<sup>1</sup>. Мы можем, таким образом, принять, что образование нитритов происходит медленнее, чем нитратов, в то время, как образование аммиака совершается еще медленнее и ставит предел скорости всего процесса. Таким образом, мерилем скорости образования нитратов в почве является не темп нитрификации, как иногда принимается, а темп образования аммиака<sup>2</sup>. Существенные черты нитрификации можно легко продемонстрировать, если положить небольшое количество почвы (от 0,2 до 0,5 г) в 50 см<sup>3</sup> разведенного раствора сульфата аммония, содержащего неорганические питательные соли или некоторое количество карбоната кальция или магния, но не содержащие никаких других углеродистых соединений<sup>3</sup>. По прошествии 3 или 4 недель при 25° весь аммиак уходит и его место занимали нитраты. Превращение это является почти количественно точным, и только очень незначительное количество азота задерживается микроорганизмами.

История того, что нитрификация вызывается микроорганизмами, изложена на стр. 29. Эти организмы сами по себе принадлежат к числу наиболее замечательных в почве. В течение долгого времени они были известны как единственные способные производить нитриты и нитраты, и каждый из них узко специфичен в своем действии; нитрозомонас, равно как и тесно связанный с ним нитрозококкус, окисляет только карбонат аммония и больше ничего; он совершенно не трогает нитритов, мочевины или какие-нибудь производные аммиака или даже другие аммиачные соли;

<sup>1</sup> E. J. Russell, Journ. Agric. Sci., 1910, 3, 233—245.

<sup>2</sup> См. также P. L. Gainey, Soil Sci., 1917, 3, 399—416.

<sup>3</sup> Омелянский (1889) применял по 2 г (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaCl, 1 г KН<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,5 г MgSO<sub>4</sub>, 0,4 г FeSO<sub>4</sub> на 1 л воды и прибавлял 0,5 г MgCO<sub>3</sub> на каждые 50 см<sup>3</sup> применяемого раствора. Образование нитритов происходит в этом растворе. Для получения нитратов он применял по 1 г NaNO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, по 0,5 г KН<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> и NaCl, 0,4 г FeSO<sub>4</sub> и 0,3 г MgSO<sub>4</sub> на 1 л воды. S. F. Ashby (Trans. Chem. Soc., 1904, 85, 1158 и Journ. Agric. Sci., 1907, 2, 52) нашел, что оба процесса шли одновременно, если первый из этих растворов он разбавлял в четыре раза.

исключения бывают в случае присутствия карбоната (Уорингтон, 1879—1891; Омелянский, 1899). Нитробактер, с своей стороны, окисляет нитриты, но не аммиак. Разница между ними очень велика; до настоящего времени ничего еще не было открыто, что могло бы объяснить взаимнообособленную специфичность их действия. Имеются некоторые доказательства, что нитробактер, помимо того, что он отличается большей быстротой действия, является в то же время несколько более чувствительным, чем нитрозомонас, в результате чего в почвах, в которых условия для бактериальной деятельности неблагоприятны, можно найти нитриты. Существуют и некоторые морфологические различия. Нитрозомонас встречается в нескольких формах, большей частью овального очертания, от 0,5 до 1  $\mu$  шириной и до 2  $\mu$  длиной, но еще неизвестно, являются ли они различными разновидностями. Они имеют стадию zoogloea. Нитробактер имеет форму палочки 1  $\mu$  длины и 0,3  $\mu$  толщины; известна только одна разновидность.

Выше было уже отмечено, что ни один из этих организмов не выносит желатина, благодаря чему происходили неудачи Уорингтона при его попытках изолировать их. Глюкоза, пептон и другие органические вещества также являются вредными (Виноградский, Омелянский, 1899). Виноградский признавал, что эти организмы получают свой углерод из углекислоты, и приготавливал желе из кремневой кислоты, свободной от органического вещества, на котором они могли расти достаточно хорошо, чтобы оказалось возможным изолировать и изучать их. Доказательство того, что углекислота является источником их углерода, было наиболее твердо установлено Годлевским, который показал, что нитрификация происходит в растворах, свободных от органического вещества, до тех пор, пока воздух доставляет углекислоту, но она останавливается, как только углекислота удаляется при пропускании воздуха через едкий калий<sup>1</sup>. Но синтез вещества сложной клеточной из углекислоты является процессом эндотермическим, требующим снабжения энергией. При ассимиляции  $\text{CO}_2$  зеленым растением энергия доставляется светом и трансформатором является хлорофилл. В данном же случае вопрос о свете исключается, и свет даже является смертельным для организма. Виноградский (1890) высказал мысль, что необходимая энергия для нитрификации аммиака и нитрита, и он проследил опытным путем изменения между количеством окисленного аммиака и количеством углерода.

При этих опытах применялись смешанные культуры, в которых преобладали нитрификаторы. Позднее Кольман, изменяя чистые культуры нитрификаторов, получил колеблющиеся во второй стадии процесса от

<sup>1</sup> Понируется у Lafar, Tech. Mykologie, 1906,

<sup>2</sup> Centr. Bakt., Abt. II, 1908, 20, 401—420

гоф<sup>1</sup> выразил результаты в калориях и показал, что на синтез протоплазмы из углекислоты утилизируется только около 5% энергии, освобождающейся при окислении аммиака.

Эти организмы не выносят кислой среды, и поэтому требуется достаточное количество углекислого кальция как в культурных растворах, так и в почве. Они не выносят также и свободного аммиака. В культурных растворах производитель нитратов несколько чувствителен даже к солям аммония, и, действительно, как Лорингтон (1878—1891), так и Омелянский (1899—1902) подавляли его, поддерживая достаточную концентрацию сульфата аммония. Таким образом, казалось, что как органическое вещество, так и аммиак действовали на нитрифицирующие организмы разрушительно. Однако в естественных условиях нитрификация совершается быстро в присутствии обоих этих веществ, как, например, в богатых огородных почвах, фильтрах сточных вод<sup>2</sup> и в селитряных кучах. Затруднение сделалось более острым, когда было показано<sup>3</sup>, что органическое вещество является вредным только в культурных растворах, но не в почве; действительно, такие количества декстрозы, которые совершенно останавливали нитрификацию в культурных растворах у Виноградского и Омелянского, оказывалось, действовали благотворно в почве, при нормальных условиях температуры и содержания влаги. Было высказано предположение (Мюнц и Лене, 1906, 1907), что гумус каким-то образом защищал организмы, но всегда чувствовалось, что эта гипотеза была неудовлетворительна. Далее известно, что нитрификация происходит и в кислых почвах, хотя организмы Виноградского нетерпимы к кислотности<sup>4</sup>. Объяснение многих затруднений в настоящее время найдено благодаря открытию Кутлером (1931) в Ротамстеде четырех видов почвенных микроорганизмов, способных производить нитриты из разных аммонийных солей, но совершенно отличных от нитрозомонаса и нитрозококкуса не только морфологически, но также и в том, что они нуждаются в органическом веществе и выносят в значительной степени кислотность (pH 4,8). Они были впервые найдены в сточных водах сахарного завода, и потом было показано, что они широко распространены в почвах. Едва ли можно сомневаться в том, что эти организмы оперируют в фильтропрессах, в интенсивных селитряных кучах<sup>5</sup> и в почвах, содержащих много органического вещества. Бросая взгляд на

<sup>1</sup> Pflüg. Arch., 1916, 164, 353; 1916, 165, 229; 1917, 166, 240.

<sup>2</sup> H. Chick, Proc. Roy. Soc., 1906, B, 77, 241—266; Adeney (1908).

<sup>3</sup> Coleman, Centr. Bakt., Abt. II, 1908, 20, 401—420 и 484—513; Stevens and Withers, ibid., 1910, 27, 169—186.

<sup>4</sup> См., например, у A. D. Hall, N. H. J. Miller, C. T. Gimmingham, Proc. Roy. Soc. 1908, B, 80, 196—212 и J. Hendrick, Proc. First Int. Congr. Soil Sci., 1927, Vol. 3, 229.

<sup>5</sup> Как, например, у Müntz и Lainé (1907) и у N. V. Joshi (Agric. Journ. India, 1925, 20, 20—36).



прошлые работы, становится удивительным, почему Уорингтон не натолкнулся на них.

Таблица 77

*Отношение между количеством окисленного аммиака и ассимилированного углерода нитрифицирующими организмами. Виноградский*

|                                                     | Опыт 1   | Опыт 2   | Опыт 3   | Опыт 4   |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Количество окисленного аммиака (выраж. в N) . . . . | 722,0 мг | 506,1 мг | 928,3 мг | 815,4 мг |
| Ассимилированный углерод (C) . . .                  | 19,7 »   | 15,2 »   | 26,4 »   | 22,4 »   |
| Отношение N/C . .                                   | 36,6 »   | 33,3 »   | 35,2 »   | 36,4 »   |

Нет ничего невероятного и в прежних взглядах, что почва защищает нитрозомонас от органического вещества и аммиака, как она защищает их и от засухи. Все эти организмы сразу умирают в чистых культурах при отсутствии влаги, но в почве они являются более стойкими, хотя неизвестно, чтобы они образовали споры. Но почва не защищает их от жары или антисептиков; они погибают при нагревании почвы до 45° С или при обработке ее толлуеном, сероуглеродом и другими антисептиками (Рэссель и Хэтчинсон, 1909). Они не выносят также некоторых продуктов, образующихся, если почва нагревается до 90° С и более, хотя и продолжают расти после удаления этих продуктов; равным образом, они менее выносливы, чем другие организмы, в отношении солей в засоленных почвах<sup>1</sup>. Карбонаты кальция или магния являются существственными для их деятельности. Химический ход окисления неизвестен. Бизли показал, что аммиак исчезает до превращения в нитриты, так что сумма аммиак + нитриты сначала падает значительно ниже количества первоначально находившегося аммиака и затем уже поднимается приблизительно до 90% первоначального количества<sup>2</sup>. Ассимилируется ли аммиак сначала микроорганизмом или прямо превращается в гидроксиламин, никогда не было твердо доказано; Бизли, а также Мазе<sup>3</sup> склонны к последнему взгляду. Темп производства нитратов выражается уравнением для автокаталитического действия<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> J. E. Greaves, E. G. Carter and Yeppa Lund, Soil Sci., 1922, 13, 481—499.

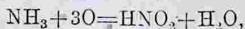
<sup>2</sup> R. M. Beesley, Trans. Chem. Soc., 1914, 105, 1014—1024.

<sup>3</sup> Compt. Rend., 1921, 172, 173.

<sup>4</sup> Miyake, Journ. Biochem. (Tokyo), 1922, 1, 123—129; см. также кривую Beesley.



Ничего неизвестно о механизме окисления. Ни Омелянский (1899), ни Бонацци не могли найти какого-либо доказательства присутствия оксидазы или пероксидазы в нитрозомакс или в культурных растворах их. Бонацци (1923) показал, что кислород, поглощенный во время окисления аммиака, превышает в  $2,89 \pm 0,08$  раза, вместо 3 раз количества окисленного азота, как следовало бы ожидать по уравнению



и Пейдж<sup>1</sup> высказал мысль, что часть остатка может происходить от  $\text{CO}_2$ , взятой организмом. Бонацци показал также, что некоторые следы железных солей, существенных для процесса, восстанавливаются из железных в железистые формы, и он предполагает также, что они действуют как носитель кислорода по линиям, сходным с процессами действия, предполагаемыми Бахом и Чода (Chodat) для зеленых растений.

Окисление аммиака в нитраты, очевидно, нуждается в основаниях, так как организм очень чувствителен к кислотности. Нормально эта потребность удовлетворяется карбонатом кальция, так что кальций переходит в раствор по мере хода процесса нитрификации. За отсутствием карбоната кальция может служить карбонат магния или фосфат кальция минералов. Не имеется, однако, никаких доказательств, что нерастворимые фосфаты переходят при этом в раствор в результате нитрификации, если имеется наличие карбоната кальция<sup>2</sup>.

В последнее время были сделаны интересные продвижения в изучении нитрификации. Было показано, что нитрификация происходит и в строительные камни и участвует до некоторой степени в выветривании и разрушении их<sup>3</sup>.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ПОТЕРИ АЗОТА

### Денитрификация

Если ввести некоторое количество почвы в нитратный бульон и прекратить доступ воздуха, то нитраты быстро исчезают с образованием нитритов,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ <sup>4</sup>, газообразного азота или аммиака, смотря по условиям. Действие это называется денитрификацией. Оно было одним из первых изучавшихся микробиологических из-

<sup>1</sup> Chem. Soc. Repts., 1923, 20, 213.

<sup>2</sup> См. Kelley, Journ. Agric. Res., 1918, 12, 682; C. H. Hopkins and A. L. Whiting, Ill. Agric. Exp. Sta., Bull. 190, 1916.

<sup>3</sup> См. J. J. Fox and T. W. Harrison, 1925, «Some Aspects of Stone Decay», Journ. Soc. Chem. Ind., 1925, 44, 145—149, T. and J. E. Marsh, 1926, «Stone Decay and its prevention», Blackwell, Oxford. Предмет этого исследования в Imperial College д-ром S. G. Paine.

<sup>4</sup> См. Beijerinck и D. C. J. Minkman, Centr. Bakt., Abt. II, 1910, 25, 30—63.

менений<sup>1</sup> и может происходить под влиянием большого числа микроорганизмов. Необходимыми условиями являются отсутствие кислорода, присутствие легко окисляющегося органического вещества и реакция, не сильно выходящая за пределы pH 6,4 до 8,4<sup>2</sup>.

Физиологическое значение восстановления заключается в доставлении кислорода организму, в случае недоступности газообразного кислорода. Однако эта реакция не является простым перенесением кислорода из нитратов в организм; необходимо снабжение легко окисляющимся органическим веществом, как сахар, целлюлоза и т. д.; гумус менее эффективен. Бейеринк и Минкман (1910) предполагали, что существенным промежуточным продуктом был  $N_2O$ , образующийся при прямом взаимодействии между нитратами и органическими соединениями. Стокласа и Витек<sup>3</sup>, а также Мазе<sup>4</sup> приписывали восстановление водороду *in statu nascenti*, образующемуся при анаэробном брожении углеводовистых соединений (стр. 284). С этой точки зрения, поддерживаемой также опытами W. Hulme<sup>5</sup>, организм получает свой кислород из органических соединений или возможно из воды, а часть водорода, освобождающегося при этом, восстанавливает нитраты, с выделением остатка в виде газа. Блом показал, что при этом процессе образуется гидросиламин<sup>6</sup>.

Существует резкий контраст между бактериальным производством и разрушением нитратов. Производство нитратов принадлежит только одному или двум видам организмов в каждой из стадий, и конечным результатом является продукт, количественно эквивалентный исходному аммиаку; никакой простой химический процесс не может окислять аммиак с такой полнотой. С другой стороны, бактериальное восстановление нитратов не дает какого-либо простого продукта, но целый ряд продуктов, не находящихся между собой в простых отношениях, в то время, как химическое восстановление легко может быть проведено количественно до аммиака.

Происходит ли денитрификация в каких-либо размерах в хорошо дренированных с.-х. почвах—является сомнительным, так как в них редко сочетаются необходимые условия—недостаток воздуха и присутствие большого количества разлагаемого органического вещества и нитратов, в соединении с подходящей температурой. Этот процесс часто смешивали с поглощением нитратов организмами в присутствии легко окисляющегося органического вещества. Простое исчезновение нитратов из почвы не является

<sup>1</sup> Обзор литературы см. у S. A. Waksman, *Principles of Soil Microbiology*, London, 1927.

<sup>2</sup> Т. М. Сахарова, *Centr. Bakt. Abt.* II, 1925, 65, 15—35.

<sup>3</sup> *Centr. Bakt. Abt.* II, 1905, 14, 102 и 183.

<sup>4</sup> *Ann. Inst. Pasteur*, 1911, 25, 289.

<sup>5</sup> *Trans. Chem. Soc.*, 1914, 105, 623—632.

<sup>6</sup> *Biochem. Zeit.*, 1928, 194, 392.

еще доказательством денитрификации: доказательством могло бы служить только, если бы удалось демонстрировать действительное выделение газообразного азота или окислов азота или потерю общего количества азота. Обычно общее количество азота в почве так велико по сравнению с количеством нитратов, что изменения в количестве последних остаются в пределах экспериментальных ошибок.

### МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ПОВЫШАЮЩАЯ КОЛИЧЕСТВО АЗОТА В ПОЧВЕ

#### Фиксация азота

Первые систематические поиски фактора, возвращающего почве ее потери азота, были начаты Бертелло (1885) около 50 лет тому назад. Он нашел, что некоторые органические соединения могут поглощать свободный азот под влиянием тихих электрических разрядов, и сначала приписал естественное связывание азота этой причине. Исследовал он также и возможность участия деятельности бактерий, так как в то время микроорганизмы играли значительную роль во французской науке, под влиянием Пастера. Поэтому он подвергал стерилизованный и нестерилизованный песок и глинистые почвы, бедные азотом (0,01% N и меньше), действию воздуха в больших закрытых бутылках на пять месяцев и обнаружил заметные прибавления азота в нестерилизованных почвах. Таким образом, фиксирование объясняется не какой-либо внешней физической причиной, которая одинаково проявлялась бы в обоих случаях, а деятельностью микроорганизмов. В этом опыте, повидимому, участвовал некоторый элемент удачи, потому что когда Готье и Друэн<sup>1</sup> повторили его, то они получили фиксацию азота только в тех случаях, когда в почве находилось достаточное количество органического вещества. Это исследование сразу же привело к плодотворным результатам, так как дало Гельригелю и Вильфарту ключ к клеверной проблеме (стр. 30).

Возможность фиксации азота бактериями, живущими независимо от бобовых, была выдвинута П. Коссовичем в 1894 г.<sup>2</sup>; он показал, что водоросль *Nostos* энергично фиксировала азот, если она была в ассоциации со смешанной культурой почвенных бактерий и снабжалась сахаром; он приписывал это действие бактериям, но не водоросли. В то время не имелось еще возможности приготовления чистых культур водорослей, и поэтому он не мог привести твердых доказательств. Однако он рассматривал эту комбинацию как симбиоз, подобный симбиозу клубеньковых бактерий с бобовыми. Буйлак<sup>3</sup> развил эту идею и позднее пока-

<sup>1</sup> Compt. Rend., 1888, 106, 754, 863.

<sup>2</sup> Bot. Zeit., 1894, 52, 97.

<sup>3</sup> Compt. Rend., 1896, 123, 828; 1903, 137, 1274.



зал, что смесь могла действовать, как азотистое удобрение: с помощью ее он получил, например, повышение урожая гречихи.

Виноградский (1895) был первым, кто изолировал организм, способный фиксировать газообразный азот.

Ни один исследователь интересующего нас предмета не проявил большей находчивости, чем Виноградский, в изобретении методов, которые были одновременно простыми, точными и эффективными. В поисках организмов, фиксирующих азот, он инокулировал почвой питательную среду, содержащую все элементы питания, за исключением азотистых соединений; таким образом, здесь могли развиваться лишь бактерии, способные ассимилировать газообразный азот, и они действительно были найдены. Но далее он убедился, что процесс был эндотермическим, и требовал некоторого источника энергии, вследствие чего Виноградский внес в раствор сахар. Этот метод (известный под названием селективного метода) состоит в создании возможно более благоприятных условий для группы отыскиваемых организмов и наиболее неблагоприятных для всех других; метод оказался чрезвычайно ценным для последующего развития почвенной бактериологии.

Раствор Виноградского содержал от 2 до 4% декстрозы, немного свежепромытого мела, 0,1%  $K_2HPO_4$ , 0,05%  $MgSO_4$  и следы  $NaCl$ ,  $FeSO_4$  и  $MnSO_4$ , вместе с небольшим количеством почвы.

При аэробных условиях азот ассимилировался и разлагал сахар, причем выделялись углекислота и водород и образовывались *n*-бутировая и уксусная кислоты в пропорциях трех или четырех молекул первой и одной молекулы второй; образование обеих кислот вместе происходило за счет почти половины сахара. Найдено было немного спирта, но никакой не летучей кислоты не обнаружено.

Замечено было ясное отношение между количеством ассимилированного азота и разложенного сахара; на каждый миллиграмм фиксированного азота требовалось окисление около 500 мг сахара.

Было обнаружено три организма: один клостридий и две бактерии, и они упорно отказывались от разъединения методом последовательных культур. И только при создании анаэробных условий удалось уничтожить обе бактерии и получить клостридий в чистом виде (1902). После изолирования бактерий оказалось, что клостридий и в отдельности обладает способностью фиксировать азот, но возникло новое затруднение—в чистых культурах этот организм мог действовать только при анаэробных условиях. Фиксация азота в присутствии воздуха происходила только тогда, когда бактерии-защитницы присутствовали в культуре одновременно. Этот организм получил название *Clostridium*



*pasteurianum*<sup>1</sup>; он имел вид палочки толщиной в 1,2  $\mu$  и длиной в 1,5—2  $\mu$  и образовал споры.

Для упрощения бактериальной флоры Виноградский нагревал свою почву до 75°, убивая этим организмы, не образовавшие спор; позднее же Бейеринк (1901, 1902), работая с ненагретой почвой, открыл еще три организма, фиксирующие азот: *Azotobacter chroococcum* (названный так потому, что производит темно-коричневый пигмент), *Granulobacter* и *Radiobacter*<sup>2</sup>. Азотобактер является самым активным из них; в культурах он обычно образует крупные кокки или палочки от 4  $\mu$  до 6  $\mu$  толщиной, однако Ленне и Смит (1916) показали, что он проходит через сложный жизненный цикл. Позднее это изучалось Е. J. Petersen'ом Lyngby. От клостридиума азотобактер отличается в двух важных отношениях: 1) он аэробен, 2) он совершенно не производит бутировой кислоты. Его действия можно изучать, инокулируя 0,1—0,2 г почвы в 100 см<sup>3</sup> водопроводной воды, содержащей 2% маннитола, 0,02% K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и достаточное количество CaCO<sub>3</sub> при 27° до 30° C, в течение нескольких недель поддерживая тонким, хорошо проветриваемым слоем<sup>3</sup> в колбе Эрленмейера. Азотобактер фиксировал большее количество азота на грамм разлагаемого сахара, чем клостридиум.

С тех пор были описаны и другие организмы, фиксирующие азот, в частности, амилробактер<sup>4</sup> — группа, которая может включать *Clostridium* Виноградского; несколько организмов, которые не были найдены при первоначальном открытии, как, например, *Spirillum* Бейеринка<sup>5</sup>, *Planobacillus* Бондорфа<sup>6</sup>, *B. Truffauti*<sup>7</sup>, одна *Phoma*, а также одна из микориз<sup>8</sup>, но ни один из них не оказался настолько эффективным, как азотобактер, на котором и было сосредоточено большинство исследований.

Раствор Бейеринка действует удовлетворительно при смешанных культурах, но не при чистых. Предлагались разные гипотезы для объяснения этого факта; Бейеринк сначала предполагал, что азотобактер требует присутствия какого-то другого организма, но J. G. Lipman показал, что это было не так. Крже-

<sup>1</sup> Дальнейшие данные о *Clostridium* см. Омелянский, Int. [Rev. Sci. and Pract. of Agriculture, Rome, 1917, 8, 1190.

<sup>2</sup> Впоследствии Стокласа и другие показали, что они обладают лишь слабой способностью фиксировать азот (Centr. Bakt. Abt. II, 1908, 21, 484 и 620).

<sup>3</sup> Позднее Бейеринк пользовался яблочнокислым кальцием вместо сахара и показал, как изготовлять культуры этих организмов на пластинках (1908).

<sup>4</sup> G. Bredemann, Centr. Bakt., Abt. II, 1909, 23, 385—568.

<sup>5</sup> M. W. Beijerinck, 1925, Centr. Bakt., Abt. II, 63, 353.

<sup>6</sup> Kungl. Vet. Landbo. Aarschrift., Copenhagen, 1918, 365.

<sup>7</sup> La science du sol, 2, 3—16.

<sup>8</sup> B. M. Duggar and Davis, Ann. Miss. Bot. gard., 1916, 3, 413—437.

меневский<sup>1</sup> показал, что присутствие небольшого количества почвы является важным фактором; пока вносится почва, чистые культуры сохраняют свою эффективность. Активным фактором является гумус, но его значение заключается не в том, чтобы доставлять организму углерод или азот, и после обработки хлористо-водородной кислотой он теряет свою способность. Реми и Розинг<sup>2</sup>, а также Карстен Ольсен<sup>3</sup> приписывают это действие неизменно присутствующему железу<sup>4</sup>. С другой стороны, Аллен<sup>5</sup> предполагает, что коллоиды гумуса препятствуют полному осаждению фосфатов и этим облегчают фосфорное питание организма. J. Ziemienska показывает, что коллоидальная кремниевая кислота способствует фосфатному питанию азотобактера, совершенно так же, как делает это и при растениях<sup>6</sup>.

Особенно вредна почвенная кислотность<sup>7</sup> (стр. 304), щелочные же соли безвредны; азотобактер действительно является наиболее выносимым из всех организмов по отношению к засоленным почвам (стр. 372). Небольшие количества нитратов и других азотистых соединений оказываются благоприятными в ранних стадиях, в особенности для роста организмов, а также, хотя в меньшей степени и для фиксации азота<sup>8</sup>. Более крупные количества нитратов благоприятны для роста, но выше известного предела они совершенно останавливают фиксацию азота<sup>9</sup>, причем организмы, по видимому, предпочитают ассимилировать нитраты, а не свободный азот.

Азотофиксирующая способность азотобактера значительно возрастает в присутствии других организмов, будут ли это водоросли, бактерии или протозоа. Бейеринк и Ван Дельден и Липман (1903) признали, что смешанные культуры фиксировали азота больше, чем культуры чистые; Hanzawa же показал, что две разновидности азотобактера, жившие вместе, фиксировали азота больше, чем каждая в отдельности<sup>10</sup>. Омелянский и Солунсков объясняли усиление фиксации, замечаемое при смеси кластридиума и азотобактера, тем, что азотобактер, как сильно аэробный, поддерживает местные анаэробные условия для кластридиума, так что оба становятся способными работать. C. B. Lipman и L. J. H. Teakle изучали смесь азотобактера и *Chlorella*<sup>10</sup> и припи-

<sup>1</sup> Bull. Acad. Sci., Cracovie, 1908, 931—1051. См. также Carsten Olsen, *Compt. Rend.*, Carlsberg, 1930, 18, 1.

<sup>2</sup> *Centr. Bakt.*, Abt. II, 1911, 30, 349.

<sup>3</sup> *Compt. Rend.*, Carlsberg, 1930, 18, 1.

<sup>4</sup> См. также Reed and Williams, *Centr. Bakt.*, Abt., II, 1915, 43, 166.

<sup>5</sup> F. R. Allen, *Ann. Miss. Bot. Gard.*, 1919, 6, 1.

<sup>6</sup> *Rocz. N. Roln. i L. (Posnan)*, 1929, 22, часть 3.

<sup>7</sup> T. L. Hills, *Journ. Agric. Res.*, 1918, 12, 183—230.

<sup>8</sup> Bonazzi, *Journ. Bact.*, 1921, 6, 331.

<sup>9</sup> *Centr. Bakt.*, Abt. II, 1914, 41, 573.

<sup>10</sup> *Journ. Physiology*, 1925, 7, 509.

сывали возрастающую эффективность тому, что водоросли доставляют необходимые углеродистые соединения.

Д. М. Новогрудский<sup>1</sup> изучал стимулирующее действие *Vas. Stutzeri* и *V. denitrofluorescens* на азотобактер.

Взаимодействие протозоа с азотобактером ведет к усилению фиксации азота. Это довольно детально изучалось в Ротамстеде сначала С. М. Назиром<sup>2</sup>, а впоследствии Д. Кутлером и Д. В. Балем<sup>3</sup>. Кутлер приписывает эффект трем различным действиям:

1. Возрастанию индивидуальной эффективности в результате меньших размеров населения.

2. Удалению через протозоа старых клеток азотобактера, что оставляет поле чистым для более молодых и более энергично растущих организмов, которые являются, вероятно, и наиболее активными фиксаторами азота.

3. Удалению азота, фиксированного азотобактером, перенесением его из их тел, в которых он главным образом встречается, в тела амёб, питающихся ими, в которых он может накапливаться, не задерживая процесса фиксации.

Бывают ли действительно эти действия настолько разнообразны, как и объяснение их, еще не ясно; возможно, что главной причиной повышения фиксации является местное азотистое голодание, вызываемое присутствием других организмов.

О химизме фиксации пока еще мало известно. Сахар и другие углеродистые соединения сполна окисляются в  $\text{CO}_2$  и воду, причем объем  $\text{CO}_2$  бывает равен объему поглощенного кислорода<sup>4</sup>. Нет никаких указаний на то, чтобы при этом получались кислота или алкоголь, хотя это и могло бы случиться, если бы растворы не были вполне аэробными. Функции клостридия описаны ниже.

Фиксация азота объяснена еще не вполне удовлетворительно. Виноградский<sup>5</sup>, Норрис и другие считают, что первым продуктом является аммиак, который постепенно перерабатывается в более сложные формы: большой процент азота, фиксированного в течение нескольких первых дней роста, приходится в клетках азотобактера в виде аминокислот. Спустя приблизительно шесть дней быстро возрастает количество протеина<sup>6</sup>.

Существует некоторая зависимость, хотя и не очень тесная,

<sup>1</sup> Труды НИУ, № 76, 1930, 69—91. Москва.

<sup>2</sup> Ann. Applied. Biology, 1923, 10, 122.

<sup>3</sup> Ibid., 1926, 13, 516; см. также K. Hirai and Hino, Influence of Soil Protozoa on Nitrogen Fixation of Azotobacter, Nippon Nogiek-wagak-Kwaishi, vol. 2, 1926.

<sup>4</sup> Окисление в культурном растворе бывает так энергично, что 1 г дает не менее 1,3 г  $\text{CO}_2$  за 24 часа (Стоклаза и Эрнест, 1905 г.).

<sup>5</sup> Winogradsky, C. R. Acad. Agric. de France, 1930, 16, 580.

<sup>6</sup> D. D. Waynick and Woodhouse, Cal. Agric. Exp. Sta. Ann. Report, 1918—19, 62—63; S. Ranganathan and R. V. Norris, 1927, Journ. Indian Inst. Sci., A, 10, 79—96.



между количеством фиксированного азота и химической природой доставляемых компонентов. Так, например, сахара в общем являются наиболее эффективным питательным веществом; более ранние работники обычно получали фиксацию от 7—10 мг азота на 1 г разложенного сахара<sup>1</sup>. Гейни, однако, показал, что разные линии азотобактера сильно варьируют по своей активности и что нельзя установить какого-либо общего порядка эффективности органических компонентов<sup>2</sup>.

На активность фиксации азота глубоко влияет возраст культуры. Молодые, растущие культуры являются наиболее энергичными фиксаторами; позднее, когда азотистые соединения начинают аккумулироваться, они продолжают свое разложение углеводов, но уже не фиксируя так много азота, как прежде<sup>3</sup>. Азотобактер является, повидимому, во всяком случае менее эффективным фиксатором азота, на единицу выделяемой энергии, чем *кlostридиум*.

Вообще принималось, что процесс превращения газообразного азота в белок является, по необходимости, экзотермическим и что для возбуждения его требуется некоторое количество энергии; в таком случае потребность в легко разлагающемся органическом веществе вполне объясняется. Этот процесс поразил бы всякого инженера своей низкой эффективностью, так как утилизируется приблизительно только около 1% энергии<sup>4</sup>.

Однако Dean Burk<sup>5</sup> показал, что возможны эндотермические реакции, которые позволяют всему процессу происходить без необходимости в энергии от окисления органического вещества. Во всяком случае, если нам посчастливилось быть весьма заинтересованными в способности этих организмов фиксировать азот, то из этого еще никоим образом не следует, что это является центральным процессом их существования. Бонацци<sup>6</sup> действительно считает, что они прибегают к этому процессу только в случае, если испытывают азотный голод.

Очень трудно установить, какое количество азота фиксируется в естественных почвах организмами, фиксирующими азот, живущими на свободе. Во всех случаях наблюдалось увеличение содержания азота при естественных условиях во влажных климатах, но при этом присутствовали бобовые растения, на счет которых могло быть отнесено это увеличение (стр. 308).

<sup>1</sup> Löhnis und Pillai (1908); Gerlach u. Fogel, Mitt. K. Wilhelm Inst., Bromberg, 1902, 9, 817 и 1903, 10, 636.

<sup>2</sup> P. L. Gainy, Ann. Miss. Bot. Gard., 1928, 15, 113—168.

<sup>3</sup> A. Koch и S. Seydel, Centr. Bakt., Abt., II, 1912, 31, 570; D. W. Cutler and D. V. Bal, Ann. Applied Biology, 1926, 13, 516.

<sup>4</sup> G. A. Linhart, Journ. Gen. Physiol., 1920, 2, 247.

<sup>5</sup> Journ. Gen. Physiol., 1927, 10, 559. Вопрос об энергии фиксации очень полно рассматривается у P. W. Wilson and W. H. Peterson в The Energetics of Heterotrophic Bacteria, Chem. Reviews, 1931, 8, 427, 480.

<sup>6</sup> Journ. Bact., 1921, 6, 331.



Лабораторные исследования во влажных климатах усложняются тем обстоятельством, что в почвах имеется так много азота, что незначительные изменения трудно измерить с достаточной точностью, и притом происходят потери азота, которые перевешивают любую фиксацию. В некоторых почвах, очень бедных азотом, находящихся в жарких, засушливых областях, исследование, конечно, было бы более легким. Твердое, бесспорное доказательство могло бы быть дано демонстрацией увеличения азота, осуществленного азотобактером, при устранении всех других возможностей. Такого доказательства пока еще не предвидится.

Тем не менее является очевидным, что почвы, свободные от бобовых растений, увеличивают содержание азота, когда имеются налицо все условия, необходимые для деятельности азотобактера. Обычно вносится в почву сахар или другое безазотистое органическое вещество и изучаются изменения в содержании азота. Сахар оказывает двойное влияние: удаляет из почвы все нитраты (стр. 281) и доставляет энергию для фиксации, и оба эти условия являются существенными для активности данного организма. В общем получается некоторое увеличение содержания азота, но часто замечаются и потери<sup>1</sup>, причем известная убыль нитратов происходит неизбежно. А. Kosh (1907) последовательно вносил небольшие дозы декстрозы в 500 г суглинка, смешанного с песком, и покрывал этой смесью пластинки для обеспечения обильной аэрации, поддерживая одинаковую влажность при 20° С. Очень скоро начиналась фиксация азота и достигала своего максимума через восемнадцать недель, после чего стали наблюдаться потери: результаты приведены в таблице 78.

Таблица 78

*Фиксация азота в почве бактериями в присутствии декстрозы. Kosh (1907)*

| Дозы вносившейся<br>декстрозы на 100 г почвы | Общее количество внесенной<br>декстрозы в граммах на 100 г<br>почвы через: |             |                |              | Миллиграммов фиксированного<br>азота на 100 г почвы<br>через: |             |              |              |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|---------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
|                                              | 5<br>недель                                                                | 8<br>недель | 18<br>недель   | 26<br>недель | 5<br>недель                                                   | 8<br>недель | 18<br>недель | 26<br>недель |
|                                              | 23<br>июня                                                                 | 20<br>июля  | 3 ок-<br>тября | 30<br>ноября | 26<br>июня                                                    | 20<br>июля  | 3<br>октября | 30<br>ноября |
| 0,2 . . . . .                                | 1,0                                                                        | 1,6         | 3,6            | 5,2          | 8,3                                                           | 14,9        | 17,8         | 18,9         |
| 0,5 . . . . .                                | 2,5                                                                        | 4,0         | 9,0            | 13,0         | 20,1                                                          | 32,5        | 36,8         | 31,6         |
| 1,0 . . . . .                                | 5,0                                                                        | 8,0         | 18,0           | 26,0         | 35,8                                                          | 57,2        | 58,7         | 52,7         |
| 1,5 . . . . .                                | 7,5                                                                        | 12,0        | 27,0           | 37,5         | 40,5                                                          | 66,7        | 68,5         | 66,8         |
| 2,0 . . . . .                                | 8,0                                                                        | 14,0        | 26,0           | 36,0         | 43,9                                                          | 78,8        | 80,0         | 78,8         |

<sup>1</sup> Например, Ph. Schneider, Landw. Jahrb., 1906, 35, Ergänzt. Bd. IV.

На каждый грамм декстрозы, внесенный малыми дозами, около 8 мг азота фиксировалось в течение первых восьми недель; потом фиксировалось не более 4 или 5 мг. Сахар в более крупных дозах был менее эффективен: количества фиксированного азота составляли 5—6 мг на грамм сахара в начале и 3 мг—впоследствии.

Опыты в сосудах показали, что накопленный таким образом азот в почве является усвояемым для питания растений. Декстроза и сахароза сначала понижали урожайность, затем вызывали повышение и, наконец, делали почву более богатой азотом, чем она была в начале опыта (табл. 79).

Таблица 79

*Влияние декстрозы и сахарозы на продуктивность почвы и на содержание азота в ней. Кох (1907)*

| Внесено сахара на 100 г почвы | Полученные урожаи   |            |                          |            | Всего азота взято уро-<br>жаем (в г) | Оставалось<br>азота в почве<br>весной, 1906 |                                                     |
|-------------------------------|---------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                               | Овес, 1905          |            | Сахарный<br>свекла, 1906 |            |                                      | Всего N (в %)                               | N в виде ни-<br>тратов, ча-<br>стей на мил-<br>лион |
|                               | Сухое веще-<br>ство | N в урожае | Сухое веще-<br>ство      | N в урожае |                                      |                                             |                                                     |
| 0 . . . . .                   | 100                 | 100        | 100                      | 100        | 0,5914                               | 0,093                                       | 10                                                  |
| 2% декстрозы . . . . .        | 32,8                | 62,5       | 186                      | 190        | 0,6814                               | 0,105                                       | 17                                                  |
| 2% тростн. сахара . . . . .   | 33,3                | 58,7       | 179                      | 195        | 0,6801                               | 0,105                                       | 15                                                  |
| 4% » . . . . .                | 37,7                | 78,1       | 283                      | 339        | 1,0092                               | 0,119                                       | 37                                                  |

Но если температура почвы опускалась слишком низко, фиксация азота прекращалась: при 7° С ее уже не наблюдалось, хотя при 15° С снова возобновлялась. Оптимальная температура находится между 25° и 30° С.

Пфейфер и Бланк<sup>1</sup>, однако, не были в состоянии получить каких-либо благоприятных результатов от сахара. Опыты в Ротамстеде показали повышение фиксации при осеннем внесении и понижении при весеннем (Н. В. Hutchinson, 1918).

Повышение, урожаев сахарного тростника следовало за применением мелассы на почвах на агрономической станции и в имени Ebbelsa<sup>2</sup>, на острове Маврикия; где окончательный эффект хоро-

<sup>1</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1912, 78, 375—388.

<sup>2</sup> См. The Agricultural News, 1902, 7, 927; 1910, 8, 333 и 1911, 10, 179.

ӨзДҚ-ХІ КҮТҮБХАНАСЫ  
БИБЛИОТЕКА УЗГС-ХІ

шо проявился, а также и на острове Antigua<sup>1</sup>. С другой стороны. Пек на Гавайских островах и Харрисон в Британской Гвинее<sup>2</sup> наблюдали заметные потери нитратов.

Повышение урожайности при внесении в почву сахара или крахмала еще не является доказательством фиксации азота и могло бы с неменьшей убедительностью быть приведено как доказательство, что сахар и продукты его разложения являются непосредственной пищей растений. Доказательство было бы удовлетворительным только в том случае, если бы действительная прибыль азота демонстрировалась анализом. В качестве практической меры внесение сахара в почву является совершенно неприемлемым. Бейеринк (15) показал, что некоторые соединения, получающиеся при разложении целлюлозы, также служат источниками энергии для азотобактера, а Принтсгейм<sup>3</sup> нашел, что это верно по отношению к клостридиуму.

Хэтчинсон (1918) показал, что листья, живые и пр. способствуют повышению фиксации азота, хотя при иных условиях они могут, подобно сахару, понижать содержание нитратов в почве<sup>4</sup>.

Ричардс<sup>5</sup> сделал интересное наблюдение, что извержения животных также бывают полезны азотобактеру как при культурных, так и в более естественных условиях, причем существует тесная зависимость между кормлением животных и эффектом азотобактера. Лошади, получавшие овес, давали извержения, которые вызвали наиболее интенсивную фиксацию; лошади, питавшиеся травой, следовали за ними; скот, кормленный жмыхом, стоит на третьем месте; извержения же скота, кормившегося травой, оказывались непригодными.

Таким образом, затруднения с материалом легко преодолеть, так как на ферме всегда имеются большие количества целлюлозы в виде соломы. Но остается еще вопрос о температуре. Азотобактер, как мы уже знаем, требует больше тепла, чем многие другие организмы, и, согласно опытам Коха, становится бездеятельным при 7° C. Thiele наблюдал температуру ежедневно в течение трех лет в пахотных почвах и в почвах, занятых травой, на различной глубине в Бреславле<sup>6</sup> и пришел к выводу, что в очень редких случаях она бывала благоприятной для азотобактера. Но нельзя переносить заключений на основании данных, полученных в культурном растворе, на почву, и действительно Леннис показал, что

<sup>1</sup> См. Manurial Experiments with Sugar Cane in the Leeward Island, 1908—1909 и 1909—1910 (брошюры 64 и 68 West Indian Departement of Agriculture).

<sup>2</sup> West India Bull., 1913, 13, 126. Имеются интересные данные о потере азота почвой.

<sup>3</sup> Biol. Centr., 1911, 31, 65—81.

<sup>4</sup> Работу Дворака, опубликованную раньше, см. Zeit. landw. Versuchs.-Oesterreich 1912, 15, 1077—1121.

<sup>5</sup> Journ. Agric. Sci., 1917, 8, 299.

<sup>6</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1905, 63, 161—238.

смешанные культуры из почвы при 10° С бывают почти так же эффективны, как при 20° С<sup>1</sup>.

Повидимому, с полным основанием можно принять, что в условиях влажного климата, пока температура остается достаточно высокой, азотобактер фиксирует азот в почвах с хорошей аэрацией и хорошо снабженной углекислым кальцием, калийными солями и фосфатами, а также углеродными веществами подходящего качества и влагой. Содержание нитратов в почве значительно варьирует в различные времена года (стр. 210) и часто может падать так низко, что нарушает фиксацию азота. Там, где доступ воздуха задерживается благодаря плотной структуре почвы, все же остается возможность фиксации с помощью кlostридиума. Ашби<sup>2</sup> нашел, что относительное распределение азотобактера и кlostридиума зависит от количества углекислого кальция в почве; везде, где только находилось более или менее значительное количество последнего, азотобактер встречается неизменно; в противном случае встречался один только кlostридий. Повидимому, это явление общего порядка<sup>3</sup>. Gainey<sup>4</sup> установил, что азотобактер встречается в почвах с pH 6,0 и выше, но не встречается в почвах с pH 5,9 и ниже. Эта чувствительность азотобактера используется как способ установления потребности почвы в извести (стр. 379).

В засушливых климатах условия для деятельности азотобактера в почве являются, повидимому, более благоприятными. Культура пшеницы скорее повышает, чем понижает содержание азота в почве (стр. 319). Колосья снимаются обычно хедером, и большая часть соломы запахивается, а так как условия температуры бывают обычно весьма благоприятны, то фиксация азота происходит, повидимому, очень активно<sup>5</sup>.

#### *Фиксация азота бактериями при симбиозе с бобовыми*

После замечательного открытия Гельригелем и Вильфартом связи между бактериями и бобовыми (стр. 29) делалось немало безуспешных попыток изолировать и изучать эти организмы при помощи методов того времени. Бейеринк (1888) отказался от обычных методов мясо-бульонно-желатинных пластинок и заменил их слегка подкисленной средой, приготовленной из настойки листьев

<sup>1</sup> Mitt. Landw. Stat., Leipzig, 1905, 7, 94.

При 10°—12°C, 20°—22°C, 30°—32°C

3,15 мг, 4,55 мг, 4,27 мг фиксированного азота.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1907, 2, 35—51.

<sup>3</sup> Hugo Fischer (Journ. Landw., 1905, 53, 61) находил азотобактер на участках в Бонн-Поппельсдорфе, в которые вносились известь, и не встречал его в почвах без извести. Burri обнаружил его только в 1/3 исследованных им швейцарских почв.

<sup>4</sup> Journ. Agric. Res., 1918, 14, 265. E. B. Fred и A. Davenport нашли, что эти пределы в культурных растворах лежат между 6,5 и 8,6 (Journ. Agric. Res., 1918, 14, 317).

<sup>5</sup> J. E. Greaves, Centr. Bakt., Abt. II, 1914, 41, 444—459.



тороха с желатином (7%), аспарагина (25%) и сахарозы (0,5%). Размножение бактерий пошло быстро, и образовались колонии из палочек в 1  $\mu$  толщины и 4—5  $\mu$  длины, некоторые из них имели признаки формации бактериоидов и «живчиков» (swarmers) 0,9  $\mu$  длины и 0,18  $\mu$  ширины, которые принадлежат к мельчайшим из известных микроорганизмов<sup>1</sup>.

Эти организмы проходят через определенный жизненный цикл, который был выяснен В. Ф. Бьюли и Хэтчинсоном (1920) для культурных растворов, но те же самые изменения происходят в клубеньках<sup>2</sup> и в почве.

Начнем с неподвижных кокков: они вздуваются, развивают жгутики и становятся подвижными («swarmers» прежних исследователей), затем удлиняются и развивают еще больше жгутиков.



Рис. 38. Жизненный цикл *Bacillus radialis*.

становясь подвижными палочками; наконец, они теряют свои жгутики, становятся неподвижными, и в них появляются вакуоли, что придает им вид опоясанных—они бывают прямыми и ветвистыми. Потом происходит распадение их на кокки, и таким образом цикл начинается снова (рис. 38).

Ветвистые организмы формы Т или Y суть бактериоиды, обычно видимые в клубеньках; их образование в культурных средах стимулируется сахарами или небольшими количествами органических кислот, какие, например, содержатся в соке растения-хозяина (Stutzer, 1901). С другой стороны, Thornton и Gangulee (1926) показали, что образование кокков, быстро превращающихся в подвижных «живчиков» («swarmers»), сильно стимулируется внесением фосфатов или молока. В культурах может быть превращено в эту форму до 80% организмов.

В противоположность другим почвенным организмам *Bacillus radialis* встречается не во всех районах, а только там, где живет растение-хозяин, обладая, таким образом, обычным свойством

<sup>1</sup> Гольдинг показал, что они проходят даже сквозь фарфоровый фильтр, и этим способом приготовил чистые культуры.

<sup>2</sup> J. E. Wallin, Journ. Bact., 1922. 7, 741.

прерывистого географического распределения. Однако, хотя эта бактерия, повидимому, и связана с растением-хозяином, при благоприятных условиях она может жить в почве до 10 и более лет и отдельно от растения-хозяина<sup>1</sup>, и различными исследователями действительно удавалось изолировать ее из почвы<sup>2</sup>. Предполагали даже, что она фиксирует азот во время своего изолированного от растения существования, но доказательства этого неубедительны<sup>3</sup>.

Ничего не было известно о жизни данного организма в почве до тех пор, пока Н. G. Thornton и N. Gangulee (1926) не преодолели трудности исследования своей находчивостью. Пользуясь измененным методом непосредственного окрашивания, открытым Виноградским (стр. 331), они смогли показать, что этот организм проходит в почве такой же цикл, как и в культурном растворе, и что развитие подвижности стимулируется внесением фосфатов. При благоприятных условиях влажности, температуры и уплотнения почвы подвижные формы могут перемещаться в почве со скоростью 1 дюйма в течение 24 часов; в нормальных условиях эта скорость, вероятно, бывает меньшей. Прежние вычисления, дававшие 1 дюйм в 48 и даже 72 часа, может быть, тоже недалеки от истины<sup>4</sup>, тогда как в более сухой и более плотной почве перемещение организмов должно быть чрезвычайно медленным<sup>5</sup>.

Размножение происходит в двух стадиях цикла, но различными способами: подвижные палочки делятся надвое, палочки же с поясками—на несколько частей, и последний способ имеет большую важность. Общее количество организмов в почве не остается постоянным даже при постоянных внешних условиях температуры, влажности и пр., а всегда варьирует (рис. 39).

Известно 11—12 разновидностей этого организма, и каждая из них может атаковать и селиться лишь на определенном бобовом растении, но не на других<sup>6</sup>. Различно они реагируют и на серологические испытания<sup>7</sup>. Затем эти разновидности различаются своей выносливостью по отношению к кислотности в пределах от pH 3,15 до pH 4,9, однако все они более выносливы по отношению к ней, чем азотобактер. Среди разновидностей имеются формы, которые хотя и способны заражать одни и те же растения, но различаются серологически и по своей эффективности в фиксации азота<sup>8</sup>; обычно они несколько различаются по своему внешнему виду

<sup>1</sup> A. L. Whiting, Journ. Amer. Soc. Agron., 1925, 17, 474—487.

<sup>2</sup> См. C. B. Lipman and L. Fowler, Science, 1915, 41, 256 и 725 (о методах).

<sup>3</sup> См. Marie P. Löhnis, Soil Sci., 1930, 29, 37—57.

<sup>4</sup> K. F. Kellerman and E. H. Fawcett, Science, N. S., 25, 806.

<sup>5</sup> См. W. C. Frazier and E. B. Fred, Soil Sci., 1922, 14, 29.

<sup>6</sup> T. J. Burrell and R. Hansen, III, Exp. Sta Bull., 202, 1917.

<sup>7</sup> M. Klimmer и R. Krüger, Centr. Bakt., Abt. II, 1914, 40, 256—265.

<sup>8</sup> J. W. Stevens, Soil Sci., 1925, 20, 45—62; W. H. Wright, Soil Sci., 1925, 20, 95—141; G. E. Helz, H. Baldwin and E. B. Fred, Journ. Agric. Res., 1927, 35, 1039—1055.

на пластинках или по своему относительному распределению на главном корне и на боковых разветвлениях его.

Особенно проникновения организмов в растения изучалось сначала Маршаллом Уордом (1887), потом Праймовским<sup>1</sup> для гороха, затем Ноббе и Хиллнером (1893 и 1896) и Даусон (Dawson).

Отношение растения к организму детально изучалось для лилии Торнтоном и его коллегами в Ротамстеде. Нормально организм не входит в растение до образования настоящих листьев; в этой стадии растение выделяет какие-то секреты, которые пере-

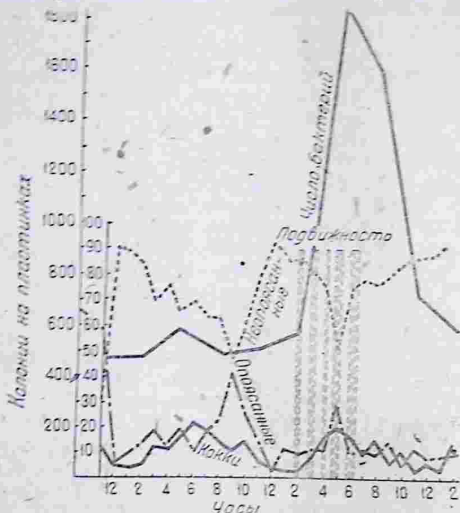


Рис. 39. Общее число организмов и % их в форме кокков, опоясанных и не опоясанных палочек через 2-часовые интервалы в культуре (Торнтон и Гангули, 1926).

ходят в почву и, повидимому, дают начало всему процессу. Бактерии также выделяют какое-то вещество, и это вызывает скручивание корневых волосков.

Тогда некоторые из организмов прикрепляются к волоску около точки скручивания, проникают в него и движутся в нем. Сначала они группируются в рыхлые нити, или в инфекционные нити, которые растут в глубь волоска и проникают в клетки коревой оболочки; эта нить бывает сначала голой, но впоследствии окружается цитом, повидимому, выделяемым растением-хозяином. Этот

<sup>1</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1890, 37, 161—238 и 1893, 38, 5—62.

исит впоследствии вздувается пузырями, которые трескаются, открывая организм вход в цитоплазму. Тем временем клетки растения-хозяина в зараженных районах быстро размножаются, образуя таким образом молодой клубенок. Те клетки, в которые проникли бактерии, сильно раздуваются. Скоро они перестают делиться, за исключением нижнего конца; здесь, однако, деление продолжается, так что клубенок становится удлиненным.

Однако бактерии не вступили еще в контакт с циркуляционной системой растения, и, пока они не вступят, симбиоз не станет эффективным. Связь устанавливается через пряди сосудистоволокнистых пучков, которые отрастают из стебля и окружают набухшую клеточную ткань. По этим новым сосудам движутся сахар и другие питательные вещества, а также источники энергии от растения к организму, а синтезированные азотистые соединения от организма к растению.

В течение этого процесса организмы совершают свой жизненный цикл. В почве они были неподвижными кокками или инертной формой живчиков («swarmers»); в корневой волосок они входят, вероятно, в форме живчиков, становятся палочками и быстро размножаются в рыхлой нити, а в клубеньке они превращаются в детвистые палочки с поясами или «бактероиды».

Заражение протекает особенно быстро в растениях, ослабленных азотистым голоданием, и бывает почти незаметным у растений, энергично растущих на богатой почве. Поэтому Хильтнер (1900, 1903) принимал рассматриваемые взаимоотношения как паразитизм; этот взгляд поддерживался и последующими работниками. Бренчли и Торнтон (1925) своим замечательным исследованием показали, что надлежащее слияние бактерий с растением зависит от присутствия следов бора. В отсутствии последнего волокнистых прядей от сосудистой системы к клубеньку развивалось мало, или они совсем не развивались; бактерии, хотя и находятся в корне, не могут всасывать сахара из растений или передавать растению синтезированные ими азотистые соединения; вместо этого они атакуют корневые ткани и причиняют им значительный вред.

Химизм процесса неизвестен; не были даже достаточно исследованы изменения углеводов бактериями в культурной среде. Известно, что фиксация азота происходит в клубеньке, который, таким образом, становится богаче азотом, чем остальные части корня<sup>1</sup>, и конечным продуктом фиксации является, как предпола-

<sup>1</sup> Результаты анализов, произведенных Стоклязой с желтыми люпинами (Landw. Jahrb., 1895, 24, 827), были следующие:

| Количество азота                      | Образование цветков | Начало образования семян | Зрелые семена |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| Азота в клубеньках (в %) . . . . .    | 5,2                 | 2,6                      | 1,7           |
| в прочих частях корня (в %) . . . . . | 1,6                 | 1,8                      | 1,4           |

Whiting (Ill. Agric. Exp. Sta. Bull. 179, 1915) также занимается этим вопросом.



гается, растворимый протеин, передаваемый растению. Заметное стимулирующее влияние на образование клубеньков в почвенных культурах<sup>1</sup> оказывают следующие вещества: фосфаты, соединения кальция и углеродистые соединения, как, например, сахара, органические кислоты, продукты разложения соломы и пр., а также, согласно Олярю<sup>2</sup>, и марганцевые соединения.

Количество фиксируемого бактериями азота бывает настолько значительным, что легко доступно измерению в поле. По смерти растения-хозяина или после заделки его в землю азотистые соединения быстро превращаются в нитраты. Однородный участок земли в Ротамстеде был разделен на две части: одна часть его была занята клевером, а на другой был посеян ячмень. После уборки урожаев были взяты образцы почвы для анализа, а затем ячмень был посеян на обеих частях. Результаты анализа получены следующие.

Таблица 80

*Влияние клевера на содержание азота в почве*

|                                                                        | Участок, бывший под клевером | Участок, где клевер не сеялся |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Азот в урожае (1873 г.) англ. фунтов/акр. . . . .                      | 151,3 (в клевере)            | 37,3 (в ячмене)               |
| Азота оставалось в почве после уборки урожая (1873 г.) (в %) . . . . . | 0,1566                       | 0,1416                        |
| Азота в урожае (1874 г.) англ. фунтов/акр. . . . .                     | 69,4 (в ячмене)              | 39,1 (в ячмене)               |

Эти факты хорошо известны земледельцам-практикам и используются для повышения содержания азота в пахотных почвах, а также при освоении бесплодных песчаных и глинистых почв (стр. 466).

Клубеньковые организмы встречаются не во всякой почве, будучи ограничены, с одной стороны, географическим распределением растений-хозяев, а с другой—своей собственной нетерпимостью к почвенной кислотности, и нередко случается, что бобовые при первом посеве не находят в почве свойственных им организмов. Возможность искусственной прививки культур необходимых организмов к почвам, в которых они отсутствуют, впервые изучалась

<sup>1</sup> J. K. Wilson, Cornell Agric. Exp. Sta. Bull. 386, 1917, W. A. Albrecht, Soil Sci., 1920, 9, 275 и разные работы лаборатории A. L. Whiting (Illinois). Этим можно объяснить благоприятное действие навоза на урожай клевера (E. J. Russell, Journ. Bd. Agric., 1919, 26, 124). H. G. Thornton, Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 563.

<sup>2</sup> Compt. Rend., 1915, 160, 280.

Гильтнером<sup>1</sup> (1900 и 1903), явившимся пионером в исследованиях, открывших впоследствии широкое поле для плодотворной работы. Были достигнуты хорошие успехи, показавшие пригодность такого метода, но, с другой стороны, случаи неудачи свидетельствовали, что все условия, необходимые для полного успеха, были еще не вполне известны. Затруднения постепенно были преодолены, в особенности работами Бартеля (1919) в Швеции, Х. Кристенсена в Дании, Ф. С. Гаррисона<sup>2</sup> в Канаде, Бюро растительной индустрии в США и Х. Г. Торнтона в Англии<sup>3</sup>.

В настоящее время инокуляция является приемом, вошедшим в практику и очень полезным при культуре бобовых, особенно люцерны.

### Окисление серы и ее соединений

Сера входит в состав некоторых компонентов растения и остается в продуктах разложения в почве в виде сульфатов, которые легко ассимилируются растениями. Этот процесс впервые был изучен Буланже<sup>4</sup> и Демолоном<sup>5</sup> и затем Брауном (1914) и другими на Нью-Джерсейской опытной станции (США). Интерес сосредоточился главным образом вокруг организмов, которые могут окислять элементарную серу, вероятно, в целях получения энергии. Два из этих организмов, изучавшихся Ваксманом и Иоффе<sup>6</sup>, чрезвычайно интересны; один может жить в чисто неорганическом растворе, получая для себя углерод из уголекислоты (подобно нитрифицирующим организмам); другой же, *Thiobacillus thio-Oxidans*, обладает выдающейся выносливостью к кислотности, и ему приписывается способность жить в среде с рН до 0,58, вероятно, рекордной величины для живых организмов. Иенсеном этот организм найден был в Дании в одной очень кислой песчаной почве (рН 2,2), содержавшей свободную серную кислоту и растворимые соединения железа<sup>7</sup>. Этим свойством пользуются в США в случае необходимости сделать почву кислой, как, например, при борьбе с картофельной паршой (стр. 428) и при освоении засоленных почв (стр. 265).

Обратный процесс, т. е. превращение сульфатов в сульфиды, происходит при анаэробных условиях.

<sup>1</sup> См. также Nobbe и Hiltner (1893—1896).

<sup>2</sup> F. C. Harrison and B. Barlow, *Centr. Bakt.*, Abt. II, 1907, 19, 264, 426.

<sup>3</sup> *Journ. Agric. Sci.* (1929, 19, 48—70).

<sup>4</sup> *Compt. rend.*, 1912, 154, 369.

<sup>5</sup> *Ibid.*, 1912, 154, 524; 1913, 156, 725.

<sup>6</sup> *Journ. Bact.* 1922, 7, 239; см. также Waksman, *Principles of Soil Microbiology*, 1927, стр. 405.

<sup>7</sup> *Centr. Bakt.*, Abt. II, 1927, 72, 242.

## Окисление карбонатов железа и марганца

Некоторые бактерии обладают способностью окислять карбонаты закисей железа и марганца и этим способом добывать себе энергию. Виноградский<sup>1</sup> исследовал *Leptothrix*, а Лиске<sup>2</sup> *Spirophyllum*; оба организма могут жить без органического вещества, добывая себе углерод из двуокиси углерода. Насколько они важны для почвы, неизвестно, так как большая часть технических исследований производилась с водами.

## Влияние микроорганизмов на фосфорные и калийные соединения в почвах

Органические фосфорные соединения в растительных остатках постепенно распадаются в почве и превращаются в фосфаты. Бактерии, разлагающие нуклеопротеины, изучались А. Кохом и А. Эльснером<sup>3</sup>, но не выяснено, какие еще организмы могут принимать участие в этом. По временам высказывалось предположение, что нерастворимые минеральные фосфаты растворяются некоторыми микроорганизмами в почве. В культурных растворах при соответствующих условиях этот процесс, действительно, происходит, а в почве он до некоторой степени осуществляется угольной кислотой, освобождаемой микроорганизмами. Хопкинс и Уайтинг<sup>4</sup> поддерживали взгляд, что нитрифицирующие организмы в отсутствии углекислого кальция могут действовать непосредственно на минеральные фосфаты, но сомнительно, чтобы это было обычным явлением в почве. В общем факты говорят против какого бы то ни было действия почвенных организмов на минеральные фосфаты, за исключением случаев разложения органического вещества. К. Рудаков<sup>5</sup> показал, что фосфаты могут восстанавливаться в анаэробных условиях в культурных растворах до гипофосфитов и до фосфина (фосфористый водород,  $\text{PH}_3$ ); он предполагает, что эта реакция может происходить и в почвах, но Либерт не мог получить подтверждения этого<sup>6</sup>.

Разложение растительных остатков в почве повышает количество усвояемого растениями калия. Однако о каком-либо прямом действии при этом микроорганизмов никаких очевидных данных

<sup>1</sup> Winogradsky, Ueber Eisenbakterien, Botan. Zeitung, 1888, 46, 262.

<sup>2</sup> R. Lieske, Physiologie von Spirophyllum ferrugineum, Ellis Jahr. wiss. Bot., 1911, 49, 91—127; Zur Ernährungsphysiologie der Eisenbakterien (Centr. Bakt., Abt. II, 1919, 49, 413—425).

<sup>3</sup> Biochem. Zeit., 1922, 134, 76.

<sup>4</sup> Ill. Agric. Exp. Sta. Bull., 190, 1916.

<sup>5</sup> Известия бактериологической с.-х. станции, Москва, 1926, 24, 171; 1928, 25, 203.

<sup>6</sup> Centr. Bakt., Abt. II, 1927, 72, 369—374.

не имеется; распад сложных органических соединений сам по себе освобождает калий из их тканей, между тем как то или иное действие на нерастворимые минеральные вещества проще объясняется химическими процессами.

### Эффект почвенных условий на природу и глубину изменений в азотистых соединениях

#### Изменения, понижающие содержание азота в почве

Изменения азотистых соединений сводятся к наиболее простым формам, когда обыкновенная пахотная суглинистая почва поддерживается в состоянии достаточной влажности и аэрации, при температуре 10—15° С, и свободной от растительности и от промывающего действия дождей. Кислород при этом поглощается, некоторые органические вещества разлагаются, выделяется  $\text{CO}_2$  и образуются нитраты.

Какова бы ни была почва, всегда замечается некоторая пропорциональность между этими различными процессами; на каждую часть азота, превращающегося в нитраты, окисляется около 9—10 частей углерода. Перемены в условиях влажности или температуры, благоприятные для действия микроорганизмов, повышают быстроту окисления, но отношение между углеродом и азотом все же поддерживается. Это хорошо иллюстрируется опытами Сиверса и Гольца (1926) с четырьмя сильно различавшимися почвами (табл. 81).

Таблица 81

*Разложение органического вещества почвы (за 142 дня).*

Сиверс и Гольц, 1926

| Азот в почве<br>(в %) | Углерод в<br>почве (в %) | Отношение<br>C/N в почве | Освобожда-<br>вшаяся угле-<br>кислота, в пе-<br>ресе на<br>углерод (в мг) | Образующий-<br>ся нитратный<br>азот, частей<br>на миллион | Отношение угле-<br>рода к азоту, ос-<br>вобождаемому мик-<br>роорганизмами<br>из органического<br>вещества почвы |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,091                 | 0,910                    | 10,0                     | 119,6                                                                     | 15,4                                                      | 7,8                                                                                                              |
| 0,143                 | 1,684                    | 11,8                     | 187,6                                                                     | 18,3                                                      | 10,2                                                                                                             |
| 0,155                 | 1,860                    | 12,0                     | 167,5                                                                     | 17,6                                                      | 9,5                                                                                                              |
| 0,233                 | 2,889                    | 12,4                     | 230,9                                                                     | 26,3                                                      | 8,8                                                                                                              |

Неизвестно, насколько далеко может продвинуться это окисление, так как изменения эти очень медленны. Буссенго (1873) установил, что за 11 лет в одной богатой почве превратилось в нитра-



ты около  $\frac{1}{3}$  всего азота, и около половины всего углерода превратилось в углекислоту.

Имеются очевидные доказательства потери азота, повидимому, в газообразной форме, так как условия исключают другие возможности. Долголетние опыты с почвами, проводившиеся на опытных станциях Нью-Джерсей и в Калифорнии, показали, что в обоих случаях происходили потери общего азота из почвы, которые составляли в среднем 100 фунт/акр в год для верхних 9 дюймов почвы и к концу 10 лет составили в Нью-Джерсей до 1000 фунт/акр<sup>1</sup>, а в Калифорнии через 5 лет—500 фунтов. Потери происходили главным образом в первый период, в течение которого в почве произошло нарушение прежнего равновесия, благодаря созданию условий, более благоприятных для окисления; во второй период—10 лет, когда уже не происходило дальнейших нарушений в равновесии, не было и дальнейших общих потерь<sup>2</sup>.

В некоторых калифорнийских и нью-джерсейских опытах выращивались и растения, но азот, бравшийся ими, определялся и принимался в расчет. Дефицит, который нужно отнести на газообразный азот, оставался по существу одним и тем же, занималась ли почва растением или нет; калифорнийские данные за первый период в 5 лет приводим ниже.

|                                                        | Земля, занятая<br>растениями | Не занятая |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|------------|
| Потери азота из 1600 фунтов поч-<br>вы (в г) . . . . . | 198                          | —          |
| Найдено в урожае (в г) . . . . .                       | 65                           | —          |
| Чистая потеря (в г) . . . .                            | 133                          | 124        |

Если условия делаются более нормальными, когда почва, под-держиваемая свободной от растительности, подвергается действию дождя и вообще погоды, то нитраты не накаплиются, а вымываются и могут быть обнаружены в дренажных водах.

Таким образом, почвы теряют гумус и азотистые соединения, и с течением времени потери становятся очень значительными. Однако отношение C/N остается без перемен. В Ротамстеде маленькая делянка пахотной почвы, в  $\frac{1}{1000}$  акра площадью, поддерживалась свободной от растительности с помощью мотыжения, но не нарушалась никакими другими способами с 1870 г.; к настоящему времени она потеряла уже  $\frac{1}{3}$  своего первоначального запаса азота. Эта делянка была превращена в лизиметр, с помощью изоляции от окружающего грунта цементными перегородками, и затем дренирована; все дренажные воды собирались и затем анализировались. По истечении 47 лет количество азота, найденного в форме нитратов в дренажных водах, было суммировано и найдено при-

<sup>1</sup> J. G. Lipman and A. W. Blair, Soil Sci., 1921, 12, 1—19.

<sup>2</sup> J. S. Burd and J. C. Martin, Hilgardia, 1931, 5, 455.

близительно равным общим потерям азота из почвы (табл. 82). Этот опыт был недостаточно точен для каких-либо определенных обоснований небольшой разницы в балансе, но он показывает, что потери азота зависят главным образом от выщелачивания нитратов.

Неуверенность в выводах, связанная со столь продолжительным опытом, уменьшается в данном случае тем, что аналитические определения за последние 28 лет производились одним и тем же лицом. Миллер нашел, что потери азота на акр (определяемые количеством нитратов в дренажной воде) составляли в первые годы около 40 фунтов в год, потом пали ниже 30 фунтов и в последние годы ниже 25 фунтов.

Расхождение между кажущимся полным использованием азота здесь и потерями, отмеченными выше, зависело от условий. Равновесие почвы сооружением лизиметра здесь не нарушалось и уход за почвой также мало изменялся; это была за долгий ряд лет пахотная земля, не особенно сильно удобрявшаяся, и это состояние почвы едва ли нарушилось. Параллелизм здесь замечается только со вторым периодом проведения опытов в Нью-Джерсей и Калифорнии.

Таблица 82

*Изменения в содержании азота в почве, поддерживавшейся свободной от растительности в течение 47 лет, но подверженной действию дождя и погоды.*

Миллер (1906), Рассель и Ричардс (1920)

| Процент азота в почве в верхних 9 дюймах |           | Фунтов азота на акр в верхних 9 дюймах |           |                  | Азот, найденный в нитратах 1870—1917 гг. |
|------------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-----------|------------------|------------------------------------------|
| в 1870 г.                                | в 1917 г. | в 1870 г.                              | в 1917 г. | Потери за 45 лет | фунт/акр                                 |
| 0.146                                    | 0.099     | 3 500                                  | 2 376     | 1 124            | 1 247 <sup>1</sup>                       |
|                                          | 0.097     |                                        | 2 328     | 1 172            | 1 200                                    |

Было бы очень желательно, чтобы этот чрезвычайно важный опыт был повторен с другим типом почвы, в целях выяснения вопроса, может ли более богатая почва потерять больше азота, чем составляют образовавшиеся нитраты, и происходит ли при этом потеря газообразного азота.

<sup>1</sup> За вычетом количества, принесенного дождями. Цифры верхней строки относятся к 20-дюймовому, а нижней строки к 60-дюймовому дренажу лизиметра. Некоторая часть нитратов, без сомнения, доставлялась подпочвой.

Рассмотрение кривых темпа вымывания нитратов привело Рэсселя и Ричардса (1920) к предположению, что должен существовать какой-нибудь иммобилизатор нитратов, возможно некоторые организмы, функционирующие в почве, даже когда она не занята растениями, берущие часть образовавшихся нитратов и только медленно освобождающие их. В настоящее время известно, что это могут делать водоросли и грибы.

Когда условия становятся вполне нормальными, с предоставлением растительности развиваться, то часть нитратов берется растением, и вымывается только часть, причем это разделение зависит от того, насколько благоприятны условия для роста растений. Так, например, на пшеничных полях Ротамстеда, где дается обильное снабжение калийными солями и фосфатами, поглощение нитратов растениями гораздо больше, и количество нитратов в дренажных водах поэтому гораздо меньше, чем на полях, где эти питательные вещества имеются в меньшем изобилии и где урожай ниже (табл. 83).

Таблица 83

Эффект фосфатов и калийных солей на использование нитратов пшеницей.

## Бродбюк

| Удобрение                                                                        | Урожай на 1 акр в год |                               | Азот, поглощенный в ур-нах (фунтов на акр в год) | Азот в форме нитратов в дренажных водах за осень (частей на миллион) | % азота (N) в почве | N, потерянный на покров, фунтов на акр в год |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------|
|                                                                                  | Зерно, бушель         | Солома, англ. сс. почти (cwt) |                                                  |                                                                      |                     |                                              |
| Соли аммония, содержащие 86 фунтов N + обильное снабжение солями Р и К . . . . . | 26,7                  | 30,75                         | 33,5                                             | 8,5                                                                  | 0,116               | 51                                           |
| Без солей Р и К . . . . .                                                        | 16,9                  | 14,75                         | 5,0                                              | 17,8                                                                 | 0,106               | 67,5                                         |

Нет оснований предполагать, чтобы количество азота в необрабатываемой почве заметно изменялось из года в год, пока земля остается нетронутой. Но лишь только начинаются распахивание и культивация, возникают большие потери азота, как это показано было анализами Шэтта на почве в Индиан-Хэд, в Саскачеване (табл. 84). В этом частном случае почти не имеется дренажных вод, а вместе с тем было очень мало или не было никакого удельного вымывания нитратов. Однако в урожае была найдена лишь  $\frac{1}{3}$  всего потеряннго азота. Снайдер дал сходные результаты для почв Миннесоты<sup>1</sup>, а Свансон и Рейни для почв Канзаса<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Minnesota Agric. Exp. Sta. Bull. 53, 1897.

<sup>2</sup> Swanson, Kansas Bulls. 199, 1914; 220, 1918. P. L. Guiney, M. C. Sewell and W. T. Latshaw, Journ. Amer. Soc. Agron., 1929, 21, 1130; 22, 639.

Таблица 84.

*Потеря азота в результате вспашки почвы прерий, верхние 8 дюймов.*

Шэтт (1910)

|                                               | %     | Фунтов на акр |
|-----------------------------------------------|-------|---------------|
| Азот, находящийся в ненарушенной прерии . . . | 0,371 | 6 940         |
| » » после 22 лет возделывания .               | 0,254 | 4 750         |
| Потеря из почвы . . . . .                     | —     | 2 190         |
| Найдено в урожаях . . . . .                   | —     | 700           |
| Дефицит, составляющий чистую потерю . . . . . | —     | 1 490         |
| Ежегодная чистая потеря . . . . .             | —     | 68            |

Истощение почвы зависело, таким образом, не от удаления урожаев, а от обработки.

Сходные же потери имеют место, когда почва часто получает высокие дозы навозного удобрения. Одна из пшеничных делянок в Бродбоке получает ежегодно 14 т навоза на акр, с содержанием

Таблица 85

*Потери азота из культивируемой почвы на пшеничном поле Бродбок в Ротамстеде, за 49 лет, 1865—1914.*

Баланс азота, 1865—1914. Верхние 9 дюймов, фунт/акр

|                                                               | Навоз<br>(дел. 2 В) | Без<br>удобрения<br>(дел. 3) | Полное минеральное<br>удобрение 86 фун-<br>тов N) |           |
|---------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|-----------|
|                                                               |                     |                              | (дел. 7)                                          | (дел. 13) |
| Азот в почве в 1865 г., фунт/акр . . .                        | 4 850               | 2 960                        | 3 390                                             | 3 320     |
| » » » » % <sup>1</sup> . . . . .                              | 0,196               | 0,114                        | 0,123                                             | 0,121     |
| Азот в почве в 1914 г., фунт/акр . . .                        | 5 590               | 2 570                        | 3 210                                             | 3 240     |
| » » » » % . . . . .                                           | 0,236               | 0,092                        | 0,120                                             | 0,122     |
| Общее изменение за 49 лет, фунт/акр                           | + 740               | — 390                        | — 180                                             | — 80      |
| N, внесенный в удобрения в год . . .                          | 203                 | 7                            | 93                                                | 93        |
| N, удаленный в урожаях в год . . . .                          | 50                  | 17                           | 46                                                | 44        |
| N, удержанный (+) и и потерянный<br>(—) оцвой в год . . . . . | + 15                | — 8                          | — 4                                               | — 2       |
| N, неучтенный в год . . . . .                                 | 143                 | (+ 2)                        | 51                                                | 51        |

<sup>1</sup> В переводе данных, полученных методом натронной извести на величины метода Кьельдаля.



200 фунтов азота. Дренаж здесь можно обнаружить лишь очень незначительный, хотя иногда может случиться и значительное выщелачивание нитратов, но потери азота здесь громадны, доходя приблизительно до 70 % вносимого количества. Рядом имеется делянка, совсем не получающая навоза, из которой, несмотря на дренаж, не происходит заметных потерь. Детали приводятся в таблице 85.

Потери эти особенно велики в условиях сильной аэрации, как это обычно и имеет место в пахотных почвах.

### Изменения, повышающие содержание азота в почве

Совершенно очевидно, что должны существовать некоторые возмещающие агенты, иначе запасы гумуса и почвенного азота, которые никогда не бывают слишком большими, давно бы уже исчезли в старых странах. Неудобряемая делянка (табл. 85) показывает, однако, что потери не происходят бесконечно; в известной стадии, соответствующей здесь приблизительно  $\frac{1}{10}$  % азота, потери через дренаж видимо балансируются приростами, так что не происходит дальнейшего чистого изменения. Опыты показали, что почва приобретает азот и органическое вещество, если она без нарушения остается покрытой неудаляемой растительностью, как в естественных условиях. На поле Бродбок 3-я делянка, прилегающая к двум, уже упомянутым выше, была запущена в 1882 г. и с тех пор не трогалась; она скоро сама покрылась растительностью, листья и стебли которой обогатили её органическим веществом. Прирост азота является очень заметным, как показано в таблице 86. На прирост его оказывало сильное влияние количество карбоната кальция в почве, и прирост этот значительно меньше на другой делянке на поле Гизкрофт, где имеется лишь небольшое количество карбоната кальция; зависит ли это от какого-нибудь специфического действия или от изменения физических условий, вызываемых обеднением почвы известью, не ясно. Прирост азота имеет место также в почве, покрытой многолетними злаковыми травами и клеверами, даже в случае, когда урожай скашивается или скармливается скотом. На глинистых пастбищах удобрение томасовым шлаком, улучшая рост травы, как было найдено, увеличивало содержание азота в почве, тогда как калийные соли, как, например, калинит, оказывали такой же эффект на почвах песчаных.

Этот эффект дикой растительности, сеяных трав и клевера на повышение содержания органического вещества и азота в почве издавна был известен земледельцам. Старинный метод восстановления плодородия почвы заключался в чередовании периодов обработки с годами «отдыха», когда почве предоставлялось покрываться дикими или самосевными травами, которые затем запахивались; этот так называемый пар предписывался на один год из

Таблица 86

Прирост азота в почвах, постоянно покрытых растительностью. Почвы  
Ротамстеда, запущенные на 20-24 года. Хо 11<sup>1</sup>

|                                                      | Бродбон: СаСО <sub>3</sub> , 3,32% |      |        |       | Газкрофт: СаСО <sub>3</sub> , 0,16% |      |        |       |
|------------------------------------------------------|------------------------------------|------|--------|-------|-------------------------------------|------|--------|-------|
|                                                      | Углерод %                          |      | Азот % |       | Углерод %                           |      | Азот % |       |
|                                                      | 1831                               | 1904 | 1881   | 1904  | 1883                                | 1904 | 1883   | 1904  |
| Первые 9 дюймов . . .                                | 1,14                               | 1,23 | 0,108  | 0,145 | 1,11                                | 1,49 | 0,108  | 0,131 |
| Вторые 9 » . . .                                     | 0,62                               | 0,70 | 0,070  | 0,095 | 0,60                                | 0,63 | 0,074  | 0,083 |
| Третьи 9 » . . .                                     | 0,46                               | 0,55 | 0,058  | 0,084 | 0,45                                | 0,44 | 0,060  | 0,065 |
| Приблизительный прирост азота,<br>фунт/акр . . . . . | 2200                               |      |        |       | 1400                                |      |        |       |
| Фунт/акр в год . . . . .                             | 91,7                               |      |        |       | 60                                  |      |        |       |

Земля, запущенная под траву в 1856 г. и выкашиваемая  
ежегодно (луг д-ра Гильберга в Ротамстеде)

|                                                   | 1856  | 1879  | 1883  | 1912 |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|
| Процент N в верхних 9 дюймах [0,152] <sup>2</sup> | 0,205 | 0,235 | 0,338 |      |

семи еще законом Моисея<sup>3</sup> и на один год из трех в средневековой Англии<sup>4</sup>. Одним из величайших улучшений в сельском хозяйстве была замена неопределенной смеси самосеянных трав средневекового пара определенными посевами селекционированных трав и клеверов. В порфольском севообороте, введенном в XVIII веке, один год из четырех сеялся клевер. В более современных севооборотах клевер или смесь трав иногда оставляется на два или три года до запашки, так что обогащение почвы становится более заметным.

Во влажном климате приросты азота являются наибольшими, когда преобладают бобовые, и прирост после клевера настолько заметен, что он может быть измерен уже за один год (стр. 308). Массон в Eynsham Hall<sup>5</sup> значительно обогатил азотом некоторые бедные оксфордские глины посевами люцерны. Внесенные азотистые соединения быстро разлагаются бактериями и превращаются в пи-

<sup>1</sup> Journ. Agric., Sci., 1905, 1,241.

<sup>2</sup> По вычислению.

<sup>3</sup> Левиты, XXV, 1—7.

<sup>4</sup> T. Tusser, Five Hundred Points of Good Husbandry, 1573.

<sup>5</sup> A. D. Hall, Journ. Roy. Agric. Soc., 1904, 65, 106—124. Об освоении неоченых почв см. Schultz—Lupitz (1881).

траты, так что плодородие почвы возрастает. Теофраст<sup>1</sup> (около 300 лет до нашей эры) и Виргилий<sup>2</sup> (около 40 лет до нашей эры), оба отмечают превосходные результаты, получающиеся при возделывании вики в качестве предшественника для пшеницы, тогда как преимущества клевера известны были уже гораздо раньше.

Остатки небобовых растений, попадающие на почву в естественных условиях или запахищаемые, также увеличивают запасы азота и органического вещества. Размеры этого действия очень сильно зависят от условий (стр. 302).

В естественных полевых условиях невозможно провести грань между эффектом бобовых и небобовых растений, так как обычно присутствуют те и другие. Но это разделение производилось при тщательно контролируемых условиях опытов и уже рассматривалось нами выше (стр. 299 и след.). Действие, конечно, должно продолжаться достаточно долго, иначе оно не смогло бы прибавить к почве заметного количества углерода. В опытах Т. Л. Лайона и Б. Д. Вильсона (1928) замашка культур, выращенных лишь в течение осени, была недостаточной, чтобы уравновесить потери, происшедшие в результате предшествовавшего летнего пара, так что окончательным результатом оказывалась потеря азота, которая была наивысшей для гречихи и овса и наименьшей для вики и ржи; при более зрелых растениях (т. е. по мере обогащения их углеродом) потери азота возрастали.

Однако земля под травой, не нарушавшейся для летнего парования, продолжала накапливать азот.

Происходящее таким образом накопление азота не идет бесконечно, и с течением времени достигается точка равновесия (более высокая или низкая, смотря по почвенным условиям), когда дальнейшие приросты балансируются потерями, так что содержание азота остается постоянным.

В результате при данном сочетании климатических условий имеются как высший, так и низший пределы содержания азота в почве, причем актуальная величина его зависит от почвенных условий. Между этими пределами содержание азота можно поддерживать на любом желаемом уровне: на высоком—когда земля остается под травами и посевами бобовых, и на низком—когда почва непрерывно культивируется. К сожалению, при наших настоящих знаниях невозможно поддерживать высокое содержание азота на распахиваемой земле иначе, как с помощью расточительного расходования азотистых удобрений.

Некоторые из указываемых пределов для английских почв следующие.

<sup>1</sup> Enquiry into Plants, Bk. VIII, 2 и Bk. IX, I; перевод на английский язык Arthur Hort (Loeb's Classical Library).

<sup>2</sup> Georgics, Bk. I, стр. 73 и след.

|                         | Черные гуму-<br>сные почвы,<br>содержание<br>более 10% ор-<br>ганического<br>вещества | Мелочные <sup>1</sup><br>почвы | Глины | Суглинки <sup>1</sup> | Пески <sup>1</sup> |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-----------------------|--------------------|
| Высший предел . . . . . | 3                                                                                     | 0,42                           | 0,35  | 0,25                  | 0,20               |
| Низший " . . . . .      | 0,25                                                                                  | 0,13                           | 0,09  | 0,09                  | 0,03               |

Содержание азота в девственных почвах в Небраске подобным же образом находится в зависимости от механического состава почвы<sup>2</sup>.

Содержание азота не может быть увеличено само по себе, и возрастание его возможно только тогда, когда возрастает и содержание углерода; при этом прирост азота составляет обычно только 1/10 от углерода. Чистое азотистое удобрение, как, например, натриевая селитра, сульфат аммония, сушеная кровь и т. д., не прибавляет азота в почву сверх того, что соответствует углероду, вносимому с заправкой жнивья. На делянках поля Бродбок, получающих ежегодно сульфат аммония с 1844 г. и натриевую селитру с 1852 г., процент азота и углерода в 1914 г. был следующий.

|                                      | В виде сульфата<br>аммония |       |       | В виде нитра-<br>та натрия |       |       |
|--------------------------------------|----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
| Внесено азота (в фунт/акр) . . . . . | 0                          | 43    | 86    | 129                        | 43    | 86    |
| Азот в почве (в %) . . . . .         | 0,104                      | 0,111 | 0,119 | 0,129                      | 0,116 | 0,115 |
| Углерод в почве (в %) . . . . .      | 1,15                       | 1,14  | 1,41  | 1,35                       | 1,52  | 1,73  |

Я. Г. Липман и А. Блейр отмечают потери азота из почв, занятых культурами, несмотря на внесение азотистых удобрений.

Однако изменения климатических условий ведут к изменениям и в содержании азота. Падение средней температуры имеет тенденцию повышать содержание азота, а поднятие температуры — понижать его. Почва Гезиры в Судане, тяжелая глина, содержит только 0,03% азота, подобные же почвы в Англии содержали бы 0,2—0,3% (стр. 211, 318). Дженни<sup>3</sup> находит, что в Северной Америке понижение средней температуры на 10° С удваивает или даже утраивает содержание азота: отношение является почти пропорциональным.

<sup>1</sup> Содержащие менее 10% органического вещества.

<sup>2</sup> J. C. Russell and W. G. Mc Ruer, Soil Sci., 1927, 24, 421.

<sup>3</sup> Journ. Amer. Soc. Agron., 1928, 20, 900.



**Засушливые условия.** В засушливых (аридных) условиях в общем процессе появляются дальнейшие видоизменения. Распашка почвы не сопровождается никакими потерями азота. Действительно, нередко встречаются случаи, когда культивируемая почва является более богатой азотом, чем первоначальная девственная. Более того, люцерна здесь является неэффективной в поднятии содержания азота в почве, тогда как запашка пшеничного жнивья заметно повышает его. Некоторые из этих результатов приведены в табл. 87. Этот любопытный обратный эффект, по сравнению с влажными районами, по всей вероятности, зависит не от каких-либо новых факторов, а от относительного значения факторов, уже присутствующих в тех и других условиях (стр. 304).

В жарких сухих условиях процессы накопления менее эффективны, а разрушительные процессы усиливаются. Из сухих тропических почв во время чистого пара нитраты иногда совершенно исчезают. Ф. Мартин и Р. Массей<sup>1</sup> нашли следующее количество нитратного азота в течение сухого периода (в частях на миллион):

| Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Январь | Февраль | Март        |
|----------|---------|--------|---------|--------|---------|-------------|
| 8        | 2       | 2      | 1       | 2      | Следы   | Отсутствует |

Образцы брались из первого фута почвы, но в марте истощение нитратов простиралось до 4 футов. Причины этих замечательных потерь неизвестны. Во всяком случае это не вымывание, так как за это время не было ни дождей ни оросительной воды.

Реакция, участвующая во всех этих изменениях, очевидно, сложная. Но отчасти они были расшифрованы, и мы можем теперь перейти к более детальному рассмотрению отдельных изменений.

Таблица 87

Процент азота в почвах засушливых районов

|                                                 | Cache Valley<br>в Юта <sup>2</sup><br>(по Стюарту) | Вост. Орегон (по<br>Брадли) <sup>3</sup> |       |       |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|
|                                                 |                                                    | (a)                                      | (b)   | (c)   |
| Девственная почва . . . . .                     | 0,19 <sup>3</sup>                                  | 0,114                                    | 0,101 | 0,098 |
| Культивируемая почва . . . . .                  | 0,20 <sup>3</sup>                                  | 0,107                                    | 0,102 | 0,102 |
| Почва преимущественно под<br>пшеницей . . . . . | 0,206 <sup>3</sup>                                 | —                                        | —     | —     |
| Люцерна . . . . .                               | 0,201                                              | —                                        | —     | —     |

<sup>1</sup> Wellcome Research Labs., Khartoum Chem. Pub., 29, 1923.

<sup>2</sup> Utah Agric. Exp. Sta., Bull. 109, 1910. Во втором футе глубины культивируемая почва потеряла азот по сравнению с девственной почвой, причем потеря под люцерной была больше, чем под пшеницей.

<sup>3</sup> Journ. Ind. Eng. Chem, 1910, 2, 138. Почва «культивируемая» находилась в распашке: (a)—от 25 до 30 лет, (b)—17 лет, (c)—25 лет. Со-

## Потери азота из почвы

Как показано было на стр. 312, потери азота из почвы происходят главным образом через вымывание нитратов или ассимиляцию их растениями, которые впоследствии убираются. Чрезвычайно трудно провести в поле точные количественные опыты, и поэтому всегда имеется некоторая неуверенность, следует ли отнести на указанные действия все потери целиком. Опыты в Нью-Джерсей и Калифорнии (стр. 312) наводят на мысль, что кое-что еще требует объяснения.

Небольшие количества аммиака, вероятно, испаряются из почвы, но так как они почти наверное будут принесены обратно с дождем, то от этого не должно происходить потерь.

Однако в двух видах условий разрыв между потерями азота из почвы и количеством найденных нитратов является значительным и, повидному, вызывает необходимость допущения, что азот выделяется в виде газа.

Прямой очевидности этого ни в одном случае получено не было, так как газометрические исследования не производились, но выделением газообразного азота легко объяснился бы дефицит, приводящий иначе в недоумение.

**Аэробные условия.** В аэробных условиях, в случаях, когда изменений в общем равновесии не происходит, нитраты, производство которых известно по анализу, удовлетворительно согласуются с потерями азота в почвах, не богатых органическим веществом. Однако, когда присутствует большое количество органического вещества, как, например, в почвах, сильно удобряемых навозом, или в некоторых девственных почвах, совпадение не так хорошо, и учет азота, потерянного из почвы в течение первых 20 или 30 лет обработки, представляет большие затруднения. Поэтому предполагалось, что азот выделяется во время процессов окисления; так как все попытки выделить азот, освобождающийся в этих условиях,

держание углерода понизилось в (а) с 1,53 до 1,17% и в (б) с 1,41 до 1,11%. В подпочве (а) не было никакого изменения в содержании азота (0,081%), а в (б) — падение с 0,094 до 0,090%. Содержание углерода упало в подпочве (а) с 0,986 до 0,754% и в (б) с 0,973 до 0,735%. Дальнейшие данные по этому интересному вопросу см. J. E. Greaves, Study of the Bacterial Activities of Virgin and Cultivated Soils, Centr. Bakt. Abt. II, 1914, 41, 443—459; J. E. Greaves, Does Crop Rotation Maintain the Fertility of the Soil, Scienc., Mo., May, 1918, стр. 458—466; Atway and Bishop, Some Notes on Alfalfa and Clover Residues as Sources of Nitrogen, Nebr. Agric. Expt. Sta. 25-th Ann. Report 1912; Swanson, The Effect of Prolonged Growing of Alfalfa on the Nitrogen Content of the Soil, Journ. Americ. Soc. Agron., 1917, 9, 305; Swanson and Latshaw, The Effect of Alfalfa on Fertility Elements of the Soil in Comparison with Grain Crops, Soil Sci., 1919, 8, 1; Brown and Stallings, Inoculated Legumes as Nitrogen Fertilizers, Soil Sci., 1921, 12, 365.

из нитратов потерпели неудачу<sup>1</sup>, то и предполагалось, что он происходил из органического вещества. Это предположение встречается, однако, новые затруднения в том, что при прямом бактериальном окислении органических веществ, таких, как альбумин, аспаратин, или таких смесей, как моча и кал<sup>2</sup>, никаких потерь азота не наблюдалось. Имеются, однако, некоторые очевидные факты выделения газообразного азота во время окисления более сложных смесей. Леттс нашел, что газообразный азот, растворенный в канализационных водах, после прохождения их через контактный слой находился в большем количестве, чем в первоначальных канализационных водах, причем повышение составляло до 16—20% недостающего азота.

Рэссель и Ричардс<sup>3</sup>, изучая навоз и применяя газометрические методы, получили очевидное доказательство выделения газообразного азота во время окисления навоза, богатого азотом (0,78%), но не при свежем навозе, содержащем больше соломы и меньше азота (0,50%).

По современным воззрениям, потери азота могут происходить через выделение газообразного азота в почвах богатых, но не имеется определенных доказательств, чтобы это действительно имело место, и предмет этот требует критических исследований. Существует хорошо известное действие бактерий—денитрификация, благодаря которому газообразный азот выделяется из нитратов в культурных растворах, инокулированных небольшим количеством почвы при анаэробных условиях, в присутствии легко разлагающегося органического вещества (стр. 293). Процесс этот продолжается и тогда, когда количество почвы настолько увеличивается, что объем жидкости достигает только «емкости насыщения» почвы. Он, однако, уже не происходит в заметных размерах, когда пропорция жидкости еще более уменьшается, достигая только 50% емкости насыщения<sup>4</sup>, равно как не происходит он и при отсутствии снабжения легко разлагающимся органическим веществом и нитратами (Субрахманьян, 1927, 1929).

В жарком климате могут происходить потери азота, для которых нельзя легко дать никакого объяснения кроме денитрификации; так, например, Аннетт, Айер и Кайяст<sup>5</sup> наблюдали заметные потери из темноцветной почвы под хлопчатником в Нагпуре во время сильных августовских дождей, причем они не нашли ни-

<sup>1</sup> См. в особенности R. Warington, Journ. Roy. Agric. Soc. 1897, 8, 577; J. G. Lipman and A. W. Blair (1916).

<sup>2</sup> Müntz et Lainé, «Etudes sur les eaux d'égout», Ann. Inst. Nat. Agron. 1911, 10, 5—48; Adeney (1908); E. J. Russell and E. H. Richards, Journ. Agric. Sci., 1917, 8, 495—563.

<sup>3</sup> E. J. Russell and E. H. Richards, *ibid.*

<sup>4</sup> O. Lemmermann и J. L. Wickers, 1914, Centr. Bakt., Abt. II, 41, 608—625 (см. график, стр. 624). A. Oelsner, 1917, Centr. Bakt., Abt. II, 48, 210—221.

<sup>5</sup> Mem. Dept. Agric. India, Chem. Ser., 1928, 9, 155.



какого соответствующего увеличения количества нитратов в дренажной или колодезной воде. Тем не менее во всех подобных случаях объяснения основаны только на предположениях, и никаких ясных доказательств денитрификации в естественных условиях, даже в почвах, временно затопляемых, получено не было.

Однако где-то и как-то выделение свободного азота должно происходить, чтобы уравновесить значительное количество фиксируемого (связанного) азота, образование которого, как известно, постоянно происходит в почвах.

### Эффект заболачивания. Болотистые и рисовые почвы<sup>1</sup>

Процессы, описанные в предыдущих разделах, видоизменяются, когда почва подвергается затоплению на продолжительные периоды времени. Харрисон и Айэр (1913) изучали разложение растительных остатков (зеленое удобрение) в болотных условиях в Пьюзе. В толще почвы выделяются болотный газ, водород и  $\text{CO}_2$ ; чего и следовало ожидать при анаэробном разложении целлюлозы. Но на поверхности почвы имеют место совершенно иные процессы, и воздух состоит только из кислорода и азота. Различие было прослежено до пленки организмов (включая и водоросли), обладающих способностью превращать болотный газ в  $\text{CO}_2$ <sup>2</sup>, а последнюю в кислород. Кислород является непосредственно полезным для растений, осуществляя аэрацию корней. Выделение кислорода прекращалось, как только пленка убивалась внесением медного купороса; в таком случае на поверхности появлялись только болотный газ и водород.

Зеленое удобрение является полезным для растений лишь до тех пор, пока пленка работает. Корни растений требуют кислорода, и пленка доставляет его. Таким образом, зеленое удобрение служит поставщиком растворенного кислорода.

Субрахманиан (1927, 1929), в Ротамстеде, изучал разложение азотистых соединений растительных остатков, работая с несколькими индийскими и ротамстедскими почвами. Он показал, что заболачивание слегка понижало число бактерий (при испытании методом торнтоновского агара) и количество нитратов, но заметно увеличивало количество аммиака, производство которого он приписывает действию энзим.

Когда прибавлялись небольшие количества легко ферментирующих веществ, например, глюкозы, то число бактерий возрастало, количество нитратов и растворенного кислорода уменьша-

<sup>1</sup> Болотистые почвы (Paddy Soils), на которых на Востоке—в Индии, Японии и других странах—возделывается рис.

<sup>2</sup> Биологическое окисление болотного газа было описано Kaserer и Söhngen, а также I. Giglioli и G. Masoni (Pisa: Chim. Agric. Stud. e Ricerche, 1909—14, XXII, 76—108), о влиянии водорослей см. стр. 333.



лось, и развивалось образование углекислоты и различных органических кислот (молочной, уксусной, бутиловой). Однако не замечалось признаков денитрификации: нитраты ассимилировались организмами, но не восстанавливались в газообразные соединения.

Японские экспериментаторы изучали действие натриевой селитры как удобрения на болотных почвах. Нагаока (1904) показывал, что она часто понижает, вместо того, чтобы повышать урожай риса и камыша (*juncus*), что он приписывал образованию вредных ядовитых нитритов вследствие восстановления. Дайкухара и Имасаки (1907) развили эту точку зрения и показали, что этот эффект проявляется особенно ярко, когда прибавляется глицерин. Келли получил сходные результаты с рисом в Гавайи<sup>1</sup>. С другой стороны, сульфат аммония и зеленое удобрение давали повышение урожая, и в практике употребляются на болотных и затопляемых почвах именно эти удобрения, но не натриевая селитра.

## РЕЗЮМЕ

### *Эффект внесения растительных остатков в почву*

Запахивание в почву растительных остатков («зеленое удобрение») является одним из общераспространенных и общепринятых способов удобрения. Эффективность его зависит от количества углеводов и протеинов, заключающихся в этих остатках.

Если условия для деятельности микроорганизмов благоприятны, то результатом внесения будет увеличение числа и активности микроорганизмов, о чем свидетельствует усиление поглощения кислорода и выделения  $\text{CO}_2$ .

Усиление процессов происходит быстро в случае материала, легко разлагающегося (например, клеверные остатки), но вскоре затем наступает падение; процесс развивается медленнее, но длится дольше, если вещество разлагается не так легко (например, остатки тимopheвки)<sup>2</sup>.

Увеличение числа микроорганизмов может иметь следствием какой-нибудь из следующих эффектов.

1. Если материал богат источником энергии, но не азотом (например, углеводы), то организмы могут ассимилировать уже находящиеся в почве нитраты или аммиак и, таким образом, уменьшать количество этих веществ (стр. 276). Это обстоятельство является благоприятным для азотособирающих бактерий, и при достаточно высокой температуре в результате может оказаться

<sup>1</sup> Hawaii Agric. Exp. Sta. Bull., 24 1911.

<sup>2</sup> B. D. Wilson and J. K. Wilson, Cornell Agric. Exp. Sta. Memoir; 95, 1925.

повышение количества фиксированного азота в почве (стр. 300). Эффект ассимиляции временно является вредным, но фиксация— в результате чрезвычайно благоприятна для растущих растений. На рисунке 40 показаны различные изменения при внесении в почву соломы.

2. Если материал богат азотом (например, протеином), то организмы будут производить значительное количество аммиака, получая достаточное снабжение необходимой им энергией. Затем

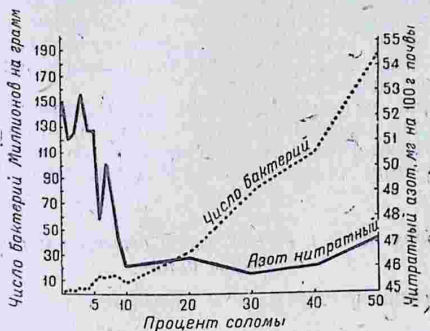


Рис. 40. Эффект соломы на бактериальные процессы в почве через 12 недель (Муррей, Soil Sci., 1921, 12, 233).

аммиак превращается в нитраты. Этот процесс всецело благоприятен для растений.

Нитраты теряются почвой легче всех других азотистых соединений. Они подвержены вымыванию, поглощению растениями и разложению. Кроме того в присутствии значительного количества азотистых органических веществ возможны потери газообразного азота (стр. 300).

Результатом этих различных процессов является тот факт, что отношение углерода к азоту в почве нарушается неелчко; при условиях влажного климата оно составляет около 10. Внесение безазотистого органического вещества, как, например, крахмала, целлюлозы или соломы (которая бедна азотом), вызывает процесс фиксации азота, увеличивающий количество азота за счет расхода значительно большего количества углерода, а также микробиологическое поглощение нитратов, которое в процессе понижения количества углерода охраняет от потери азот, уже имеющийся в почве. Оба эти процесса, понижая количество углерода и повышая количество азота, восстанавливают, таким образом, первоначальное отношение.

Внесение азотистого органического вещества увеличивает пропорцию азота, но вызывает также и нитрификацию, производящую легко теряющиеся нитраты, а возможно и другие потери. Эти потери азота пропорционально превышают потери углерода, так что и здесь первоначальное отношение между ними снова восстанавливается.

3. Если доступ воздуха в почву бывает недостаточен—будет ли это явление общим или местным, но прочие условия оказываются благоприятными, то организмы получают часть необходимого для них кислорода из нитратов, находящихся в почве, восстанавливая их до нитритов. Этот эффект всецело вреден для растений (стр. 293). Аммиак накапливается, отчасти, повидимому, в результате деятельности энзим.

4. Если же условия неблагоприятны (благодаря, например, кислотности или слишком низкой температуре), то организмы будут бездействовать; разложение органического вещества будет только частичным, и последнее будет скопляться в виде торфа (стр. 273).

#### *Изменения форм азота и органического вещества и факторы, участвующие в них*

1. Разложение растительных и животных остатков и пр. с образованием:

- а) нитратов, необходимых для питания растений;
- б)  $\text{CO}_2$ , вызывающей различные изменения в почве;
- в) минеральных остатков: фосфатов, солей калия, кальция и других, получающихся после разложения растительной ткани;
- г) гумуса, оказывающего важное физическое влияние на почву.

2. Разложение составных частей растений и побочных продуктов упомянутых реакций, которые (продукты), оставаясь в почве, причинили бы вред растениям.

3. Круговорот изменений, касающихся азотистых соединений, причем при одних изменениях эти соединения разлагаются, образуя питательный или освобождающий газообразный азот, при других же газообразный азот фиксируется и затем превращается в белки. Количественный эффект этих изменений выражается в поддержании отношения углерода к азоту на довольно однообразном уровне; во влажных условиях отношение C/N равно приблизительно 10—12. Абсолютные количества варьируют в известных пределах. При условии достаточной влажности низший предел достигается в почве обрабатываемой, а высший—в почве, покрытой травой или другой растительностью, не удаляемой с почвы. При засушливых условиях пределы бывают уже, положение становится обратным, и создается тенденция к достижению высшего предела в почве обрабатываемой.

Эти изменения представлены в виде диаграммы на рисунке 41. Многие изменения имеют большое сходство с изменениями, происходящими при очистке канализационных вод, как обнаружили Adeney (1908) и Fowler<sup>1</sup>, с той лишь разницей, что в почве они протекают медленнее, чем в канализационных водах.

Имеются веские основания предполагать, что эти изменения осуществляются преимущественно микроорганизмами, хотя прямого доказательства этого нет, так как надлежащих опытов в стерилизованной почве не производилось, да и самые методы, применя-



Рис. 41. Схема, показывающая разложение растительных остатков в почве, согласно современным знаниям.

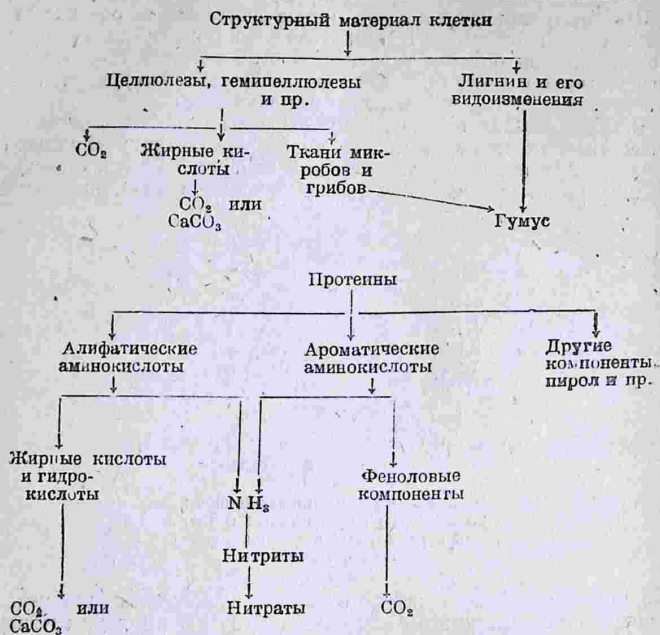
мые при стерилизации, всегда вызывали значительные изменения в почве. Заключение это базируется на следующих двух главных положениях.

1. Многие изменения ослабляются или прекращаются совсем при внесении в почву антисептических веществ.
2. Различные из этих изменений известны нам в качестве нормальной деятельности организмов, обычно встречающихся в почве.

Ни одно из этих положений нельзя признать вполне убедительным. Действие антисептиков не является доказательным испытанием биологической активности, так как многие катализаторы «отравляются» теми же самыми средствами. Но в целом биологическое объяснение является более простым, чем какое-либо другое. Поскольку организмы ведут в почве трофическое существование, они должны осуществлять некоторые изменения, чтобы обеспечить себя пищей и энергией, и только в случае, если бы они пребывали там просто в покоящихся формах, необходимо было бы предпочесть химическое объяснение.

<sup>1</sup> Bacteriological and Enzyme Chemistry, London, 1911.





## ГЛАВА VI

### МИКРООРГАНИЧЕСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ ПОЧВЫ И ОТНОШЕНИЕ ЕГО К РОСТУ РАСТЕНИЙ

Исследования, описанные в предыдущей главе, показывают, что в почве находится много микроорганизмов, способных производить изменения большой важности для живущих растений. Первоначально открытыми микроорганизмами были бактерии, и в течение довольно долгого времени они считались единственными представителями микроскопического населения почвы. Последующие работы обнаружили много других форм, включая грибы, актиномицеты, водоросли, протозоа и нематод. Эти микроорганизмы привлекались из почвы обычными методами и изучались в лабораторной обстановке, но еще очень немного известно об образе жизни их в естественных почвенных условиях.

Прежние концепции относительно микронаселения почвы возникли совершенно естественным образом в результате того порядка, в котором шло ознакомление с ними. Предполагалось, что микроорганизмы участвовали в подготовке почвы растений и состояли из специализировавшихся групп, из которых каждая являлась способной производить лишь известные определенные изменения. Различались следующие группы: 1) аммонифицирующие, 2) нитрификаторы, 3) фиксирующие азот, 4) денитрификаторы, 5) ферментирующие пектин.

Заключения о действии их в почве выводились на основании результатов лабораторных опытов с культурами и деятельности их придавались количественные выражения: «сила аммонификации», «сила нитрификации» и т. д., которыми пользовались при сравнении различных почв и удобрений. Этот метод исследования был введен Реми (1902) и развит Ленисом (Loenis, 1904—1907) и Я. Липманом (1912); благодаря своему удобству и простоте манипуляций этот метод снискал себе значительную популярность.

«Сила нитрификации» измерялась методом поменения определенного веса почвы в среду Омелянского или Ашби (стр. 288) и определения нитратов, образовавшихся после инкубации при определенных условиях. Для измерения «силы аммонификации»

применялся 1% раствор пептона, а для измерения «силы фиксации азота» раствор Бейеринка или иной сходный с ним.

Этот метод имел некоторую ценность при испытании почв, причем обыкновенно замечалось известное соотношение между различными «способностями» и продуктивностью почвы. В общем «силы «нитрификации» и «фиксации азота» были связаны с продуктивностью почвы наиболее тесным образом, а «сила аммонификации» — меньше всего<sup>1</sup>. Но получавшиеся показания никогда не отличались большой верностью, исключения далеко не всегда могли найти себе объяснение, и в результате информация оказывалась мало полезной.

В дополнение к этим попыткам нахождения интеграции или суммарного выражения деятельности почвенного населения бактериологи пытались изучить отдельных членов его. Методы для изолирования организмов, образующих различные группы, были построены обычно на принципе «элективного» метода Виноградского (стр. 295) и привели к некоторым поразительным открытиям, в частности — организмов, ограниченных в пределах своей деятельности (подобно нитрифицирующим организмам) или же обладающих некоторыми специальными свойствами, как, например, способностью фиксации азота или окисления фенола, что позволяет им выживать, когда другие погибают. Дальнейшие исследования показали, однако, что эти методы культур не дают верной картины того, как население микроорганизмов живет и действует в естественной почве. Прежде всего следует отметить, что многие из этих организмов существуют в двух состояниях: в активном, или трофическом (питающемся), и в покоящемся, или относительно инертном. Граница между этими состояниями может не быть резкой, и возможны постоянные переходы из одного в другое по мере изменения почвенных условий. С помощью методов культур невозможно обнаружить, является ли, в частности, данный организм, найденный в почве, в состоянии активности или просто покоящемся.

Позднее было найдено, что только немногие из почвенных организмов ограничены одним типом деятельности; большинство из них обладает значительной способностью изменять свою деятельность с переменой условий. Поэтому отнесение организмов в группы аммонификаторов, фиксаторов азота и пр. не имеет никакого значения в почве и означает не более того, что данный организм способен производить те или другие наблюдаемые изменения при определенных условиях данного опыта. Рассматриваемый метод имеет некоторую ценность в приложении к специализировавшимся нитрифицирующим организмам, и благодаря ему была установлена «связь между ними и плодородием почвы, но он оказался мало-

<sup>1</sup> Новейшее критическое изучение см. S. A. Waksman, Soil Sci., 1923, 16, 55—67. Из более старых работ см. Ehrenberg (1904).

Положение становится обратным на щелочных (засоленных) почвах.

пригодным при изучении образования аммиака, в котором принимают участие многие организмы.

Поэтому возникла новая концепция о деятельности почвенного населения. Теперь организмы изучаются не просто как производители пищи для растений, но как самостоятельные формы жизни, отыскивающие пищевые и энергетические вещества и обладающие при этом способностью выбора. При наличии одних условий они могут осуществлять одно изменение, при других—другое. У некоторых из этих организмов выбор очень широк, у других же он довольно ограничен. Наиболее бросающийся в глаза процесс в культурной среде не является обязательно обычным процессом в почве. Надлежащее пользование методами культур должно раскрыть морфологию и общую физиологию организмов и, таким образом, выявить границы, внутри которых может варьировать их активность. Ничто другое, кроме исследований в самой почве, не может показать, какие специальные изменения активности являются обычными в почве. Результатом развития этой идеи явилось то, что исследователи начали разрабатывать методы для работы с почвой в дополнение к лабораторной работе (которая всегда должна продолжаться) с культурной средой.

Были введены два главных метода.

1. Статистический метод, применяемый в Ротамстеде, при котором организмы подсчитываются в естественной почве на поле, раз в день или чаще, с многократной повторностью одновременных подсчетов и в течение достаточно продолжительного времени, чтобы придать статистическому исследованию результативную значимость. Полученные данные далее согласовываются при надлежащем статистическом контроле с другими величинами.

2. Прямой метод микроскопического исследования почвы, для отыскания активных форм, часто применявшийся и отвергнутый в прошлом, но поставленный теперь на более прочные основания, с тех пор как Конн, Виноградский и позднее Торнтон и Грей разработали технику окраски, пользуясь кислой окраской, например, эритрозином, который выявляет бактерий, но не мельчайшие частицы почвы.

Применение этих методов обнаружило неизменное присутствие живых организмов не только в верхних слоях почвы, но также и в подпочве. Даже свежедобытый каменный уголь оказывается содержащим бактерии<sup>1</sup>, которые проникли в него, вероятно, с водой. По сведениям, имеющимся у автора, единственным констатированным до сих пор случаем, когда почва или пыль совершенно свободны от живых организмов, является пыль из недавно открытой гробницы 18-й египетской династии, остававшейся сухой и не тревожимой более трех тысяч лет<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> H. Schroeder, Centr. Bakt., Abt. II, 1914, 41, 460.

<sup>2</sup> A. C. Thaysen, частное сообщение.



## Водоросли

В почве имеется характерная флора водорослей, которая, согласно произведенным до сих пор исследованиям, является по существу, в главных типах своих представителей, одной и той же во всем мире. Бристоль-Роч (1920 и 1927) считает, что в центральную группу, встречающуюся почти всюду, входят *Hantzschia amphioxys*, *Trochiscia aspera*, *Chlorococcum humicola*, *Bumilleria exilis* и, пожалуй, более редкая *Ulothrix subtilis* или типы, подобные им<sup>1</sup>. При детальном изучении четырех английских почв Бристоль-Роч нашла не менее 35 видов, из которых некоторые были, однако, не чисто почвенными формами, а случайно встретившимися.

Водоросли растут и размножаются в почве при двух очень различающихся между собою условиях.

1. На поверхности, открытой действию света, где при помощи хлорофилла они фиксируют энергию солнечного света и ассимилируют углекислоту, производя при этом сложное органическое вещество. В этих условиях водоросли снабжают почву энергетическим материалом и в то же время ассимилируют нитраты и другие питательные вещества из почвы точно так же, как делают это и зеленые растения.

2. В глубине почвы, вне досягаемости света, где хлорофилл перестает функционировать (хотя может быть и существует) и организмы добывают для себя энергию и углерод из прежде образовавшегося органического вещества, т. е. они живут, как сапрофиты. В этом случае они являются потребителями почвенного запаса энергетического материала. В опытах д-ра Бристоля-Роча почвенные водоросли всегда сохраняли это свойство усвоения сложного органического вещества, даже и тогда, когда освещались, как на поверхности почвы. Поэтому хлорофилльный аппарат можно рассматривать как вспомогательный, начинающий действовать только при наличии света.

Из испытанных органических веществ наиболее подходящими в качестве пищи были сахара—гексозы. Азот усваивается обычно в виде нитрата, но некоторые из почвенных водорослей могут ассимилировать аммиак, и немногие в состоянии непосредственно пользоваться протеином (желатином).

Флора водорослей несколько варьирует в различных почвенных условиях, хотя главные типы остаются устойчивыми. Эти экологические аспекты изучались Эсмархом (1910—1924) при его исследовании сине-зеленых водорослей некоторых африканских и германских почв, в чем он явился пионером; о других исследователях упоминает Бристоль-Роч в *Rothamsted Monograph*<sup>2</sup>. Сине-зеленые водоросли скорее можно встретить в более теплом кли-

<sup>1</sup> См. также F. E. Fritsch, Journ. Ecology, 1922, 10, 220.

<sup>2</sup> The Microorganisms of the Soil, Longman's, 1923.

мате, зеленые же в более холодном; те и другие, однако, нуждаются в достаточной влажности. На пахотных полях Ротамстеда на тип флоры удобрение, повидимому, заметного влияния не оказывает, хотя на участках, не получающих удобрения, количество организмов является наименьшим, а наибольшее замечено было на одном участке, получавшем навозное удобрение; это замечается также и по отношению к поверхностной флоре. Поля Ротамстеда, занятые травой, обследованию не подвергались, однако Эсмарх находил на выгонах большее число видов, чем на пахотной земле; с другой стороны, сине-зеленые водоросли являются более обычными, тогда как диатомовые водоросли—обычно очень мелкие—встречаются в большом количестве на старых огородах. Влияние реакции почвы было исследовано Я. Б. Петерсеном в Дании; он показал, что во флоре кислых почв доминировали *Mesotonium violascens*, *Zidnema ericetorum* и два вида *Cocsmuxa*, между тем как флору нейтральных почв составляли *Mesotonium macrococcum*, *Normidium* и *Vaucheria*.

Наиболее важными формами деятельности водорослей в отношении роста растений являются, повидимому, следующие.

1. Увеличение количества органического вещества в почве. Этот процесс связан с ростом подземной части растений и находится в зависимости от света. Он ценен во многих случаях; на почвах же, вновь образовавшихся, его значение громадно. После разрушения почвы и уничтожения растительности в Кракатоа вследствие вулканического извержения в 1883 г. первыми поселившимися на бесплодном минеральном пласте оказались шесть видов сине-зеленых водорослей: *Tolypothrix*, *Simplocsa*, *Anabaena* и три вида *Lyngbya*, которые постепенно распространялись по всей поверхности, положив начало почве, на которой стали развиваться семена, приносимые птицами<sup>1</sup>. Примеры заселения водорослями новых земель на Цейлоне дает также Фрич.
2. Ассимиляция нитратов (стр. 314)<sup>2</sup>.
3. Симбиоз с азотобактером, ведущий к увеличению количества азота, фиксированного из воздуха (стр. 297).
4. Ассимиляция легко окисляемого органического вещества, например, сахара.
5. В болотистых почвах водоросли облегчают аэрацию корней, разлагая  $\text{CO}_2$ , растворенную в воде, и освобождая кислород, который остается в растворе. Бриси<sup>3</sup> заметил, что «Brusone»—болезнь болотного риса, которую он объяснял недостаточной аэрацией

<sup>1</sup> Treub. Ann. Jard. Bot. Buitenzorg, 1888, 7, 221—223. Несколько более квалифицированную работу новейшего времени см. С. А. Barker, The Problem of Krakatoa as seen by a Botanist. M. Nijhoff, The Hague (1930).

<sup>2</sup> Обсуждалась еще очень давно Gautier и Droin, Compt. rend., 1888, 106, 754 и след.

<sup>3</sup> Ann. Inst. Agrar., Milan, 1905, 6, 84, 89. См. также Harrison and Aiyer (1917).

корней, не появлялась в тех случаях, когда водоросли развивались в изобилии на поверхности болота.

Кроме того некоторым водорослям приписывалась опоспособность фиксировать атмосферный азот, но в настоящее время известно, что это неверно<sup>1</sup>.

Количество зеленых водорослей в почве можно приблизительно определить по методу соответственного разведения, но сине-зеленые формы исчислению не поддаются. Этот подсчет недостаточно надежен, чтобы позволить применение статистических методов, но минимальные количества порядка 100 000 зеленых водорослей на грамм почвы были отмечены д-ром Бристоль-Роч, и сине-зеленые формы могут быть столь же многочисленны. Количество водорослей различны в разных слоях почвы; максимальное количество их находится в верхнем дюйме почвы; меньшие количества во втором и третьем дюймах, много больше в четвертом дюйме, и далее на больших глубинах количество их сильно падает, а в подпочве встречаются, вероятно, только споры. В первых четырех или пяти дюймах водоросли находятся, однако, скорее в вегетативных формах, чем в спорах<sup>2</sup>. Рассматривая клетки как сферы радиусов в 10  $\mu$  (что близко к действительности), массу протоплазмы водорослей можно определить как  $\frac{1}{3}$  массы населения протозоа.

Франсе<sup>3</sup> утверждает, что количество водорослей в почве достигает своего максимума весной; если это верно, то это согласуется и с поведением бактерий и протозоа.

## Грибы

Давно уже известно, что грибы встречаются в почве, и еще в 1886 г. Адамец<sup>4</sup> изолировал не менее 11 различных видов их. Позднейшие исследователи значительно увеличили этот список, описав более 250 видов почвенных грибов.

Исследования распались на несколько групп. Одни ученые, как Бутлер<sup>5</sup> в Индии, Хагем<sup>6</sup> в Норвегии и Ленднер<sup>7</sup> в Швейцарии, сосредоточили свое внимание главным образом на специаль-

<sup>1</sup> B. Muriel Bristol (теперь Bristol—Roach) и H. J. Page, *Ann. Applied Biology*, 1923, 10, 378.

<sup>2</sup> B. M. Bristol—Roach, *Journ. Agric. Sci.*, 1927, 17, 563; *Proc. Int. Congr. Soil Sci.*, Washington, 1927, Vol. III, 30, где резюмированы результаты ротаментских исследований.

<sup>3</sup> Das Edaphon, 1921, Stuttgart.

<sup>4</sup> Adametz, *Untersuchungen über die niederen Pilze der Ackerkrume* (Inaug. Diss.), Leipzig, 1886.

<sup>5</sup> E. J. Butler, *An Account of the Genus Pythium and some Chytridiaceae* (Mem. Dept. Agric. India, Bot. Ser., 1, № 5, 1—160, 1907).

<sup>6</sup> O. Hagem, *Untersuchungen über norwegische Mucorineen* (Vidensk. Schr. I., Math. Nat. Kl., 1907, № 7; Part II, 1910, № 4).

<sup>7</sup> A. Lendner, *Les mucorinées de la Suisse*, Bern, 1908.



ных типах и не делали попыток широкого обследования этого вопроса в целом. Другие пытались установить, как долго могут вести сапрофитный образ жизни в почве болезнетворные грибы; по-видимому, некоторые виды *Fusarium*, *Rhizium* и другие обладают этой особенностью. Пратту<sup>1</sup> удалось выделить грибы, вызывающие заболевания картофеля, из девственных пустынных почв, а также из некоторых почв штата Айдахо, на которых картофель никогда раньше не разводился.

Более серьезные попытки к изучению проблемы грибной флоры в почве в ее целом были сделаны в Голландии Судеманом и Конингем<sup>2</sup>; в США Иенсеном<sup>3</sup>, Ваксманом<sup>4</sup>, Гильманом и Абботом<sup>5</sup>; в Дании Иенсеном (1931); в СССР Рейлло<sup>6</sup>; в Англии Дейль (E. Dale)<sup>7</sup> и W. B. Brierley в Ротамстеде.

Из этих исследований выясняется, что некоторая группа грибов, по-видимому, встречается в почве настолько обычно, что составляет специальную почвенную флору и, подобно протозоям и бактериям, состоит по существу из одних и тех же представителей во всех частях света, насколько об этом позволяют судить произведенные уже исследования; однако относительная пропорция членов этой флоры сильно колеблется в зависимости от условий. Эта общая группа включает роды *Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Cephalosporium* и *Monilia* с присоединением многих других в меньшем количестве или более редко встречающихся. В условиях умеренного климата *Penicillia* иногда превосходит численно все остальные виды и может достигать до 50% и более от всей флоры. В более теплых условиях, однако, наиболее многочисленными могут быть *Aspergilli*, как, например, в почвах теплиц, в огородных почвах<sup>8</sup>, в южных штатах США<sup>9</sup>. Н. Л. Jensen нашел, что флора датских почв распадается на две группы: группа почв полевых, болотистых (маршей) и не обрабатываемых минеральных почв, характеризующаяся обилием *Mucoraceae*, и группа более кислых почв, лесных, болотистых и вересковых, характеризующаяся многочисленными *Trichodermae*.

Многие из этих почвенных форм паразитируют на растениях и встречаются в большем изобилии там, где растут их хозяева-растения, чем там, где они не растут. Так, например, Jagjiwan Singh

<sup>1</sup> O. A. Pratt, Journ. Agric. Res., 1918, 13, 73—100.

<sup>2</sup> Arch. Neerland. Sci. Exact. et Nat. 1902 (2), 7, 266—293.

<sup>3</sup> Cornell Agric. Exp. Sta. Bull. 315, 1902.

<sup>4</sup> Soil Sci., 1916, 2, 103, 1918, 6, 137. См. также его Principles of Soil Microbiology, 1927.

<sup>5</sup> Iowa State Coll. Journ. of Science, 1927, 1, 225—345.

<sup>6</sup> Работающий в лаборатории А. А. Ячевского, 1928.

<sup>7</sup> Ann. Mycol., 1912, 10, 452, 1914, 12, 32. Интересная местная съемка у Jessie S. B. Elliot, Soil Fungi of the Dovey Salt Marshes, Ann. Appl. Biology, 1930, 17, 284.

<sup>8</sup> Вероятно занесенные с навозом. Н. Л. Jensen (1931).

<sup>9</sup> S. A. Waksman, Soil Sci., 1917, 3, 565.



нашел в Ротамстеде *Fusaria* в большом изобилии на бродячском луговом поле, чем на поле кормовой свеклы. Иные вступают во взаимно полезные отношения с растениями, как, например, микоризы (стр. 339). Одному из грибов (*Rhizoglyphus confluens*), видимо, особенно благоприятствует нечто, образующееся в почве при нагревании ее свыше  $100^{\circ}\text{C}$ , и он усиленно развивается на почвах, стерилизованных или обожженных<sup>1</sup>.

Для прямого исследования грибов в почве не было еще разработано метода, подобного методам Виноградского и Торнтона для изучения бактерий. Для количественного изучения применяются методы культуры на пластинках; ни один из этих методов не позволяет определить общего количества грибов в почве, но в Ротамстеде была разработана Бриерлеем и его коллегами<sup>2</sup> стандартная техника, которая дает осязательные и сравнимые результаты. Однако при этом отсутствуют организмы, которые лишь медленно образуют колонии на культурных пластинках, как, например, базидиомицеты и большинство аскомицетов и тех грибов, которые не легко растут на твердой среде, как многие из фикомицетов и, таким образом, не представляется еще возможности узнать, как много находится в почве этих особых форм. Однако, как бы неполны ни были данные, получаемые цифры очень высоки: Ваксман получил числа порядка 30 000 до 900 000 на 1 г почвы; Йенсен получил 24 000 до 40 000, тогда как по подсчету Бриерлея, применявшего улучшенные методы, получены цифры порядка 1 000 000 на 1 г почвы. Синг в Ротамстеде не нашел никаких явных указаний на колебания в числе в разные сезоны года, как это замечается для протозоа и бактерий.

Одним из затруднений при исследовании почвенных грибов является неуверенность, существует ли данная форма, попавшая в культурную среду, в почве в виде спор или мицелия. Э. Мак-Леннан<sup>3</sup> разработал остроумный метод, чтобы различать эти два состояния, основанный на том факте, что мицелий быстро убывает при полном высушивании почвы в вакууме, тогда как споры не убываются.

На грибы оказывает большое влияние снабжение воздухом. Они более многочисленны в поверхностных слоях, чем в более глубоких слоях почвы. Йенсен нашел гораздо больше грибов в хорошо аэрированных песчаных почвах, чем в плохо аэрированных тяжелых глинах или в почвах маршей.

Важным является также снабжение питательными веществами, даже больше, чем органическим веществом. Это составляет поразительный контраст с бактериями, на которые гораздо больше

<sup>1</sup> Детальные исследования см. W. Robinson, *Annales of Botany*, 1926, 40, 245.

<sup>2</sup> W. B. Brierley, S. T. Jewson и M. Brierley, *Proc. Int. Congr. Soil Sci.*, Washington, 1927 Vol. III, 48.

<sup>3</sup> *Ann. Applied Biology*, 1928, 15, 95.

влияет органическое вещество, чем неорганическая пища. Результаты Иенсена приведены в таблице 88.

Таблица 88

*Влияние органического вещества и неорганических питательных веществ на число грибов и бактерий и актиномицетов в почве на опытных полях в Аскове. Иенсен (1931)*

На 1 г почвы: грибы—в тысячах, бактерии+актиномицеты—в миллионах

|                                 | Сер. I: Песок |                         | Сер. II: Песок |                         | Сер. III: Суглинок |                         |
|---------------------------------|---------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
|                                 | Грибы         | Бактерии + актиномицеты | Грибы          | Бактерии + актиномицеты | Грибы              | Бактерии + актиномицеты |
| Без удобрения . . . . .         | 92,4          | 13,4                    | 41,4           | 15,7                    | 68,8               | 16,1                    |
| Минеральные удобрения . . . . . | 218,0         | 12,0                    | 79,0           | 17,6                    | 100,4              | 17,6                    |
| Навоз . . . . .                 | 166,6         | 21,6                    | 87,2           | 22,5                    | 109,4              | 20,5                    |

Однако, реакция почвы оказывает меньший эффект на грибы, чем на бактерии, при культуре их в питательной среде на пластинках: по мере того как почва становится кислой, число их не сильно понижается, но и не особенно возрастает при внесении извести. Общий результат выражается в том, что грибы преобладают на кислых почвах, тогда как бактерии становятся численно гораздо более преобладающими на нейтральных почвах, как это было указано несколько лет назад Раманном (1911). Но это происходит не потому, что грибы в кислой среде чувствуют себя лучше, чем в нейтральной, а потому, что они выносят кислотность лучше бактерий. Приложимо ли это к бактериям в целом или только к тем, которые развивались в специальных условиях среды на пластинках, с уверенностью сказать нельзя (табл. 90, стр. 346). Некоторые из результатов Иенсена приведены в таблице 89.

Он показал, что отношение числа грибов к бактериям и актиномицетам находится в тесной корреляции с концентрацией водородного иона в почве, хотя абсолютные числа и не находятся в таком же отношении.

Роль, которую грибы играют в процессах разложения в почве, характеризуется тем фактом, что из всех почвенных организмов они являются наиболее экономными в своих метаболических процессах, превращая в вещество своего собственного тела больше

Таблица 89

Эффект  $\text{CaCO}_3$  на число грибов, актиномицетов и бактерий в почвах, на грам.м. Пенсен (1931)

|                                 | Вересковая почва |                |                                  |                    | Песчаная почва |                |                                  |                    | Легкий суглинок |                |                                  |                    |
|---------------------------------|------------------|----------------|----------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|--------------------|
|                                 | pH               | Грибы (в тыс.) | Бактерии + актиномицеты (в млн.) | Актиномицеты (в %) | pH             | Грибы (в тыс.) | Бактерии + актиномицеты (в млн.) | Актиномицеты (в %) | pH              | Грибы (в тыс.) | Бактерии + актиномицеты (в млн.) | Актиномицеты (в %) |
| Без удобрения . . . .           | 3,7              | 610            | 0,84                             | 0                  | 4,7            | 341            | 5                                | 61                 | 5,8             | 127            | 8                                | 36                 |
| С внесением $\text{CaCO}_3$ . . | 7,5              | 393            | 398                              | 21                 | 7,6            | 365            | 23                               | 35                 | 7,6             | 120            | 17                               | 20                 |

углерода из атакуемых ими соединений и рассеивая его в форме  $\text{CO}_2$  меньше, чем какая-либо другая группа почвенных организмов; они ассимилируют из протеина больше азота и оставляют его в форме аммиака меньше, чем бактерии. Они могут превращать в грибные ткани до 50 или до 60 % разлагаемых компонентов.

Они утилизируют углеводы как для энергии, так и для построения тканей. Некоторые из них активно разлагают целлюлозу: в кислых почвах—*Penicillium* и *Trichoderma*, а в нейтральных условиях — *Micogone*, *Coccospora*, *Botryosporium*, *Stachybotris* (стр. 281). Однако при этих обстоятельствах важную роль играют и бактерии. Мисогасеае обладают слабой или даже совсем не обладают способностью разлагать целлюлозу. Почвенные грибы могут получать свой азот из аммиака, нитратов, аминокислот или протеинов; Чалек<sup>1</sup> рассматривает аминокислоты как наиболее эффективный источник. Протеины служат не только источником азота, но, в отсутствии достаточного количества углеводов, они доставляют также энергию и материал для построения тела, хотя в этом случае имеет место большая деградация протеина, чем необходимо для доставления требуемого азота и отсюда остается избыток аммиака<sup>2</sup>. В то время как грибы могут ассимилировать аммиак и превращать его в протеин, они не обладают способностью превращения его в нитриты или нитраты; не могут они также фиксировать газообразный азот, за исключением только *Rhoma*, микрориз, связанной с питанием некоторых кустарников и деревьев (стр. 339).

Грибы оказывают ряд важных эффектов на плодородие почвы.

<sup>1</sup> Beit. Chem. Physiol. u. Path., 1901—1902, I, 538; 2, 557; 3, 47. См. также A. G. Norman (1931).

<sup>2</sup> S. A. Waksman (1924).

Они поддерживают процессы разложения, когда условия слишком кислы для эффективной работы актиномицетов и бактерий; таким образом, они расширяют пределы, в которых протекают нормальные процессы в почве. Разложение целлюлозы имеет особенно важное значение в виду того, что неизменный структурный материал клеток может быть вредным, делая почву слишком легкой и вызывая избыточные потери воды. Ассимиляция аммиака и нитратов, поскольку она не сопряжена с конкуренцией с выращиваемыми растениями, является полезной, предохраняя эти соединения от потерь через вымывание. Грибы играют важную роль в образовании гумуса: Вакеман считает, что гумус является главным образом смесью грибного мицелия с неразложенным лигнином<sup>1</sup>.

### Микоризы

Некоторые грибы растут на корнях растений, не принося им вреда, а в некоторых случаях даже заметно благоприятно влияя на них. Такая ассоциация впервые была замечена в 1885 г. Франком, который описал ее под именем «микоризы» или «грибного корня»; его наблюдения были сделаны над деревьями, но и большое число других растений подобным же образом ассоциируется с грибами, в особенности на почве, богатой гумусом, причем грибы оказывали специфическое влияние на растения. Не замечалось никаких признаков вредного паразитизма, но скорее тонко уравновешенные и взаимно полезные отношения между грибами и растениями, что зависело от физиологических условий мицелия и корней и было подвержено изменениям в зависимости от окружающей среды.

Для некоторых растений, в особенности выращиваемых на переносных почвах, эта ассоциация является, повидимому, даже обязательной. Многие верески, хвойные, орхидеи и растения без хлорофилла не будут расти или растут лишь с трудом без присутствия грибов. Садовники, выращивающие орхидеи, равно как и лесоводы, знакомы с этими затруднениями: С. Л. Кессель<sup>2</sup> в западной Австралии нашел, что всходы *Pinus pinaster* и *insignis* не могли удовлетворительно расти на новой почве, пока она не заражалась старой почвой. Повидимому, эта ассоциация является существенной не только в стадии молодых всходов, но она сохраняется и в течение всей жизни растения. Верещатники представляют ту особенность, что грибы заполняют не только корневые волоски, но и все растение, включая даже оболочку развивающе-

<sup>1</sup> См. также R. Falck *Nachweise der Humusbildung und Humuszehrung durch bestimmte Arten, höherer Fadenpilze im Waldboden*. Forstarch., 1930. Хорошее резюме прежних работ Фалька дано у Waksman, *Principles of Soil Microbiology*, 1927, стр. 694.

<sup>2</sup> Australian Forestry J., 1928, II, 55—56.



гося семен, причем свободными от них остаются только эндосперма и зародыш; у *Vaccinium* поражаются даже эти ткани.

Микоризы тесно связаны с питанием растения; так как они встречаются главным образом в лесной земле и на вересковых почвах, где содержание нитратов от природы низко, то можно предположить, что они способствуют азотистому питанию, разлагая протеинные вещества почвы и передавая растению более простые продукты. Подобным же образом они могут способствовать и минеральному питанию растения.

Грибы, связанные с вереском, были изолированы М. Рейнером и другими и выращивались в искусственной культурной среде отдельно от растений; таким образом, были изучены их физиологические свойства. Некоторые из форм *Phoma radicis*, находящиеся в ассоциации с вереском и другими *Ericaceae*, могут фиксировать небольшие количества газообразного азота<sup>1</sup>. Подобное же утверждение выдвигалось и в отношении корневых грибов орхидей; однако другие формы, повидимому, не фиксируют азота<sup>2</sup>.

### Актиномицеты

Эти организмы относились то к классу бактерий, то к классу грибов. Однако правильнее рассматривать их как отдельную группу, имеющую сродство с теми и другими; классификация их очень трудна. Они растут на желатиновых пластинках и могут действительно образовать 20—30% колоний, появляющихся на них; прежде их часто смешивали с бактериями, пока Бейеринк (1900), а впоследствии Гильтнер и Штернер (1903) не обратили внимания на их присутствие. А. Краинский<sup>3</sup> сделал предварительную классификацию, но первые важные почвенные исследования были сделаны Ваксманом и Куртисом<sup>4</sup> и Конном<sup>5</sup>. Йенсен изучал формы, встречающиеся в датских почвах.

Группа актиномицетов включает большое число разноразличных форм, трудных для характеристики, несмотря на то, что некоторые формы, повидимому, регулярно встречаются в большинстве исследованных почв. В почве они очень многочисленны: хотя методы подсчета их несовершенны, все же установлено, что число их варьирует от нескольких тысяч до 13 млн. на грамм почвы. В отличие от грибов они очень чувствительны к кислотности и почти исчезают в почвах с pH 4,6 и меньше; высшее количество встречается в пределах pH 6,8 до 8,0. Как пищу и энергетический ма-

<sup>1</sup> Nelson Jones and M. Llewelyn Smith, Brit. Journ. Expt. Biology, 1928, 6, 167.

<sup>2</sup> Более полную информацию см. M. C. Rayner, *Micorriza*, London, 1927; также работы E. Melin, особенно *Untersuchungen über die Bedeutung der Baummykorriza*. G. Fischer. Jena. 1925.

<sup>3</sup> Centr. Bakt., Abt. II, 1914, 41, 649.

<sup>4</sup> Soil Sci., 1916, 1, 99; 1919, 8, 71.

<sup>5</sup> N. Y. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull., 60, 1917.

териал они утилизируют протеин и углеводы; некоторые из них имеют характерный пигмент, а некоторые издают ясно различимый запах. Некоторые принимают участие в разложении целлюлозы, доводя реакцию, повидимому, до конца (стр. 281); другие разлагают такие стойкие вещества, как почвенный гумус, лигнин и кератин<sup>1</sup>. Большинство из них может при благоприятных условиях культурной среды восстанавливать нитраты в нитриты. Некоторые формы, как, например, *A. scabies*, являются серьезными паразитами на корнеплодах и других культурах.

Почти не подлежит сомнению, что они играют важную роль в почвенных процессах и поэтому желательно их полное изучение.

При изучении актиномицетов в Бангалоре Субрахманиан пришел к заключению, что они встречаются в почве только в виде конидий, а не в виде вегетативного мицелия. Он получил числа порядка от 1 до 3 млн. на грамм.

### Бактерии

Исторически бактерии являются важнейшей группой организмов в почве. Они первыми были изолированы и долгое время считались единственными организмами, имеющими значение при нормальных условиях, поэтому для изучения их были созданы лаборатории и специальные отделы при большинстве исследовательских институтов.

**Бактериальная флора почвы.** Тот факт, что внешний вид бактерий так легко изменяется с изменением условий, является большим затруднением при их идентификации, и к тому же многие из них могут вызывать столь разнообразные химические реакции, что точная характеристика их представляется нелегкой задачей. В виду этого отдельные виды флоры не были вполне классифицированы. Копп<sup>2</sup> нашел, что от 5 до 10% колоний на желатиновых пластинках состояло из спорообразующих бактерий, относимых к *Bacillus subtilis*, около 10% было беспоровых организмов, относимых к *Pseudomonas fluorescens*, быстро разжижающих желатин, тогда как от 40 до 75% составляли короткие палочки с значительно меньшей способностью разжижать желатин, если не совсем лишенные такой способности. Более определенного описания дано не было, хотя при возрастающем стремлении стандартизировать диагноз, проявляемом Американским обществом бактериологов и другими, в будущем можно ожидать и большей точности.

Было принято несколько методов классификации, так как прежний физиологический метод был отвергнут (стр. 329). Организмы, изучаемые в чистых культурах, группируются: а) морфо-

<sup>1</sup> H. L. Jensen, *Soil. Sci.*, 1930, 30, 59—77; 1931, 31, 123—158.

<sup>2</sup> *Centr. Bakt., Abt. II*, 1910, 28, 422 и *Journ. Bact.*, 1917, 2, 35.

логически и б) физиологически. Они распадаются на два отдела, смотря по материалу, из которого добывают свою энергию.

1. Автотрофные формы, которые живут частью или всецело без органического вещества; это—маленькая группа, но замечательная тем, что получает энергию из окисления неорганических веществ таких, как аммиак, нитриты, сера, водород и соединения закиси железа.

2. Гетеротрофные формы—большое число разновидностей, которые требуют органических источников энергии. Однако в чистых культурах изучалась только небольшая часть всей бактериальной флоры; для главной массы населения применялись другие методы. Конн делит их морфологически на следующие группы:

а) крупные спорообразователи, как, например, *B. megatherium* *muscoides* и др., резко выделяющиеся на пластинках и потому считавшиеся первоначально очень важными; но так как число их, повидному, мало изменяется или почти не изменяется с переменой условий, то он относит их к инертным;

б) мелкие формы, не образующие спор, которые, будучи более обильными и более изменяющимися численно в зависимости от условий, считаются активными. Многие из них только с трудом растут в искусственной среде и потому их очень трудно изолировать.

Виноградский пользуется другим методом. С помощью своей техники окрашивания он различает:

а) автохтонную группу, присутствующую в естественных неудобренных почвах, хотя и в небольших количествах, состоящую главным образом из коротких палочек и кокков, собранных в небольшие комочки;

б) зимогенную группу, которая начинает внезапно выделяться, когда к почве прибавляется какой-нибудь источник энергии, но опять замирает, как только источник истощится. Степень развития их зависит от условий (стр. 366).

Хотя мы не обладаем возможностью описывать почвенные бактерии детально, не остается, однако, почти никаких сомнений, что они не являются случайным собранием всех возможных форм, но представляют некоторую определенную центральную флору, с примесью родственных линий и случайных организмов.

Насколько возможно судить, обычные почвенные бактерии являются одними и теми же во всем мире; каждый организм, который представляется возможным определить в одном месте, обыкновенно встречается и во всяком другом районе, где его можно ожидать. Только две или три формы показывают явные признаки местного географического распределения, в частности:

1. Некоторые из клубеньковых организмов, как, например, ассоциирующиеся с люцерной, соей и т. д., которые, повидному, ограничены в своем распределении участками, занимаемыми растениями-хозяевами.



2. Некоторые из организмов, разлагающих фенол<sup>1</sup>.

Время от времени описывались местные формы широко распространенных организмов, как, например, нитрозоомонас, найденная Омелянским на Яве, и *Azotobacter Vinelandii*, найденный Липманом в Нью-Джерсей. Но являются ли они действительно местными или просто редкими формами, которые при систематических поисках можно найти где угодно, или же они представляют какую-нибудь стадию в сложном цикле, еще неизвестно. Неизвестно также, возрастает ли число видов, когда условия становятся более благоприятными для микроорганической жизни, как это случается с водорослями и протозоа.

Некоторые из бактерий, если не все, проходят в почве сложный жизненный цикл (стр. 282—295 и 304).

**Число бактерий в почве.** Прежние исследования числа бактерий в почвах производились с помощью техники на пластинках. Суспензия почвы разбавлялась водой до известной удобной степени и помещалась в агаровую или желатиновую среду, образовавшиеся колонии подсчитывались и полученные цифры умножались на степень разведения раствора для пересчета числа тех или других бактерий на грамм почвы. Определение общего содержания бактерий в почве невозможно, так как никакая применяемая на пластинках среда не позволяет всем группам почвенных бактерий развиваться и образовывать колонии. Однако этот метод оказался ценным для сравнения числа жизнеспособных организмов, принадлежащих к той или иной частной группе бактерий, могущих расти в применяемой среде, и он дает возможность обнаруживать изменения в числе в пределах этих групп и изменения, вызываемые переменой почвенных условий. Метод этот был тщательно стандартизирован как в отношении применяемой среды<sup>2</sup>, так и техники взятия образцов<sup>3</sup> (Торнтон, 1922; Фишер, Торнтон и Маккензи, 1922).

Число бактерий, подсчитанное в группах, в полевых почвах не остается постоянным, но подвержено большим изменениям по крайней мере—двух типов. Имеются сезонные изменения, причем общий численный уровень бывает весной и осенью (рис. 42) (Кутлер, Кремп и Сандон, 1922).

Население протозоа в почве показывает подобные же изменения. На фоне сезонных изменений замечаются колебания за короткие интервалы. Кутлер и его коллеги нашли большие ежедневные колебания в образцах почвы, взятых с одного и того же поля. Позднее, Торнтон и Грей<sup>4</sup> показали, что колебания имели место даже через интервалы в несколько часов. Разные группы бакте-

<sup>1</sup> Р. Н. Н. Gray and H. G. Thornton, Centr. Bakt., Abt. II, 1923, 73, 74.

<sup>2</sup> Ann. Applied Biology, 1922, 9, 241.

<sup>3</sup> Ibid., 1922, 9, 325.

<sup>4</sup> Proc. Roy. Soc., 1930, Ser. B., 106, 399.



рий, повидимому, возникают и падают в разное время<sup>1</sup>, но группы, подвергавшиеся подсчету, взятые в целом, обычно возрастали до больших чисел около 10 часов утра, падали к полудню и снова возрастали в послеполуденное время. Ежедневные колебания, наблюдавшиеся Кутлером, Кремпом и Сандоном, находились в обратной зависимости от числа активных амев в почве, давая, таким образом, отклонения от сезонных изменений. Эти колебания могут вызываться тремя причинами.

1. Нечто, присущее жизненному циклу активных амев, может вызывать поднятие и падение их числа, и, таким образом, вызывать обратные колебания в бактериях, которыми они питаются.

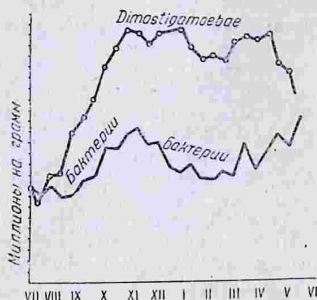


Рис. 42. Сезонные колебания в числе бактерий и протозоев (нанесенные по логарифмической шкале) в почве поля Барнфильд, Ротамстед.

2. Колебания могут вызываться условиями, благоприятными для жизненного цикла бактерий; это может влиять на число амев, создавая последовательно изобилие и недостаток пищи.

3. Некоторые внешние почвенные условия могут оказать влияние или на какую-нибудь одну или на обе группы организмов.

Однако внешние условия, повидимому, не являются причиной: ни при ежедневных, ни при двухчасовых взятиях проб колебания бактерий не находились в корреляции с изменениями температуры или влажности. И действительно, они продолжались, когда эти факторы оставались постоянными. Впервые влияние протозоев было замечено благодаря результатам, полученным Кутлером

<sup>1</sup> N. R. Smith and S. Worden (Journ. Agric. Res., 1925, 31, 501) предполагают, что их среда, в которой получают более высокие числа бактерий, чем у Торнтона, не дает колебаний. Если бы это оказалось верным, то это означало бы, что колебания одних бактерий подавляют колебания других. H. G. Thornton и R. A. Fisher показывают, однако, что данные Смита и Уордена обнаруживают значительные колебания (Soil Sci., 1927, 23, 253—259).

(стр. 369), а именно, что смесь почвенных бактерий и протозоа, внесенная в стерильную почву, давала колебания, тогда как одни бактерии не показывали их. С другой стороны, *Bact. radicicola*, выращенные в чистой культуре, в почве колебались в числе, в результате стадии многократного деления, свойственной их жизненному циклу (стр. 305). Прежде чем будет дано полное объяснение колебаний, необходимы более углубленные знания о жизненном цикле протозоа, а в особенности бактерий. Количество бактерий, найденное методом культурных пластинок, варьирует, примерно, от 5 до 40 млн. на грамм полевой почвы. Несоответствие этих цифр сделалось очевидным, когда Кутлер измерил потребности в пище почвенных амёб и вычислил, что для того, чтобы поддерживать известное население почвенных амёб, требуемое число бактерий на грамм почвы должно было бы быть порядка 4 000 000 000.

Делались различные попытки определить общее количество бактериальных клеток в почве с помощью прямого подсчета под микроскопом. Коэн (1918), применяя видоизменения молочного метода, нашел, что числа составляли в среднем около 260 млн. на грамм. Виноградский (1925) развил другой метод, с помощью которого Кюльморген-Гилле<sup>1</sup> получил цифры в среднем около 326 000 000 на грамм. Третий метод, разработанный Ванде-Вальде и Вербеленом<sup>2</sup>, дал подсчеты, колебавшиеся от 1 280 000 000 до 2 160 000 000. Главное затруднение при определении числа бактерий прямыми методами заключается в том, что измерять приходится слишком маленькие количества почвы. Торнтон и Грей обошли это затруднение, прибавляя к почве суспензию с подсчитанным количеством частичек индиго и определяя затем отношение бактерий к частицам индиго в окрашенных пленках этой суспензии<sup>3</sup>. Этот метод был испытан при прибавлении суспензии с подсчитанным количеством бактерий к стерилизованной почве, с последующим подсчетом найденных чисел; совпадение было вполне удовлетворительное.

Числа бактерий, найденные этими методами, во много раз выше, чем числа, даваемые методом пластинок; результаты для трех делянок пахотной почвы Барнфильда и луговой почвы Парка приведены в таблице 90.

Общий подсчет клеток с пахотной почвы превышал подсчет на пластинках в 117—133 раза, причем отношения были довольно постоянны для всех трех делянок. Для делянок луговой почвы подсчет общего количества клеток был в значительной степени тот же самый, но подсчеты на пластинках оказались очень низкими, в особенности для двух наиболее кислых делянок. Это является обычным результатом для кислых почв; по всей вероятности, это зависит от невозможности для групп, любящих кислую среду, раз-

<sup>1</sup> Kühlmorgen—Hille, Centr. Bakt., Abt. II, 1928, 74, 497.

<sup>2</sup> A. J. J. Vande Valde et Verbelen, Compt. rend., 1930, 190, 977.

<sup>3</sup> Thornton and Gray, Nature, 1928, 122, 400.

Таблица 90

Число бактерий в ротамстедских полевых почвах. Торнтон

| № деленок | Удобрение                                      | pH  | Число на 1 г                        |                       | Отношение: общий подсчет к подсчету на пластинках |
|-----------|------------------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
|           |                                                |     | Общий подсчет клеток (прямой метод) | Подсчет на пластинках |                                                   |
|           | Барнфильд                                      |     |                                     |                       |                                                   |
|           | (Пашня, свекла кормовая)                       |     |                                     |                       |                                                   |
| 1—0       | Навоз . . . . .                                | 7,6 | 3 733 000 000                       | 28 860 000            | 129                                               |
| 4—А       | Полное минеральное + сульфат аммония . . . . . | 7,2 | 1 766 000 000                       | 15 100 000            | 117                                               |
| 8—0       | Без удобрения . . . . .                        | 8,0 | 1 005 000 000                       | 7 550 000             | 133                                               |
|           | Луговые деланки Парка                          |     |                                     |                       |                                                   |
| 13        | Навоз . . . . .                                | 4,6 | 2 395 000 000                       | 2 250 000             | 1 064                                             |
| 11—1      | Полное минеральное + сульфат аммония . . . . . | 3,8 | 2 403 000 000                       | 1 350 000             | 1 780                                             |
| 12        | Без удобрения . . . . .                        | 5,6 | 3 041 000 000                       | 7 500 000             | 405                                               |

вываться на культурной среде пластинок, которая приспособлена для бактерий, любящих нейтральную реакцию.

Почвенные бактерии составляют значительную часть органического вещества почвы. Средний размер бактерий равен приблизительно кубу со стороной в  $\frac{1}{1000}$  мм, таким образом, 1 000 000 000 бактерий займет около 1 мм<sup>3</sup> и будет весить около 1 мг. В таблице 91 показана приблизительная масса бактериальных клеток, содержащихся в верхних шести дюймах на акр почвы Барнфильда, весящей около 1,5 млн. фунтов.

Таблица 91

Приблизительное определение веса бактериального вещества в почве Барнфильда, в фунтах на акр, в верхних 6 дюймах. Торнтон

| № деленок | Удобрение                                      | Бактериальное вещество (в фунт/акр) | Бактериальное сухое вещество (в фунт/акр) | Бактериальный азот (в фунт/акр) |
|-----------|------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| 1—0       | Навоз . . . . .                                | 5 600                               | 1 120                                     | 112                             |
| 4—А       | Полное минеральное и сульфат аммония . . . . . | 2 649                               | 530                                       | 53                              |
| 8—0       | Без удобрения . . . . .                        | 1 508                               | 302                                       | 30                              |

«Общий подсчет клеток» включает как недавно умершие, так и живые бактерии, но так как ферменты бактериальных клеток мо-

гут, по всей вероятности, продолжать действовать после того, как клетка потеряла способность к размножению, общий подсчет клеток имеет, по меньшей мере, такую же ценность для соотношения числа бактерий с биохимической деятельностью, как и подсчет живущих клеток, если бы последний мог быть получен.

**Эффект внешних условий на число бактерий.** Наличие этих колебаний делает весьма затруднительным проследить эффект внешних условий на число почвенных бактерий. Небольшое число подсчетов мало полезно; необходимо иметь достаточно обширные данные, чтобы применять статистические методы. К сожалению, сделано было уже много исследований, прежде чем это было признано. Но в некоторых направлениях результаты обоих методов довольно хорошо согласуются и совместные показания подтверждают некоторые заключения.

Главным фактором, влияющим на число бактерий в почве, является количество усвояемого энергетического материала: с увеличением энергетического материала числа быстро возрастают. По-видимому, имеется также тесная зависимость между числом бактерий и снабжением пищей, в особенности азотом и фосфатами, хотя это было более ясно установлено для активности бактерий, чем для их числа<sup>1</sup>.

На некоторые бактерии очень влияет реакция среды. Это уже было показано в таблице 89 (стр. 335). Дальнейшие иллюстрации приводятся на рисунке 43-А, на котором показаны числа некоторых родов бактерий, присутствующих в кислой почве, в которую вносится углекислый кальций<sup>2</sup>. В первоначальной почве число бактерий было низко. Прибавление небольшого количества карбоната кальция имело лишь незначительный эффект, равно как и большие количества, пока почва не стала нейтральной по методу Вейча; после этого замечается значительный подъем. Однако дальнейшее прибавление карбоната кальция вызывало постепенное падение; как поднятие, так и падение усиливались и при внесении фосфатов. Подобные же результаты были получены Фабрициусом и Фейлитценом<sup>3</sup>; на грамм в натуральной болотной почве приходилось 0,10 миллиона бактерий, но на соседней почве, которая обрабатывалась и удобрялась, их было до 7 млн. на грамм<sup>4</sup>.

Эти результаты сравниваются на рисунке 43 с результатами Торнтона, полученными с помощью пластинок из почвенной суспензии на среде с агаром с различной реакцией: числа малы для низких величин pH, но они внезапно повышаются между pH 6,8 и 7,0 и постепенно падают при более высоких величинах pH.

<sup>1</sup> О влиянии снабжения энергией см. стр. 287, 289 299 и 364; для азота см. стр. 276; для калия см. J. Dumont, *Compt. rend.*, 1897, 125, 469—472.

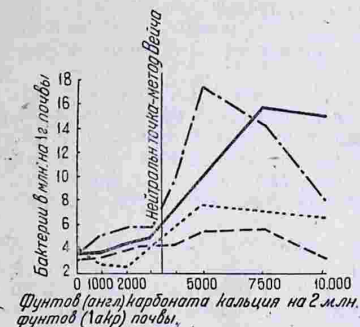
<sup>2</sup> F. E. Bear, *Soil Sci.*, 1917, 4, 433.

<sup>3</sup> *Centr. Bakt.*, Abt. II, 1905, 14, 161.

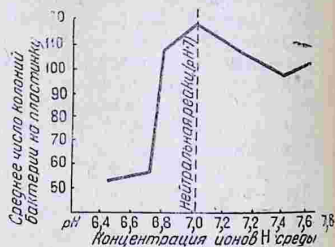
<sup>4</sup> См. также Th. Arndt, *Centr. Bakt.*, Abt. II, 1916, 45, 554.



Изменения в рН неодинаково влияют на разные виды бактерий. Организмы, фиксирующие азот (азотобактер и некоторые разновидности *B. radicola*), показывают наиболее резкую отзывчивость, встречаясь в значительных количествах лишь в узких пределах реакции; очень чувствительны также нитрифицирующие организмы, некоторые же из других организмов менее подвержены этому влиянию. Таблица 90 показывает, что общее количество бактерий, обнаруживаемое прямым подсчетом, мало изменялось при широких колебаниях величины рН, хотя количества, развивавшиеся на пластинках, подвергались значительным колебаниям.



— — — почва с фосфором ... почва с фосфором  
 — — — почва без фосфора — — — почва без фосфора  
 А. Эффект последовательного прибавления карбоната кальция к кислой почве (Ф. Е. Бер, Soil Sci., 1917, 4, 433).



В. Эффект изменений реакции в нижней среде (Торнтон, 1922).

Рис. 43. Влияние реакции почвы на число бактерий:  
 А—в почве, В—в среде с агаром

Почвенные бактерии, повидимому, очень неотзывчивы на изменения в температуре или снабжение влагой в пределах, благоприятных для трофической жизни; это тем более замечательно, если учесть тот факт, что как вода, так и температура оказывают ожидаемый эффект на число бактерий в почвах, частично стерилизованных (табл. 92). Колебания температуры от 40° С до 25° С не оказывают существенного эффекта на число их. На это указывают и прежние данные, приводившиеся в более ранних трактатах<sup>1</sup>, и об этом убедительно свидетельствуют 365 последовательных ежедневных исследований почвы Барнфильда в Ротамстеде (стр. 379).

<sup>1</sup> Например, Hiltner и Störmer (1903b); Engberding (1909); W. E. King and Doryland, Kansas Agr. Exp. Sta. Bull. 161, 1909; S. A. Waksman, Soil Sci., 1916, 1, 363—380.

Но когда почва подвергается температурам за пределами трофической жизни, наблюдаются некоторые замечательные результаты. Конн<sup>1</sup> утверждает, что замерзание почвы, вместо подавления числа бактерий, сильно увеличивает их число: число бактерий в замороженных почвах, при поддержании температуры в 12° С, было значительно выше, чем при обычных температурах<sup>2</sup>. Васс, однако, толкует эти результаты просто как рассеяние (благодаря

Таблица 92

*Влияние температуры на накопление числа бактерий в почвах в миллионах на грамм.*

Рэссель и Хэтчинсон, 1913

| Температура хранения ° С | Необработанная почва |               |               |               | Почва, обработанная толлуеном |               |               |               |
|--------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                          | Первоначально        | Через 13 дней | Через 25 дней | Через 70 дней | Первоначально                 | Через 13 дней | Через 25 дней | Через 70 дней |
| 5—12° . . . . .          | 65                   | 63            | 41            | 32            | 8,5                           | 73            | 101           | 137           |
| 20° . . . . .            | 65                   | 41            | 22            | 23            | 8,5                           | 167           | 128           | 182           |
| 30° . . . . .            | 65                   | 27            | 50            | 16            | 8,5                           | 197           | 145           | 51            |
| 40° . . . . .            | 65                   | 14            | 9             | 33            | 8,5                           | 148           | 52            | 100           |

действию холода) скопления бактерий, которые иначе были бы подсчитаны, как отдельные единицы. Однако в других случаях результаты не могут быть объяснены таким же образом. Действие температуры выше нормальной вызывает, как и следовало ожидать, падение числа организмов, но при поднятии ее выше некоторой критической величины (около 45° С) за этим падением следует значительное и постоянное возрастание в числе бактерий, когда почва возвращается к своей нормальной температуре (стр. 380).

<sup>1</sup> Centr. Bakt., Abt. II, 1910, 28, 422; 1914, 42, 150.

<sup>2</sup> Подтверждается Брауном и Смитом в Айове (Jowa Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 4, 1912), но не подтверждается Войткевичем (Centr. Bakt., Abt. II, 1914, 42, 254—261), который получил низкие числа зимой и не получал более высоких до весны. Lockhead (1924) нашел легкое повышение в числе бактерий в замерзших канадских почвах, но еще гораздо большее—после оттаивания.

Подобный же эффект производят изменения в содержании влаги в почве. В границах, подходящих для активной жизни, колебания влажности производят весьма слабый эффект на число бактерий. Но за пределами этих колебаний замечаются такие же особенности, как и с температурой.

Высушивание почвы на воздухе первоначально понижает число бактерий, но при новом увлажнении число их может значительно возрасти, хотя не надолго. Однако заболачивание нарушает состав флоры.

Любопытные факты рассматриваются на стр. 380. Они происходят по всей вероятности вследствие того, что бактерии не являются единственными организмами, находящимися в почве, и между ними и другими представителями почвенного населения существует подвижное равновесие, которое нарушается при изменениях температуры и снабжения водой.

Бактерии принимают участие в большей части химических изменений, происходящих в почве. При разложении растительных остатков многие из них, совместно с другими организмами, могут разрушать простейшие углеводы; очень немногие могут разрушать целлюлозу (стр. 280). Но еще неизвестно, могут ли какие-либо бактерии разрушать лигнин.

Окисление аммиака в нитриты или нитраты и фиксация газообразного азота осуществляются только бактериями, за исключением быть может *Rhoma*.

Однако между бактериями и грибами наблюдалось интересное различие. Грибы могут ассимилировать вновь от 20 до 60% (обычно от 30 до 40%) углерода разлагаемых ими веществ, тогда как бактерии ассимилируют значительно меньше—только от 1 до 30%, обычно же 5—10%<sup>1</sup>, но на единицу усвоенного углерода бактерии усваивают значительно больше азота, чем грибы, имея в своем сухом веществе от 10 до 12% азота против 5—8%, находящихся в сухом веществе грибов.

Из других изменений, касающихся азотистых соединений, разложение протеина, образование аммиака и ассимиляция аммиака и нитратов вызываются многими бактериями, а также грибами и другими организмами.

**Бактериофаг.** Н. Л. Зенген<sup>2</sup> изолировал из почвы некоторые организмы, способные вырабатывать «бактериофаг»—вещество, растворяющее живые бактерии; он нашел подобное вещество и в почве.

Весь вопрос о «бактериофаге» еще подлежит изучению<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> S. A. Waksman (1924); W. Kruse, *Allgemeine Mikrobiologie*, Leipzig, 1910.

<sup>2</sup> K. Akad. Wet., Amsterdam, 1923, 36, 1281.

<sup>3</sup> См. Bordet, *The Theory of the Bacteriophage*, [Croonian Lecture. Proc. Roy. Soc., 1930, 107, 13, 398.

## Почвенные протозоа

Предположение о том, что протозоа составляют нормальную часть почвенного населения, влияющего на рост растений, было сделано Расселем и Хэтчинсоном в результате изучения частичной стерилизации почвы, описанной далее на стр. 380 и след.

Протозоа давно были найдены в почве, и более ранние исследователи, Эренберг и Дюжарден (1841), считали их активными, но после открытия форм цист Штейном в 1878 г. возникла мысль, что в почве они встречаются только случайно и как цисты; идея эта получила широкое признание в период работ с частичной стерилизацией<sup>1</sup>. В Ротамстеде были организованы широкие исследования с целью выяснить, существует ли активная фауна протозоа в почве, и если существует, то каковы ее отношения к другим членам почвенного населения, а также и к растущим растениям. Первые опыты Гуди<sup>2</sup> имели дело главным образом с реснитчатыми (ciliated) и показали, что они встречаются только в форме цист. Затем Мартин и Левин (1914—1915) при помощи остроумных методов изоляции показали, что трофическое (активное) население амёб и жгутиковых обычно живет в почвах и что оно отличается от населения, появляющегося в настояшках сена. Этот взгляд получил подтверждение в позднейших исследованиях и широко распространен благодаря Д. Кутлеру, Л. М. Крэмпу и Х. Сандону.

Методы, разработанные в Ротамстеде для изучения почвенных протозоа, следующие.

1. Организмы в почве подсчитываются при помощи способа разбавления, причем образец почвы испытывается: а) в своем первоначальном свежем виде, б) после обработки разведенной кислотой, когда активные формы бывают убиты и остаются одни цисты.

2. Закладываются культуры для изоляции и изучения разных организмов.

Делались многочисленные попытки выработать метод непосредственного обнаружения протозоа в почве. Левин и Мартин добились некоторого успеха, растирая почву в растворе пикриновой кислоты и затем собирая плавающие на поверхности организмы, но этот способ оказался довольно кропотливым и не очень эффективным; несколько он был улучшен Кофманом<sup>3</sup>: почва смешивает-

<sup>1</sup> См. Sherman, Journ. Bact., 1916, 1, 35; 165; G. R. Koch, Soil Sci., 1916, 2, 163; G. T. Moore, Science, 12 Nov., 1912; C. R. Fellers and F. E. Allison, Soil Sci., 1920, 9, 1 и общий обзор по 1917 г.; N. Kopeloff and D. A. Coleman, Soil Sci., 1917, 3, 197—269. См также E. J. Russell, Science, 4 Apr. 1913. Waksman (1916) был одним из первых американских работников, признавших трофическую фауну протозоа.

<sup>2</sup> Proc. Roy. Soc., 1911, 84, 13, 165; 1915, 88, 13, 437; 1916, 89, 13, 297.

<sup>3</sup> M. Koffman, «De egentliga jordprotozoerna. Deras ställning till andra jordmikro-organismerna och deras roll vid de mikrobiologiska processerna i jorden». Medd., 391, Centralanstalten för Försöksväsendet på Jordbruksområdet Bakteriologiska Avdelningen, № 55, 1931, Stockholm.



ся с водой до тестообразного состояния, тщательно взбалтывается и отстаивавшаяся сверху жидкость исследуется. Непосредственное микроскопическое исследование почвы дает мало или ничего, и это обстоятельство являлось значительным препятствием к принятию идеи о фауне протозоа до тех пор, пока Кутлер (1920) не нашел ему объяснения. Он показал, что организмы прочно прилипают к частицам почвы и действительно могут быть в известных пределах совершенно изъяты из суспензии их, если взбалтывать почву с ней в течение нескольких минут. Способность почвы к насыщению микроорганизмами очень высока; в Ротамстеде она колеблется между 1 500 000 и 2 000 000 на грамм, что значительно превосходит фактическую численность их в почве. Только в исключительных случаях удастся с достаточной быстротой производить изъятия организмов для наблюдения их под микроскопом. Подробнее об этом говорится на стр. 374.

Исследования, произведенные над почвами Ротамстеда, были самыми обстоятельными, но много исследований было произведено и над почвами в других странах. Найдено много видов протозоа, но существует некоторая центральная группа почвенной фауны, встречающаяся почти всюду, которая, как и флора бактерий и водорослей, повсеместно обнаруживает чрезвычайно мало вариантов; исследования Сандона производились на пространстве от Gough Island в антарктике до Шпицбергена, в арктических областях. Преобладающими членами этой почвенной фауны являются следующие.

Амёбы ае. *Noegleria Dimastigamoeba*) Gruberi,<sup>1</sup> *Hartmanella hyalina* (та или другая, но не обе вместе).

*Flagellata*—*Heteromita lens* и *globosa*, *Cercomonas*, *crassicauda* *Oicomonas termo*.

*Ciliata* (реснитчатые)—*Colpoder cucullus* и *steinii*.

Кроме этого имеются еще некоторые раковинные, или *Thoecamoebae*, между ними *Chlamydomyces stercorea*, *Difflugia constricta* и *Trinema enchalys*.

Сандон в своей монографии (1927)<sup>2</sup> дает классификацию и ключ ко всем известным видам почвенных протозоа.

Пока еще не представляется возможным объяснить, почему эти формы так распространены в почве, а другие, повидимому, не очень отличающиеся от первых, встречаются довольно редко. Возможно, что заслуживает внимания то обстоятельство, что все обычные почвенные формы мелкие: амёбы колеблются от 8 до 22  $\mu$  в диаметре, *Flagellatae* от 7 до 15  $\mu$  и *Thoecamoebae* около 15  $\mu$ .

<sup>1</sup> Эта форма называется *Vahlkamfia Soli*, в работах Мартина и Левина (1914).

<sup>2</sup> Между новейшими трудами: см. L. Telegdy—Kovats «Kisérleti tapasztalatok a taljaprótózoák biológiai tevékenységéről», *Kísérletügyi Közlönyök*, XXXI, 3, 1928; D. Fehér and L. Varga, «Die Protozoen-Fauna des Waldbodens», *Centr. Blt.*, Abt. II, 1929, 77, 524; M. Francois Perey, *Ann. Sci. Agron.*, 1922, 39, 333.

имеются более крупные формы, как, например, встречаю-  
месте с почвенными видами в другой среде, например, в  
воде, то во всяком случае они немногочисленны.  
Чительная стойкость почвенных форм является тем более  
ельной, что, за исключением *Thoecamoebae*, которые срав-  
но немногочисленны, различные члены населения предста-  
собой массы голой протоплазмы, не имея никакой защиты  
да, холода или засухи и возможности удалиться от неблаго-  
ных условий, опускаясь в глубину, как делает планктон в  
Они могут образовывать цисты, но исследования в Ротам-  
наводят на сомнение, чтобы образование цист вызывалось  
поприятными условиями.  
Эти организмы проходят в почве известный цикл изменений;  
горые жгутиковые имеют амебоидальную стадию, и по край-  
мере одна из амеб (*Noegleria*) имеет стадию жгутиковых.  
Нет убедительных данных ни о географическом распределении,  
об определенных экологических ассоциациях простозоа, как у  
ений. Однако какие-то распределения все же имеются, которые  
а объяснены быть не могут; две обыкновенные амебы *Dimastig-  
oeba* и *Hartmannella*, повидимому, взаимно исключают друг  
та и редко встречаются вместе в более или менее значительных  
ичествах; одна или другая из них обязательно преобладает, но  
обе. Число разновидностей обычно бывает наивысшим в тех поч-  
х, которые содержат наибольшее число отдельных особей про-  
зоа.

Количества простозоа в почве, выявленные по способу Кутлера,  
ются в таблице 93. Эти цифры не полны, так как некоторые

Таблица 93

количества и приблизительный вес простозоа и бактерий в пахотной почве,  
получающей навозное удобрение. Ротамстед

|                                                 | Количество<br>на грамм<br>почвы | Приблизитель-<br>ный вес в англ.<br>фунтах на акр<br>в верхних<br>6 дюймах |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Амебы—высокая активность . . . . .              | 280 000                         | 120                                                                        |
| » низкая » . . . . .                            | 150 000                         | 68                                                                         |
| Жгутиковые—высокая активность . . . . .         | 770 000                         | ок. 100                                                                    |
| » низкая » . . . . .                            | 350 000                         | ок. 50                                                                     |
| Реснитчатые—высокая активность . . . . .        | 1 000                           | —                                                                          |
| » низкая » . . . . .                            | 100                             | —                                                                          |
| Бактерии — высокая активность . . . . .         | 5 000 000 000                   | 7 500                                                                      |
| » низкая » . . . . .                            | 1 000 000 000                   | 1 500                                                                      |
| Водоросли (за исключением сине-зеленых) . . . . | > 100 000                       | > 125                                                                      |

Примечание. Грибы не включены, но их общее число может бы-  
выше, чем амеб, а общая масса их приближается к бактериям.

формы почти наверно ускользнули от наблюдения, по все же они, вероятно, ближе к действительным величинам, чем добытые пока для бактерий или каких-либо других форм почвенных микроорганизмов.

Жгутиковые являются самыми многочисленными, за ними следуют амебы, и в наименьшем количестве встречаются реснитчатые. В виду разницы в размерах трудно определить общую массу населения по одной из численности. Делая известные допущения относительно объема организмов и принимая величины Аллисона<sup>1</sup>

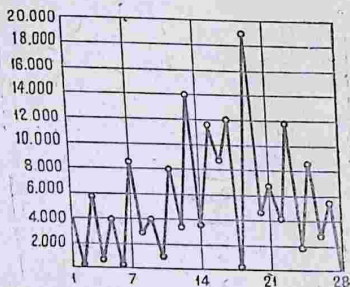


Рис. 44. Ежедневный подсчет активных Flagellata (грибы) на поле Бродбек, делянка 2, унавоживавшаяся. Числа даны в тысячах на 1 г почвы и показывают замечательную периодичность (Кутлер и Крамп)<sup>2</sup>.

(1,04—1,06; для клеток водорослей 1,1) по их плотности, можно высчитать их приблизительный вес на акр. Цифры, данные в таблице 93, показывают, что для амёб вес или объем на акр почти вдвое больше, чем для Flagellata, но и те и другие далеко уступают бактериям. Все организмы в целом не проявляют активности в какое-нибудь одно время; пропорция активных форм изменяется в значительной степени, но в большую часть дней они составляют более половины общего числа.

Как бы то ни было, число протозоя в почве не остается хотя бы приблизительно постоянным, но изменяется непрерывно изо дня в день. Это в особенности верно по отношению к отдельным видам: не являются необычными колебания в численности любой разновидности от нескольких сотен до 400 000 и более в течение

<sup>1</sup> R. V. Allison, Ann. Applied Biology, 1924, 11, 153—168.

<sup>2</sup> Ann. Applied Biology, 1920, 7, 11—24.

24 час  
период  
В  
1.  
двухд  
вает  
2  
есть  
(рис.

в; кроме того процент особей в активной форме за тот же времени может сделать скачок от 0 до 100.

речаются изменения следующих двух порядков.

Активная форма *Oicomonas termq* проявляет определенную суточную периодичность, причем в один день численность высокая, а на следующий день низкой (рис. 44).

Непрерывные колебания, наблюдаемые у амев; если здесь и периодичность, то она не согласуется с нашими днями (рис. 45).



Рис. 45. Ежедневный подсчет амев и бактерий на поле Бродбок, делянка 2 унавоживавшаяся. Активные амевы даны в тысячах и бактерии в миллионах на 1 г почвы (Кутяер и Крэмп).

Причины этих явлений неизвестны, но исследование их ведется в Ротамстеде.

Эти колебания делают затруднительным изучение влияния внешних условий на фауну протозоа, и существуют только два или три фактора, достаточно сильные, чтобы преодолеть их. Самые важные из этих факторов следующие.

Количество органического вещества в почве (т. е. энергетического материала), при увеличении которого не только повышается общий уровень числа особей, но и число разновидностей протозоа.

Заметно также и влияние времени года, выражающееся в том, что весной и осенью численность всяких форм бывает высокой, а летом и зимой низкой.

Аэрация является, повидимому, сильным фактором, определяющим количество организмов. Однако другие внешние условия не оказывают существенного действия на количества протозоа: ни

<sup>1</sup> См. Cutler, Crump and Sandon, 1922.



реакция (величина рН) в известных пределах, ни содержание влаги или выпадение дождя, ни температура<sup>1</sup>.

Отношения ciliata и амев к другим членам почвенного населения изучаются в Ротамстеде. Обе группы протозоа питаются бактериями; насколько известно, большинство видов ничем другим не питается, так что активные формы в почве вредны для бактерий и уменьшают их количество. Наблюдается резкое обратное отношение между количествами бактерий и активных амев; когда количества амев падают, то количества бактерий возрастают, и наоборот. при подъеме количества амев количества бактерий снижаются.

Насколько удалось выяснить, именно от амев и зависят колебания в количестве бактерий; очевидно, что, когда бактерии остаются одни, таких колебаний, как в нормальной почве, не наблюдается (стр. 369).

Разные бактерии имеют весьма различную ценность как пищи для амев; так, например, для одной из наиболее питательных форм известно, что возрастание числа амев на 3 400 (*Hartmannella hialina*) влекло за собой исчезновение 1,4 млн. бактерий, т. е. треблялось несколько более 400 бактерий для роста одной амевы. Переводя эти цифры в выражение возрастания числа амев, показанного на рисунке 45, мы видим, что бактериальное население от 1 до 5 тыс. миллионов на грамм приблизительно достаточно, чтобы поддерживать активность протозоа<sup>1</sup>.

Некоторые жгутиковые (flagellata) вследствие питания бактериями имеют сходство с амебами, поэтому и их отношения к почвенным бактериям, вероятно, такие же. Не то представляют собою другие жгутиковые. Они питаются растворимыми органическими и неорганическими веществами, поглощая их посредством диффузии через поверхность своего тела, т. е. питаются сапрофитически<sup>2</sup>; прямого действия на количества бактерий они не оказывают, если не считать их соперничества в добывании пищи. Одной из наиболее насущных проблем почвенной микробиологии является изучение жизни жгутиковых в почве.

Отношение протозоа к росту растений окончательно еще не установлено. Влияние flagellata, самой обширной группы из всех активных небактериальных организмов в почве (за исключением, может быть, грибов), совершенно неизвестно. Влияние же амев, а также в зависимости от их активности и реснитчатых, питающихся бактериями и таким образом понижающих их количества, может вызвать понижение продукции нитратов и другой пищи растений, а следовательно, и понижение почвенного плодородия.

<sup>1</sup> См. стр. 346 и D. W. Cutler, and L. M. Crump, Brit. Journ. Exp. Biology, 1927, 5, 155; см. также L. B. Severtzova, Centr. Bakt., Abt. II, 1928, 73, 162, которая составила список «приемлемых» и «неприемлемых» организмов и находит, что амебы предпочитают мелкие бактерии, но предпочитают крупные coccii вегетативным формам спорообразования.

<sup>2</sup> H. G. Thornton and Geoffrey Smith, «On certain Soil Flagellates», Proc. Roy. Soc., 1914, 13, 88, 151—165.

Основательно доказать это трудно, но известно, что всякий способ воздействия, при котором амебы уничтожаются, повышает плодородие почвы (стр. 380).

Так, например, Скиннер<sup>3</sup> показал, что введение *Hartmanella hyalina* в частично стерилизованную почву понижало число бактерий и до некоторой степени уменьшало темп выделения углекислоты и накопления аммиака.

Но, как будет показано ниже (стр. 371), уменьшение числа бактерий не влечет за собой соответствующего уменьшения бактериальной деятельности, так как члены меньшего населения более эффективны индивидуально, чем члены обширного населения.

При прибавлении к культурам азотобактера они стимулируют фиксацию азота (стр. 298).

## Черви

Нематоды. Это мелкие черви, приблизительно от 0,5 мм до 1,5 мм в длину и около  $\frac{1}{20}$  мм до  $\frac{1}{40}$  мм в поперечнике; многие роды и виды их являются обычными обитателями почвы.

Почвенные формы разбиваются грубо на три группы.

1. Живущие за счет гниющего органического вещества, а возможно и за счет бактерий, протозоя и грибов; это наиболее многочисленная группа и в почве имеется много различных форм ее.

2. Паразитирующие на растениях, включая сюда виды *Aphelenchus*, *Tylenchus* и *Heterodera*.

3. Хищные нематоды, поедающие других нематод, инфузорий и маленьких земляных червей; сюда принадлежат *Mononchs* и *Diplogasters*. Классификация нематод изучалась Маном<sup>2</sup> и Миколетским<sup>3</sup>. Свободно живущие формы питаются главным образом соками, которые они высасывают посредством мускулистого пищевода. Особенно много изучались паразитические формы в виду их технической важности; выросла уже обширная литература во круг *Heterodera*, и она была суммирована в последнее время в записках, изданных Имперским бюро с.-х. паразитологии<sup>4</sup>. Т. Гудинг описал типичные виды *Aphelenchus* и *Tylenchus* в серии статей в *Journ. of Helminthology*, начиная с 1923 г.

Хищные формы изучались Коббом<sup>5</sup>, который проявил много находчивости в преодолении практических затруднений при исследовании нематодного населения в почве.

<sup>1</sup> Soil Sci., 1927, 24, 149.

<sup>2</sup> J. G. de Man, 1884, Die frei in der reinen Erde u. in süßen lebenden Nematoden.

<sup>3</sup> H. Micoletzky, 1921, Die frei lebenden Erd-Nematoden. Arch. Naturgesch., 87, A, 1—614.

<sup>4</sup> The root infesting eel worms, of the genus *Heterodera*: a bibliography and host list, 1931.

<sup>5</sup> N. A. Cobb., «Nematodes and their Relationships». U. S. Dept. Agric. Yearbook 1914, 457; Soil Sci., 1917, 3, 34.

Нематоды встречаются в наибольших количествах на почвах, хорошо снабженных органическим веществом, и они более многочисленны летом, чем зимой. Определение числа их страдает еще очень грубым приближением и ненадежностью, но полученные величины лежат в пределах около 1 до 60 на грамм почвы, в верхних шести дюймах:

|                                             |                 | На 1 г | На акр, в<br>верхних<br>6 дюймах<br>(в млн.) |
|---------------------------------------------|-----------------|--------|----------------------------------------------|
| Кукурузное поле. США <sup>1</sup> . . . . . |                 | 0,25—1 | 100—650                                      |
| Пастбище в Тироле <sup>2</sup> {            | зимой . . . . . | 2      | 140                                          |
|                                             | летом . . . . . | 32     | 200                                          |
| Среднее за год . . . . .                    |                 | 12     | 700                                          |
| Абердинские почвы <sup>3</sup> {            | зимой . . . . . | 36     | 2 200                                        |
|                                             | летом . . . . . | 60     | 4 300                                        |

Из различных форм свободно живущие являются, вероятно, наиболее многочисленными.

Многие нематоды могут выдерживать зауху, переходя в спящую стадию. Влияние их на плодородие почвы еще не вполне известно. Паразитические формы наносят особенно много вреда, в особенности в умеренных районах, овсу, клеверу, люцерне, сахарной свекле и картофелю, а в теплицах—томатам и огурцам; помимо прямого вреда они могут способствовать распространению грибных и бактериальных болезней.

Сапрофитные формы участвуют в разложении растений и органических остатков, а хищные служат, вероятно, и полезным целям, удерживая паразитические формы в известных границах. Время от времени делались попытки контролировать паразитические формы с помощью прививки к зараженной почве хищных форм, но до сих пор без особого успеха.

Много дискутировался вопрос, каким образом паразитические формы находят в почве свое растение-хозяина. Имеются хорошие доказательства того, что их привлекают выделения корней и что их хемотаксическое\* чутье достаточно тонко, чтобы позволить отличать одно растение от другого.

Предмет этот детально дискутировался Стейнером<sup>4</sup>, который высказывает мысль, что органами принятия пищи их являются

<sup>1</sup> Steiner and H. Heinley, Journ. Wash. Acad. Sci., 1922, 12, 367.

<sup>2</sup> L. Seidenschwartz, Arb. Zool. Inst. Univ. Innsbruck, 1923, 1, 37.

<sup>3</sup> D. Robertson, Proc. Roy. Physical Soc., 1926, 21, 83.

\* Хемотаксис (Chemotaxis)—чувствительность, проявляемая микроорганизмами (бактериями и др.) к химическим веществам в растворе.

Прим. перев.

<sup>4</sup> Phytopatology, 1925, 15, 449.



амфиды, или боковые органы, расположенные на голове. Ренш<sup>1</sup> показал, что эти паразитические формы можно заставить принимать не только естественные выделения корней, но и искусственные препараты, и он предложил обработку зараженных почв этим методом, надеясь, что привлеченные таким образом организмы, не найдя растения-хозяина, погибнут. До сих пор, однако, практические результаты не были достигнуты, но исследования в этом направлении продолжаются в Институте с.-х. паразитологии, в попытках контролировать расу *Heterodera*, поражающую в настоящее время в Англии картофель и наносящую на некоторых площадях очень большой ущерб.

### Остальная фауна беспозвоночных в почве

Количественные исследования фауны беспозвоночных, помимо протозоа, велись под руководством А. Д. Иммса на двух группах полевых почв: на одной группе в Чешире А. Е. Камероном<sup>2</sup> и на другой в Ротамстеде Х. М. Моррисом<sup>3</sup> по методу собирания крупных образцов почв, промывки их через ряд сит, подобранных с таким расчетом, чтобы удерживать животные организмы различной величины, и, наконец, процеживания через мешок из шелка для сит, чтобы задержать мельчайшие из них. После этого организмы определялись и подсчитывались. Они заключали в себе много видов. Некоторые являются только временными обитателями, пользующимися почвой как подходящим местом для размножения и окукливания; постоянные же обитатели состоят из форм сапрофитов, питающихся органическим веществом (табл. 94). Самыми многочисленными являются насекомые, а наиболее важными в качестве агентов почвообразования разного рода черви и в особенности дождевые черви.

Более половины насекомых на поле Барнфильд были *Collembola*.

Эффект органического вещества, в особенности навоза, на повышение числа всех форм очень заметен; однако минеральные удобрения практически не дают никакого эффекта.

<sup>1</sup> Zeit. Wiss. Zoologie, 1924, 113; Mitt. deutsch. landw. Gesell., 1924, 412.

<sup>2</sup> A. E. Cameron, Journ. Econ. Biol., 1913, 8, 159—204 и Trans. Roy. Soc. Edinb., 1917, 52, 37—78. См. также H. M. Morris, Ann. Applied. Biology, 1920, 7, 141—155.

<sup>3</sup> H. M. Morris, *ibid.*, 1922, 9, 282—305; 1927, 14, 442—464. Из других работ см. P. Buckle, Ecology of Soil Insects on Agricultural Land (Journ. Ecol., 1923, 11, 93—102).

A. E. Cameron, Soil Insects (Science Progress (1925), 20, № 77, 92—108).

N. K. Pillai, Beiträge zur Kenntnis der Fauna der Waldstreu, Kiefern-

Untersuchungen (Zeit. angew. Ent. (1922), 8, 1—30).

M. Thompson, The Soil Population. Ann. Applied Biology (1924), 11, 349—394.

J. F. von Pfitzen, Beiträge zur Kenntnis der Fauna der Waldstreu, Fichtenstreu-Untersuchungen (Zeitsch. angew. Ent. (1925), 11, 35—54).



Таблица 91

Количества беспозвоночных в тысячах на один акр почвы в слое глубиной 9 дюймов; среднее за двенадцать месяцев. Моррис

|                                                                | Пшеничное поле, Бродбок |                               | Кормовая свекла на поле Барнфильд |           |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------|
|                                                                | Делянка без удобрения   | Делянка, удобрявшаяся навозом | Без навоза                        | С навозом |
| в т ы с я ч а х                                                |                         |                               |                                   |           |
| Насекомые . . . . .                                            | 2 475                   | 7 727                         | 1 032                             | 3 072     |
| Более крупные Nematoda и Oligochaeta limicolae . . . . .       | 795                     | 3 600                         | 258                               | 5 044     |
| Многоножки:                                                    |                         |                               |                                   |           |
| Diplopoda (тысяченожки) . . . . .                              | 596                     | 1 367                         | 90                                | 1 673     |
| Chilopoda (стоножки) . . . . .                                 | 215                     | 209                           | 3                                 | 134       |
| Symphyla (очень мелкие) . . . . .                              | 64                      | 215                           | 3                                 | 36        |
| И т о г о . . . . .                                            | 875                     | 1 791                         | 96                                | 1 845     |
| Oligochaeta (дождевые черви) . . . . .                         | 456                     | 1 010                         | 13                                | 712       |
| Паукообразные (Arachnida, Acarina) (акариды и клещи) . . . . . | 215                     | 532                           | 62                                | 160       |
| Araneida (пауки) . . . . .                                     | 21                      | 20                            | 13                                | 26        |
| И т о г о . . . . .                                            | 235                     | 552                           | 75                                | 186       |
| Ракообразные (Crustaceae) (мокрицы)                            | 34                      | 81                            | 5                                 | —         |
| Моллюски (Pulmonata) (слизны и улитки) . . . . .               | 13                      | 34                            | —                                 | 10        |
| Всего беспозвоночных . . . . .                                 | 4 885                   | 14 796                        | 1 451                             | 10 971    |

В противоположность микроорганизмам беспозвоночные очень заметно реагируют на географические факторы, так что географическое распределение в данном случае ясно выражено. В пределах географических районов имеются, конечно, и экологические сожительства, но о них еще мало известно.

**Дождевые черви** изучены в подробностях на основе классического исследования Дарвина, описанного в его труде «Earthworms and Vegetable Mould», одной из самых интересных книг, когда-либо написанных о почве. Дождевые черви производят два важных действия на почву: 1) аэрируют почву и смешивают составные части ее; 2) пропускают через свои тела значительные количества материала, который выбрасывается ими на поверхность почвы в виде бугорков и образует, по мнению Дарвина, слой толщиной в 0,2 дюйма (0,5 см) за один год. Таким образом они непрерывно переворачивают почву до глубины, на которую простирается их работа, перемешивая ее различные элементы.

уволакивая с поверхности листья и другие остатки растений и таким образом ускоряя разложение их микроорганизмами. Получаются разительные результаты, наблюдаемые при сравнении почв, обильно снабженных дождевыми червями, с почвами, в которых червей сравнительно мало. При активности дождевых червей в почве органическое вещество распределяется по всему слою, в котором они оперируют. Когда же, как в холодном климате, дождевых червей мало или совсем нет, значительно меньше происходит и перемешивание почвы; на поверхности накапливается мертвое растительное вещество, превращающееся в частично разложившуюся кислую торфянистую массу, в которой нормальные почвенные разложения до конца не доводятся. Растительность на поверхности претерпевает глубокие изменения, так как только немногие растения бывают в состоянии проникнуть сквозь массу мертвого материала; по мере их отмирания их остатки тоже остаются на поверхности и при довольно медленном разложении могут накопиться в таком количестве, что образуется пласт торфа.

Вторым важным эффектом дождевых червей является улучшение аэрации и дренажа. Они пронизывают почву своими ходами, по которым легко движутся вода и воздух.

Третье действие, приписывавшееся и прежде дождевым червям, но без достаточного основания, заключается в том, что они увеличивают в почве количество разложившегося органического вещества. Автору не удалось найти никаких доказательств этого положения, нет их и в новейших исследованиях Хеймонса<sup>1</sup>; скошенная трава в смеси с почвой разлагается так же быстро в присутствии дождевых червей, как и в отсутствии их. Но в этих опытах, конечно, ни аэрации ни перемешивания почвы дождевыми червями не было.

Как случается и с другими организмами, число дождевых червей в данном весе почвы зависит от количества наличного органического вещества. Однако, дождевые черви чрезвычайно чувствительны к почвенной кислотности, и при их отсутствии масса мертвой растительности имеет тенденцию скопиться на поверхности кислой почвы и превращаться в торф. Кислые травянистые участки в Ротамстеде дождевых червей в себе не содержат<sup>2</sup>, между тем как в соседних почти нейтральных участках их содержится много. Хэнли (Hanley) отмечает, что присутствие или отсутствие экскрементов червей на пастбищах вернейшим образом показывает, «сладки» или «кислы» эти почвы. Неизвестно еще, вызывается ли отсутствие червей непосредственным вредным дей-

<sup>1</sup> E. J. Russell, Journ. Agric. Sci., 1910, 3, 246—257; R. Heymons Zeit. f. Pflanz. Düng., 1923, 2, 97—129.

<sup>2</sup> Нет в них, вероятно, вследствие этого и кротов. Фермеры на севере Англии смотрят на кротовины, как на хороший признак для луговой земли.

<sup>3</sup> Дождевые черви в значительной степени зависят в своем питании от известковых желез, которые, повидимому, не могут поддерживаться

ствием на них кислотности или же это отсутствие является следствием кальциевого голода, от которого страдает все растущее на кислых почвах<sup>3</sup> (стр. 430).

Одной из труднейших задач в садах и огородах является работа с грубой смесью глины, песка и мелких камней—смесью, образующей значительную часть почвы. Эффективный способ, которым автор пользовался с значительным успехом, заключается в заделке в почву скошенной травы и других растительных веществ на глубину около 8 дюймов (20 см), в многократном поверхностном применении удобрения из травы и мелко смолотого углекислого кальция (мел или известняк).

Дождевые черви размножаются быстро и проникают из верхних слоев растительного вещества в нижние слои, основательно перемешивая почву и проветривая ее.

**Муравьи.** В странах жаркого и сухого климата муравьи и термиты являются столь же важными в почве, как дождевые черви в умеренном климате. Они питаются органическим веществом, но совершенно разлагают его, не оставляя никаких остатков для образования гумуса. Они нагромождают почву в кучи, которые иногда достигают 5—6 футов высоты. Некоторые из них выбрасывают из своих подземных ходов размельченную землю, которая образует превосходный слой для роста диких растений, составляя контраст с окружающей горячей голой землей; это может быть причиной, обуславливающей пятнистое распределение растений в таких условиях.

**Улитки.** Аткинс и Лебур нашли, что число улиток в разных районах тесно связано с реакцией почвы, являясь наибольшим при pH около 7<sup>1</sup>.

## Общая микробиология почвы

Исследования, о которых упоминалось на предыдущих страницах, неизменно указывают на присутствие в почве организмов, проводящих в ней свою жизнь и вызывающих изменения коренной важности для плодородия почвы.

В эти группы организмов входят водоросли, грибы, актиномицеты, бактерии протозоа и более крупные формы. Несмотря на значительные различия между этими организмами, у них имеются некоторые общие свойства в их жизни в почве, причем обнаруживаются известные взаимоотношения, могущие, повидимому, быть использованными в с.-х. практике.

Для каждого из этих организмов, за исключением может быть грибов, существует группа, встречающаяся в почве в трофи-

и подвержены растворению в почвах с большой емкостью поглощения кальция. См. также E. J. Salisbury, Journ. Linn. Soc. Botany, 1924, 46, 413—425.

<sup>1</sup> W. R. G. Atkins and M. V. Lebour, Sci. Proc. Roy. Dublin Soc., 1923, 17, 233—240.



ческой (активной) форме настолько обычно, что ее можно рассматривать как определенную почвенную флору или фауну. Эти группы в совокупности составляют почвенное население.

Насколько известно, состав почвенного населения в различных частях света обнаруживает замечательно мало вариаций. Характерные группы водорослей, бактерий и особенно протозоа оказываются такими же в арктике, какими они бывают в умеренном и тропическом климатах, не замечается никаких особенностей, соответствующих географическому распределению растительных и животных групп. Причины такого постоянства почвенного населения следует искать отчасти в природе самих организмов, отчасти же в почве, как жилище их. Возможно, и даже вероятно, что микроорганизмы менее чувствительны к влиянию внешних условий, чем более крупные формы. Известно, что на глубине от 2 до 7—8 дюймов ниже поверхности почвы биологические условия варьируют меньше, чем на самой поверхности: температура бывает более ровной (стр. 401), а воздух почти всегда влажен и близок к насыщенности; не наблюдается заметной разницы в степени влажности, которая, по мнению Шельфорда<sup>1</sup>, влияет на распределение наземных животных и, по данным экологов, оказывает значительное влияние на распределение растений.

Хотя главные группы остаются одни и те же, но относительная численность их, повидимому, изменяется, образуя новые комбинации, напоминающие экологические сообщества высших растений. Весьма вероятно, что реакция почвы играет здесь роль наиболее мощного фактора; но все же остаются такие явления, как, например, взаимное исключение (*Noegleria* и *Hartmanella* (стр. 353), которые еще не могут быть объяснены.

Трудно составить себе представление о том, что такое почвенное население в целом и как оно живет, т. е. представить себе то впечатление, которое мы получили бы, если бы уменьшились до размеров микроорганизмов и сделали бы экскурсию в почву. Если бы метод окрашивания мог быть усовершенствован настолько, чтобы дать прямую картину, он оказался бы очень ценным. Статистический метод (стр. 331) дает количественные указания, но, за исключением протозоа, он является несостоятельным при выявлении фаз жизненного цикла, на которых находятся данные организмы. Бактерии несравненно многочисленнее всех других обитателей почвы, но они самые мелкие; амёбы менее многочисленны, но каждая из них в тысячу раз крупнее бацилл. Поэтому более верное представление о почвенном населении получается в том случае, если мы основываем наши вычисления не только на численности организмов, но и на их массах. Необходимо некоторые предположения относительно формы, однако

<sup>1</sup> V. E. Shelford, *Animal Communities in temperate America*, Chicago, 1913; а также в *Journ. Econ. Entomol.*, 1914, 7, 229.



ные по этому предмету мало достоверны, хотя цифры, данные в таблице 93 (стр. 353), может быть, недалеки от истины; в нейтральных почвах главную массу по весу составляют бактерии, за которыми идут простозоа и затем водоросли. Грибы в настоящее время более трудно поддаются определению, чем другие; общий с них может приближаться к бактериям, а в кислых почвах может быть и выше. Наша концепция о населении была бы более верной, если бы оказалось возможным принять в соображение подвижность организмов и учесть скорость, с которой они движутся в почве, осуществляя свои изменения. Ни один из этих методов не показывает относительной важности организмов в качестве активных факторов в почве, что в конце концов является предметом особенного интереса, поскольку это касается роста растений. Повидимому, единственным путем к достижению этой цели было бы сравнение преобразуемой энергии с количеством всего населения или же (что может быть проще, но является менее достоверным способом) сравнение количества разлагаемой  $\text{CO}_2$  или поглощаемого кислорода каждой группой с количеством всего населения.

Общими потребностями почвенных организмов являются те же, что и у растений, а именно, энергия, питательные вещества, вода, температура, воздух и отсутствие вредных условий. Огромная разница наблюдается в источниках энергии. Растения добывают свою энергию из солнечного света, фиксируя ее при помощи хлорофилла, между тем как почвенное население добывает ее из ранее образовавшихся растительных тканей, внесенных в почву естественным образом или искусственно, как это бывает в культурных почвах. Эта зависимость от органического вещества в почве, получающегося из растительных остатков, и является связующим звеном для всех членов почвенного населения. Некоторые из этих членов, как, например, водоросли и зеленые жгутиковые (*Euglena* и пр.), снабжены хлорофилловым аппаратом и могут утилизировать энергию солнечного света, но они почти не зависят от этого свойства и всегда сохраняют привычку добывать энергию из почвенного органического вещества.

Не все организмы получают для себя энергию из органического вещества одним и тем же способом. Существует целая цепь процессов разложения; одни организмы выполняют одну часть его, а другие другую; так, например, при разложении протеина некоторые организмы доводят азот до стадии аммиака, между тем как другие окисляют аммиак. За немногими исключениями эти реакции бывают неизменно связаны с одной группой организмов, но наблюдается значительная взаимозаменяемость. Этим рядом процессов управляет один неизменный закон: при помощи окисления данного веса органического вещества можно добыть некоторое количество энергии, но не более, чем это именно количество, каковы бы ни были организмы, как бы они ни действо-

вали и ка-  
кий. Затем  
больше, ч  
Кром  
и в этом  
ключать  
треблять  
раз; ато  
мог бы  
гриба, с  
и бакте  
низмов  
пшцей.

Эн  
так же  
теплот  
или к  
рия н  
стано  
кой  
троф  
энерг  
не  
возр  
дру

ны  
ста  
ли  
го  
а  
г  
L

— бы ни протекала реакция—в одну или несколько стадий—известен такой процесс, который давал бы энергии окисление.

— того энергия может быть использована лишь один раз в отношении между пищевыми веществами и энергией существенное различие. Пищевые вещества могут по микроорганизмами последовательно бесконечное число азота, например, никогда не теряет своего значения и течение одного дня войти последовательно в состав циллы, разложившей гриб, амебы, съевшей бациллу, ии, разложившей мертвую амебу; для всех этих организмов и тот же атом азота оказался бы вполне пригодной

— ргия не может быть использована таким же образом. Она не уничтожаема, как и материя, но, раз превратившись в , она уже не может быть использована микроорганизмами какими-нибудь другими живыми существами; какая бы энергия была выделена одним организмом, она тем самым навсегда остается недоступной для других. Отсюда следует, что никаким фактором—ни внутренний ни внешний, который влияет на биологическую жизнь в почве, не прибавляя ничего к запасам органического материала или питательных веществ в почве, может перманентно увеличивать числа всех групп; если убывает одна группа, то, по необходимости уменьшаются и другие.

Насколько известно при настоящем состоянии знаний, почвенные организмы живут как раз постольку, поскольку для них достаточно питательных веществ и снабжения энергией. Всякое увеличение количества усвояемого органического вещества, являющегося источником энергии, сразу ведет к большому повышению активности всего населения, а также числа индивидуальных групп организмов. Это сопровождается поглощением аммиака и нитратов из почвы для снабжения их азотом. Из двух делянок одна из которых получает навоз, а другая не получает, неудобренная делянка всегда содержит меньше организмов не только по общей численности населения, но и по количеству видов экземпляров внутри каждого вида. Делянки, получающие только искусственные удобрения, но не получающие органического вещества, содержат население бактерий и простейших, сходное по количеству и характеру с удобренной землей, хотя здесь имеется больше грибов. Таким образом, снабжение энергией и питательными веществами становится главным фактором, определяющим число организмов в почве. Точное определение количества энергии, доступной микроорганизмам в данном весовом количестве почвы, явилось бы одной из наиболее важных величин в почвенной микробиологии. Однако для определения ее до сих пор еще метода не имеется. Сжигание в калориметре дает

количество, но не указывает, какая часть его может быть усвояемой.

Некоторое определение количества энергии, превращенной за известный данный период, может быть получено определением общего количества в начале и в конце; величины для двух де-лянок Бродбока даются в таблице 95<sup>1</sup>.

Таблица 95

## Годичное изменение энергии в почве Бродбока

(Величины только приблизительные. В миллионах килокалорий на акр'в год)

|                                  | С внесением<br>навоза | Без навоза |
|----------------------------------|-----------------------|------------|
| Внесено с навозом . . . . .      | 14                    | 0          |
| » жнивьем . . . . .              | 2                     | 0,3        |
| Всего внесено . . . . .          | 16                    | 0,3        |
| Чистая потеря почвой . . . . .   | 0                     | 0,5—1      |
| Удержано почвой . . . . .        | 0,5—1                 | 0          |
| Рассеивается за год . . . . .    | 15                    | 1          |
| » » день (калорий) . . . . .     | 41 000                | 2 700      |
| Эквивалент потребности . . . . . | 12 чел.               | 3/4 чел.   |
| Выращивается пищи для . . . . .  | 2 »                   | 1/2 »      |

Другим фактором одинаковой важности с общей численностью населения почвы является темп, при котором энергия становится доступной для организмов, когда все условия благоприятны. Но для определения этого ни один из существующих методов невозможен.

Мы можем мыслить себе разные группы почвенных организмов как находящиеся в состоянии подвижного равновесия, которое постоянно изменяется в результате изменений в самих организмах, как, например, при прохождении ими жизненного цикла, и как результат действия любого фактора, благоприятствующего одному организму или одной жизненной стадии более, чем другому. Но все эти явления строго управляются законом, что энергия не может быть использована дважды; то, что взял один организм—не может быть взято другим.

Увеличение численности почвенного населения в результате добавления энергетического материала не является однородным для всех организмов, но зависит от природы внесенного вещества и в особенности от количества присутствующего азота. Это можно заметить по внешнему виду пластинок: новые колонии.

<sup>1</sup> См. также F. H. N. van Suchtelen, Centr. Bakt., Abt. II, 1923, 58, 413—430.



отделяющиеся из взрослого числа бактерий, явно принадлежат только одному или двум видам организмов. К такому же заключению пришел и Виноградский. В бедной неудобренной почве Института de Brie-Comte-Robert он нашел лишь немного активных организмов: 3 или 4 вида кокков, немного азотобактера, немного мицелия актиномицетов и случайные дрожжи, но не нашел ни бацилл ни плесеней. Найденные им организмы были единственные живые существа; он называет их нормальным населением для данной почвы.

Внесение искусственного препарата гумуса дало возрастание общей численности, но не новых форм; флора оставалась такой же ограниченной, как и раньше. Внесение же углеводов или протеина вело к быстрому изменению типа населения; с питием после инкубации при 30° С в течение одной ночи первоначальное население исчезло и заменилось двумя видами бацилл в громадном количестве. Внесение крахмала сопровождалось большим возрастанием численности, но организмы были только двух родов—бацилла и мицелий актиномицетов<sup>1</sup>. Однако спустя короткое время население возвращается к нормальному типу. Заслуживает внимания, что гумус один дал общий подъем всего нормального населения, как это случается и при повышении содержания органического вещества в нормальных почвах.

Органические вещества разлагаются в почве микроорганизмами двумя различными путями: они могут ассимилироваться и метаболизироваться организмами, причем выделяются более простые продукты, или же они могут подвергнуться полному разложению, с выделением углекислоты. Д. В. Кутлер и Л. М. Крэмп<sup>2</sup> находят, что ход разложения изменяется с возрастом культур и их состоянием в отношении репродукции. Более старые культуры ассимилируют органические вещества, пока происходит репродукция, но начинают превращать их в углекислоту, с прекращением репродукции; с другой стороны, молодые культуры производят оба процесса одновременно, выделяя больше всего углекислоты во время наиболее активной репродукции их. Одной из многообещающих сторон исследования микробиологии почвы является термодинамическое изучение различных изменений. Интересное начало было положено Gillespie<sup>3</sup>, который ввел понятие окислительно-восстановительных потенциалов, а также Г. А. Линхартом<sup>4</sup> и Дином Берком (стр. 299).

Организмы в почве не работают независимо одни от других. Действие их перекрещивается в двух различных направлениях.

<sup>1</sup> Висман показывает, что прибавление пеллюлозы или соломы вызывает значительное возрастание грибов, в особенности в легких кислой среде.

<sup>2</sup> Ann. Applied Biology, 1929, 16, 472.

<sup>3</sup> Soil Biol., 1926, 9, 199; см. также Malcolm Dixon, Proc. Roy. Soc. 1927, B., 161, 57.

<sup>4</sup> Journ. Gen. Physiol., 1926, 2, 241.



Конкуренция их жестока, и этот факт иногда очень затрудняет культуру на пластинках вследствие того, что среда настолько изменяется, что ограничивает рост даже после того, как он продвинулся достаточно далеко. Но в противовес этому является обычным и симбиоз, и соединенные действия—может быть, точнее сказать—последовательные действия, встречаются в почве как нормальное явление. Побочные продукты или продукты жизнедеятельности одного организма, если они представляют собой нечто более сложное, чем  $\text{CO}_2$  и воду, становятся точкой отправления для деятельности других организмов, и эта деятельность продолжается теми или другими организмами почвенного населения до тех пор, пока имеется потенциальная энергия окисления в продуктах, но не дольше. До сих пор не замечалось явных доказательств замедления деятельности микроорганизмов в нормальных почвах (вследствие накопления продуктов, способных окисляться), соответствующего такому замедлению в культурах. В почвах не было открыто никаких «бактериотоксинов» и ничего вызывающего на «автоинтоксикацию», наблюдаемую в чистых культурах<sup>1</sup>. Продукты, которые могли бы вызвать эти эффекты, быстро атакуются другими организмами; окончательными продуктами являются  $\text{CO}_2$  и нитраты, а то и другое легко удаляются из почвы.

Замечательным свойством почвенного населения, обычного для всех групп, является то, что с возрастанием числа индивидуумов возрастает и число видов. Это составляет резкий контраст с поверхностной растительностью. На ротаметедских травяных делянках неудобренная почва несет на себе наибольшее число видов растений, но ни один из них не растет энергично; без сомнения, плохой рост всех их дает шансы выживания для многих и мало приспособленных к данным условиям. Всякая схема удобрения, увеличивающая рост растений, ведет к дифференциации: некоторые виды развиваются лучше, чем другие, и, разрастаясь, вытесняют своих менее энергичных соседей; таким образом, удобряемые делянки, неся на себе большее количество и более крупные индивидуумы, имеют вместе с тем и меньшее количество видов.

Одним из наиболее поразительных свойств почвенного населения, проявляемым всеми группами, исследование которых возможно, является то, что число бактерий не остается постоянным. даже, по видимому, при постоянных условиях, а непрерывно колеблется. Имеется еще некоторая неуверенность, происходит ли это только с группами, выделенными из почвы, или же когда все группы находятся в почве вместе. Кутлер показал, что амёбы и жгутиковые колеблются в числе в условиях культуры. Однако же бактерии всегда присутствуют, будучи единственной пищей изучае-

<sup>1</sup> H. B. Hutchinson and A. C. Thaysen. Journ. Agric. Sci., 1918, 9, 43.

мых организмов. Причина этого несомненно внутренняя и, возможно, связанная с репродукцией. С другой стороны, бактерии не показывали колебаний в числе, когда выращивались одни в стерилизованной почве. Они достигали высокой численности и оставались приблизительно на постоянном уровне, однако число их падало, как только в почву вводились амебы, но никакой постоянный уровень при этом не устанавливался, и взамен этого происходили непрерывные колебания, как и в нормальной почве (табл. 96).

Таблица 96

Число бактерий в почве, когда они живут одни и в присутствии амеб Кутлер<sup>1</sup>

| Число дней после инокуляции | Бактерии<br>одни | Бактерии<br>+ амебы | Число дней после инокуляции | Бактерии<br>одни | Бактерии<br>+ амебы |
|-----------------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|
| 0 . . . . .                 | 13,0             | 12,2                | 8 . . . . .                 | 165,2            | 65 8                |
| 1 . . . . .                 | 48,6             | 35,4                | 15 . . . . .                | 169 2            | 72,8                |
| 2 . . . . .                 | 97,6             | 117,2               | 16 . . . . .                | 174,8            | 30,2                |
| 3 . . . . .                 | 127,0            | 178,4               | 17 . . . . .                | 175,6            | 53,2                |
| 4 . . . . .                 | 154,8            | 154,4               | 18 . . . . .                | 168,4            | 82,8                |
| 5 . . . . .                 | 196,8            | 177,0               | 19 . . . . .                | 160,4            | 43,8                |
| 6 . . . . .                 | 214,8            | 151,8               | 20 . . . . .                | 171,2            | 70,8                |
| 7 . . . . .                 | 193,4            | 75,6                | 21 . . . . .                | 176,2            | 28,2                |

Многие бактерии колеблются в числе, даже если они одни. Торнтон и Гангули (1926) показали, что число *Bacillus radicicola* в стерилизованной почве колеблется непрерывно, и они проследили изменения до таких обстоятельств, когда в течение одной части жизненного цикла репродукция происходит двойным делением, а в течение другой части цикла—многократным делением (рис. 39, стр. 306). Эти результаты на первый взгляд представляют варианты результатов Кутлера, но нет необходимости в обязательном совпадении тех и других. Среда Кутлера не дала бы возможности развиваться *Bacillus radicicola*, между тем как он являлся единственным организмом, испытывавшимся Торнтоном и Гангули; кроме того каждая из отдельных разновидностей бактерий в его смешанных культурах могла давать колебания в небольших пределах в то время, как общее число могло оставаться довольно постоянным.

Ведет ли себя большинство бактерий в почве подобно *Bacillus radicicola* или подобно формам, находившимся в опытах Кутлера, но несомненно, что в полевой почве они колеблются, и колебания их падают в тесном, но обратном отношении к амебам, что за-

<sup>1</sup> Ann. Applied Biology, 1923, 10, 137—141.

висит, как предполагают, от того, что амёбы питаются ими (стр. 355). Если мы можем допустить, что количество живых организмов в почве определяется снабжением энергией и пищей, то отсюда должно следовать, что всякое увеличение в одной группе, не сопровождаемое увеличением энергетического материала, должно подавлять число ближайших конкурентов. В свою же очередь эта группа может позволить размножаться и третьей группе.

Над этими ежедневными колебаниями стоят крупные сезонные изменения; для всех групп, насколько это изучено, замечается тенденция к увеличению числа и высшей активности весной и осенью; меньшее же число и более слабая активность соответствуют зиме и лету. Так, например, Т. М. Захарова, работая с подзолом, нашла пики в числе *B. Stutzeri* в конце мая и снова в августе<sup>1</sup> и Н. Г. Потанов получил подобные же колебания на черноземной почве<sup>2</sup>. Дж. К. Вильсон получил пики в октябре и снова в июне для двух видов *Rhizobium*<sup>3</sup>.

До настоящего времени еще не было найдено удовлетворительных объяснений этих колебаний. Изменения в снабжении водой и в температуре не оказывают никакого существенного эффекта на число какой-либо из изучавшихся групп (стр. 348). Старки (стр. 440) связывает сезонные колебания с изменениями в активности корней растения.

Единственный известный фактор, способный одинаково повышать число всех бактерий,—это снабжение энергией, и явления, повидимому, происходят как раз так, как будто бы в почву вносились добавочные запасы энергии весной и осенью, но не летом и зимой. Причина может лежать и гораздо глубже; водородли в озерах и реках в значительной степени колеблется тем же путем, будучи более многочисленными весной и осенью, и между этими явлениями может существовать связь<sup>4</sup>. Аткинс и Харрис<sup>5</sup> показали, что в лужах и мелких прудах рН воды также колеблется по сезонам, будучи более высоким (т. е. щелочным) весной и осенью и более низким зимой и летом. Подобные же изменения наблюдались в почве К. Борешем и Р. Крейц<sup>6</sup>, кривые которых для колебания величин рН имеют большое сходство с кривыми Расселя и Апплеярда (1917) для выделения  $\text{CO}_2$ <sup>7</sup>.

Хотя колебания в снабжении водой и в температуре не оказывают определенного влияния на численность почвенных микроорганизмов, но общая активность населения, поскольку о ней мо-

<sup>1</sup> Труды НИУ, Москва, 1929, № 60.

<sup>2</sup> Ibid., № 76, 92.

<sup>3</sup> Soil Sci., 1930, 30, 289.

<sup>4</sup> См. W. H. Pearsall, Journ. Ecology, 1923, 11, 165.

<sup>5</sup> Notes from Botanical School of Trin. Coll. Dublin, 1922, 3, 281.

<sup>6</sup> Fortschr. Landw., 1928, 3, 963—968.

<sup>7</sup> Сезонные колебания в величинах рН почвы констатированы рядом американских наблюдателей.

жно судить по темпу поглощения кислорода, выделения  $\text{CO}_2$  и продукции нитратов, повышается с повышением в снабжении водой или в температуре до известного оптимального предела, как можно было ожидать а priori<sup>1</sup>. Так, например, для мелового су-  
глинка были получены следующие результаты<sup>2</sup>.

| Влажность почвы                                  | Роздушно-сухая (7.4%) | Доведена до 20% | Доведена до 25% |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| Кислород, поглощенный за 23 дня (в мг) . . . . . | 6,5                   | 21,67           | 27,7            |

Эффект на производство нитратов показан в таблице 97 и на рисунке 46.

Таблица 97.

Эффект температуры хранения почвы на число бактерий и производство нитратов. Расселл и Хэчинсон (1913)

| Температура хранения | Бактерии, «взвешены» на 1 г сухой почвы |               |               | Нитраты в аммиак, частей на миллион сухой почвы |               |               |
|----------------------|-----------------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------|---------------|---------------|
|                      | В начале                                | Через 10 дней | Через 50 дней | В начале                                        | Через 10 дней | Через 50 дней |
| 7-12° . . . . .      | 16                                      | 16            | 16            | 17                                              | 18            | 22            |
| 20° . . . . .        | —                                       | 12            | 21            | —                                               | 16            | 30            |
| 30° . . . . .        | —                                       | 15            | 14            | —                                               | 24            | 36            |
| 40° . . . . .        | —                                       | 9             | 14            | —                                               | 55            | 76            |

Если изменения в температуре или в снабжении влагой переходят степень терпимости какой-либо группы организмов, то эта группа выводится из действия, и остающиеся приходят в новое равновесие, увеличиваясь в числе, если снабжение энергией допускает это. Эти явления более подробно обсуждаются на стр. 380.

Эффективность индивидуальных членов населения почвенных микроорганизмов падает, по мере повышения числа их. На рисунке, 47 показаны результаты, полученные Кутлером и Крэмпом: общее количество разложения возрастает с увеличением числа, но не пропорционально. Никакого объяснения этому еще нельзя дать, но это явление, повидимому, представляется общим<sup>3</sup>.

Различные почвы широко различаются по своей способности нести население микроорганизмов: из двух делянок в Ротамстеде

<sup>1</sup> E. M. Delf, New Physiologist, 1915, 14, 63 (пруды Хеммстада); W. and G. S. West, Journ. Linn. Soc. Bot., 1912, 40, 395 (английские озера); C. A. Koford Bull. Ill. State Lab. Nat. Hist. 1903, 1908 (река Иллинойс); W. R. G. Atkins and G. T. Harris, Proc. Roy. Soc., Dublin, 1924, 18, 1-21.

<sup>2</sup> E. J. Russell, Journ. Agric. Sci., 1906, 1, 266.

<sup>3</sup> Данные эффективности и темпов размножения для *Drosophila* см. Raymond Pearl, The Biology of Population Growth, 1926. Эффективность и производство аммиака см. Jane Meiklejohn, Applied Biology, 1930, 17, 614.



одна получает навозное удобрение ежегодно и имеет бактериальное население, превышающее 4 000 млн. на грамм, в то время, как соседняя делянка без удобрения или удобряемая только неорганиче-

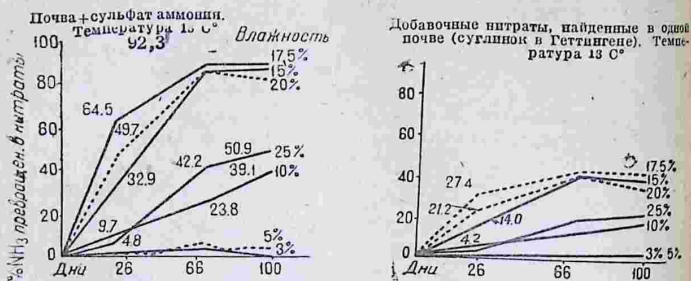


Рис. 46. Эффект влажности на процесс нитрификации в почве (Тгаасен).

скими солями имеет менее 1 000 млн. В различных исследованных почвах, поскольку они несут одинаковое количество бактерий, по-

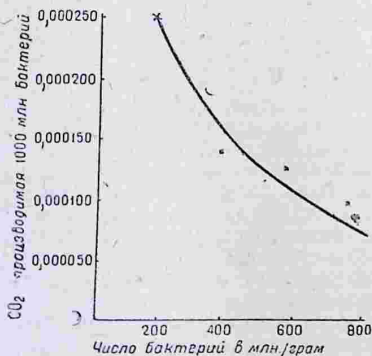


Рис. 47. Отношение между эффективностью бактерий и числом их (Cutler и Stump, —Ann. Applied Biology, 1929, 16, стр. 479).

следние производили, в сравнимых условиях, приблизительно одинаковое количество CO<sub>2</sub> на индивидуальную единицу независимо от разницы в способе удобрения.

Эффект реакции почвы на почвенное население различен для различных членов его. Некоторые бактерии, как и некоторые из более крупных организмов, в особенности дождевые черви и улитки, подвержены наибольшему влиянию почвенной кислотности, тогда как грибы и простозоа, повидимому, гораздо меньше. Внутри каждой группы влияние на отдельных членов весьма различно. Таким образом, колебания кислотности вызывают изменение флоры; обычные пределы выносливости к кислотности для некоторых из обыкновенных организмов показаны в следующей таблице.

| Организмы                           | Терпимый минимум pH | Автор                         | Библиографическая ссылка                                                           |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Nitrosomonas . . . . .              | 3,9                 | T. Gaarder и O. Haagem        | Bergens Museum Aarborg, 1922—1923. № 1                                             |
| Nitrobacter . . . . .               | 3,9                 | C. S. Meek и C. B. Lipman     | Journ. Gen. Physiol., 1922, 5, 195—204                                             |
| Azotobacter . . . . .               | 5,6                 | U. Yamagata и A. Itano        | Journ. Bact., 1923, 8, 521—531                                                     |
| Bact. radicola . . . . .            | 3,1—5,0             | E. B. Fred и A. Davenport     | Journ. Agric. Res., 1918, 14, 317—334                                              |
| B. subtilis . . . . .               | 4,2                 | A. Itano                      | Mass. Agric. Exp. Sta. Bull., 167, 1916                                            |
| Thiobacillus thio-oxidans . . . . . | <1,0                | S. A. Waksman и R. L. Starkey | Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 1922, 20, 9—14, Journ. Gen. Physiol., 1923, 5, 285—310 |
| Организмы, разлагающие целлюлозу:   |                     |                               |                                                                                    |
| Vibrio prima . . . . .              | 6,0                 | H. L. Jensen                  | Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 81—100                                               |
| Vibrio agarliquefaciens             | 6,4                 |                               |                                                                                    |
| Vibrio bulbosa . . . . .            | 6,8                 |                               |                                                                                    |

Активность почвенного населения бывает наибольшей приблизительно при нейтральной реакции (pH 7), но некоторое действие продолжает возрастать при дальнейшем прибавлении карбоната кальция. В особенности возрастает нитрификация, но, повидимому, не аммонификация. Число организмов также является наибольшим около pH 7. Следовательно, внесение извести в кислую почву не обязательно повышает количество нитратов; в опытах как Стивенсона<sup>1</sup>, так и Холла<sup>2</sup> известкованная почва обычно содержала нитратов меньше, чем неизвесткованная, как пужно предполагать, вследствие уменьшения аммонификации и повышения ассимиляции нитратов добавочными организмами. Гессельман<sup>3</sup> нашел, что ам-

<sup>1</sup> R. E. Stephenson (Kentucky), Soil Sci., 1921, 12, 133—144.

<sup>2</sup> G. D. Hall (Potchefstroom), ibid., 301, 363. О разнице действия окиси и карбонатов кальция см. Хэтчинсон и Мак-Леннан, Journ. Agric. Sci., 1914, 6, 302.

<sup>3</sup> Medd. fran. Stat. Scogsfors., 1926, 22, 169—552.

монификация в шведских лесных почвах была наиболее активной между рН 4,5 и 5, тогда как максимум нитрификации был при рН 6 и более. Сравнивая почвы с различным содержанием кальция, он нашел максимум нитрификации, когда присутствовало 2,0—2,5 % CaO.

Эффект растворимых солей и почвенных щелочей на микроорганизмы в почве много изучали в западных штатах (США): С. В. Лиршан в Калифорнии (1912), J. E. Greaves и его сотрудники в Юта (1916—1922) и W. G. Sacket и Collins в Колорадо. Растворимые соли, сверх известной концентрации, являются вредными; действительно, измеряя понижение активности микроорганизмов (пользуясь как мерой активности производством  $\text{CO}_2$ , аммонификацией и т. д.), можно дать некоторое определение способности щелочной почвы к производству урожая пшеницы<sup>1</sup>. Более низкие концентрации определенно стимулируют действие всех изучавшихся организмов. Степень стимуляции и критические концентрации, за пределами которых повышение наносит вред, для разных организмов колеблются весьма сильно. Азотобактер наиболее вынослив; следом идут разные аммонификаторы и наименее выносливыми являются нитрифицирующие организмы. Молодые ростки пшеницы по выносливости занимают среднее место между аммонификаторами и нитрификаторами. Различные соли варьируют по своим эффектам; в общем, наиболее токсичны хлориды, тогда как нитраты, сульфаты и карбонаты последовательно менее и менее токсичны для аммонифицирующих организмов; однако для нитрификаторов порядок почти обратный, а именно:  $\text{CO}_3$  (наиболее токсичный)  $> \text{NCl}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}^2$ . Обычно, чем более токсична соль, тем выше ее стимулирующая способность при низких концентрациях. В таблице 98 приведены типичные результаты, полученные Гривсом и его коллегами; эффекты, однако, не отличаются постоянством, но изменяются в зависимости от почвы и других условий.

**Движение организмов в почве.** Торнтон и Гангули (1926) с успехом применяли метод Виноградского для изучения темпов движения микроорганизмов в почве. *Bacillus radialis*, с которым они только и экспериментировали, перемещался при благоприятных условиях со скоростью 1 дюйма в 24 часа, что подтверждают и прежние определения порядка около 1 дюйма в 24 часа в естественных почвах. Применяя подобные же методы при смесях бактерий и протозоа, Л. Лозина-Лозинский и П. Ф. Мартынов<sup>2</sup> показали, что *Amoeba Vahlkamfii* двигалась несколько медленнее, чем бактерии, а реснитчатые еще медленнее, в нормальных условиях влажности—15—20 % влаги, что соответствует 25—40 % полной

<sup>1</sup> J. H. Barnes and Barkat Ali, Agric. Journ. India, 1917, 12, 368. См. также S. M. Nazir, Pusa Bull., 145, 1923.

<sup>2</sup> Рассмотрение в отношении токсичности к осмотическому давлению см. J. E. Greaves, Bot. Gaz., 1922, 73, 161—180.

<sup>3</sup> Soil Sci., 1930, 29, 349.

агоемкости. При более высоком содержании влаги все простозои, включая и реснитчатых, проявляют более активную подвижность. Кутлер (1919) сделал некоторые интересные наблюдения над отношениями между простозою и почвой, которая, как мы уже видели, содержит коллоидальные материалы, — алюмосиликаты, окиси железа, алюминия и кремния, органическое вещество, питательные соли и т. д. Он показал, что простозои прочно прилипают к частицам почвы и не могут быть отмыты от них; 1 г ротамstedской почвы способен прочно удерживать 1—1½ млн. простозою — число, далеко превосходящее имеющуюся естественную численность их. Замечается, однако, любопытное явление, когда в почву вводятся более значительные количества простозою или когда почва встряхивается с суспензией простозою. До некоторой определенной точки они прочно поглощаются, за пределом этой точки остальные простозои остаются непоглощенными; явление это настолько же резко, как явления титрования, и совершенно отличается от обычной абсорбции, когда определенной конечной точки не имеется. Но и после насыщения, по видимому, в почве остается еще масса места для них. Поверхность 1 г ротамstedской почвы мы не можем измерить точно, но весьма вероятно, что она превышает 2 000 см², тогда как амебы и жгутиковые, задержанные ею, заняли бы не больше чем 4 см², если бы их расположить на плоской поверхности правильно и тесно. Почему они не могут расположиться в почве плотнее, трудно понять.

Неизвестно еще, существует ли подобная резкая «точка насыщения» также и для других организмов, так как экспериментальные затруднения для таких определений пока не преодолены.

Таблица 98

Процентное содержание разных солей в глинистой почве, необходимое для питания аммонификации, прорастания и производства азотного вещества с пищей приблизительно на половину нормы.

Д. Е. Гривз, Е. Д. Картер и Х. С. Гольдторп (1919)

|                                | Урожай прорастания до половины нормы | Аммонификация до половины нормы | Питание до половины нормы |
|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Натрий хлористый . . . . .     | 0,20                                 | 0,117                           | 0,234                     |
| Кальций . . . . .              | 0,30                                 | 0,222                           | —                         |
| Калий . . . . .                | 0,25                                 | 0,298                           | 0,298                     |
| Магний . . . . .               | 0,40                                 | 0,381                           | 0,006                     |
| Азотно-кислый калий . . . . .  | 0,40                                 | 0,697                           | 0,101                     |
| » натрий . . . . .             | 0,30                                 | 0,850                           | 0,170                     |
| Серно-кислый натрий . . . . .  | 0,55                                 | 0,852                           | 0,568                     |
| » магний . . . . .             | 0,70                                 | 0,963                           | 0,361                     |
| Углекислый натрий . . . . .    | 0,30                                 | 1,166                           | 0,212                     |
| Азотно-кислый магний . . . . . | 0,45                                 | 1,187                           | 0,074                     |
| Серно-кислый калий . . . . .   | 0,60                                 | 1,391                           | 0,349                     |
| Углекислый . . . . .           | 0,70                                 | 1,520                           | 0,138                     |



## Отношения почвенного населения к росту растений

Основные отношения между почвенным населением и ростом растения заключаются в том, что почвенное население разлагает растительные остатки в почве, в целях добычи пищи и энергии, и этот процесс, взятый в целом, является благоприятным и для растений. Растения получают пользу в трех направлениях:

1) некоторые продукты разложения—нитраты и составные части золы—являются прямой пищей растений;

2) другие продукты, включая коллоидальный гуматный комплекс, весьма улучшают физические условия почвы для растений, тогда как неразложенный структурный материал мог бы вредить этим условиям;

3) некоторые из промежуточных продуктов разложения были бы вредны, если бы накапливались в больших количествах, как, например, некоторые соединения фенола, но микроорганизмами они быстро окисляются и делаются безвредными.

Все эти действия могут быть сгруппированы как питательные и ассенизирующие.

Почвенное население оказывает также некоторый эффект на почву, улучшая ее, как среду для роста растений:

1) некоторые бактерии фиксируют газообразный азот;

2) водоросли могут увеличить запасы органического вещества.

Наряду с этим растения могут и страдать. Это может происходить двумя путями:

1) почвенные организмы берут из почвы нитраты, фосфаты и другие минеральные питательные вещества и, повидимому, способны овладевать ими более быстро, чем растения;

2) некоторые из почвенных организмов, как, например, паразитические формы, могут наносить растениям вред непосредственно.

Микроорганизмы извлекают пользу от роста растений в том отношении, что чем сильнее рост, тем больше энергетического материала приносится в почву. Но эта польза не является непосредственной, и в действительности растущее растение может даже подавлять рост микроорганизмов.

Все эти различные действия конкурируют между собой, и равнодействующей их является эффект почвенного населения на плодородие. Увеличение снабжения пищей ведет к повышению активности микроорганизмов. Hendrick<sup>1</sup>, при своих лизиметрических опытах, нашел, что количество нитратов, получающееся из почвы и измеряемое количеством образовавшегося аммиака, бывает больше на почвах, получающих значительное количество искусственных удобрений, чем на почвах неудобренных. За период свыше 15 месяцев получены были следующие количества фунтов на акр:

<sup>1</sup> Scottish Journ. Agric., 1924, 7, 18—18. Газницы обычно бывают меньше, чем приведенные.

|                                                   | Без внесенн<br>удобрения | Внесен суль-<br>фат аммония | Сульфат ам-<br>мония и су-<br>перфосфат | Сульфат ам-<br>мония, су-<br>перфосфат и<br>хлористый<br>калий |
|---------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Общий азот в урожае и дренажной<br>воде . . . . . | 193                      | 774                         | 792                                     | 776                                                            |
| Нитраты, внесенные с удобрением . .               | —                        | 475                         | 475                                     | 475                                                            |
| Нитраты, взятые из почвы . . . . .                | 193                      | 299                         | 317                                     | 301                                                            |

Сезонные колебания, которые являются характерной чертой изменений численности организмов, столь же явно выражаются и для продуктов их деятельности. Продукция  $\text{CO}_2$  и нитратов происходит более быстро весной и осенью, менее быстро зимой, а иногда и летом<sup>1</sup>. Замечаются также и вытекающие отсюда изменения в основаниях, хотя они еще недостаточно изучены. В особенности хорошо проявляется весенняя деятельность, которая отмечается и в традициях садовников и земледельцев с незапамятных времен<sup>2</sup>. Она изучалась Ленисом и Сабашниковым в Лейпциге<sup>3</sup>, а также Мюнцем и Годешоном (1912) под образным названием «Le réveil de la nature». Рисунок 29 (стр. 211) показывает результаты, полученные в Ротамстеде. Leather в Индии (1912) и Иенсен<sup>4</sup> в Южной Дакоте получили сходные результаты. Явные доказательства пониженной активности летом еще не так убедительны, как очевидность повышенной активности весной. Число пунктов, где производились эксперименты, еще невелико.

Изменения в содержании нитратов в почве важны в связи с тем (стр. 40, 436), что растения усваивают большую часть своего азота в ранние дни своего роста.

Но если отойти от крупных общих контуров, то детали этих отношений оказываются весьма сложными. Среди наиболее интересных результатов можно отметить иногда наблюдаемые любопытные обратные отношения активности, которые делают путь догматиков в почвенной микробиологии весьма скользким. Так, например, внесение органического вещества с содержанием около 4—5% азота обычно сопровождается повышением образования нитратов и способствует плодородию. Но если органическое вещество содер-

<sup>1</sup> Russell and Appleyard (1917); H. Reinau, Zeit. Ver. deut. Ingenieure, 1925, 69, 720. См. также Boresh и Kreyzi, Fortsch. Landw., 1928, 3, 963.

<sup>2</sup> Ср. Virgil, Georgics, Bk. II, 324—237: «vere tument terrae et genitalia semina poscunt, tum pater omnipotens fecundis imbribus aether conjungis in gremium laetae descendit et omnis magnus alit magno commixtus corpore fetus».

<sup>3</sup> Centr. Bakt., Abt. II, 1908, 20, 322, а также Löhnis, Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie, 1910, Berlin.

<sup>4</sup> C. A. Jensen, U. S. Dept. of Agric., Bureau of Plant Indust. Bull. 173, 1910.

жизни только 1 или 2% азота, то может произойти поглощение уже имеющихся в почве нитратов и понижение плодородия; понижение это является только временным, но совершенно ясным. Другой пример: в нейтральных почвах в умеренном климате *Bacillus radicicola* является наиболее активным фиксатором азота, а азотобактер относительно неактивен, поэтому люцерна обогащает почву азотом, тогда как пшеничное жнивье не обогащает. С другой стороны, на щелочных почвах в жарком климате азотобактер чрезвычайно стимулируется, в противоположность *B. radicicola*, и поэтому пшеничное жнивье обогащает почву азотом, тогда как люцерна едва оказывает какой-либо эффект (стр. 304, 320). Еще более замечательными являются разительно неожиданные результаты воздействий на почву, рассчитанных на подавление трофической жизни, как, например, высушивание, обработки ядами, нагревания и т. д. Вместо понижения активности микроорганизмов эти воздействия имеют тенденцию усиливать ее, по крайней мере для некоторых групп (стр. 379).

Относительная простота эффектов влажности и температуры на количество разложения, если их изучать только в главных чертах, и затруднения, встречающиеся при углублении в детали, являются причиной того, что попытки проследить простые взаимоотношения между специфической активностью микроорганизмов и плодородием почвы не увенчиваются полным успехом. Простейший случай представляют почвы, различающиеся только по содержанию своего органического вещества; если они сравнимы в других отношениях, то разница в числе микроорганизмов или в количестве их продуктов довольно близко совпадает с различием в плодородии их. Почвы, различающиеся по реакции, также проявляют взаимоотношения между активностью микроорганизмов и плодородием, равно как и почвы, различающиеся по содержанию фосфатов, хотя в последнем случае в меньшей степени.

### Микробиологический анализ почвы

Отношение между почвенными микроорганизмами и плодородием почвы привело к развитию микробиологических методов исследования почвы. Применяются методы двух типов.

1. Методы, предполагающие причинную зависимость между плодородием почвы и активностью микроорганизмов; сюда относятся определение способности населения почвы вызывать известные процессы, как, например, образование аммиака или нитратов.

2. Методы, не предполагающие причинной зависимости, но основанные на признании того, что почвенные микроорганизмы имеют те же общие потребности, что и растения. Почвы, на которых растения растут хорошо, являются в то же время почвами высокой микробиологической активности, что характеризуется темпом поглощения ими кислорода (Рэссель, 1905, 1907). Таким образом,



Вместо постановки вегетационных опытов с растениями для определения в почве недостатка питательных веществ было бы достаточно делать опыты культуры бактерий, которые можно производить гораздо быстрее и которые требуют гораздо меньше места.

Первая группа методов является более ранней, и, как уже было отмечено (стр. 329), она не дала особенно полезных результатов и была оставлена. Так или иначе, вторая группа методов оказалась очень ценной и пережила первую.

Из разных бактерий, применяемых для культур, наиболее активными являются азотобактер и нитрифицирующие организмы. В настоящее время приняты три различные практические метода.

1. **Азотобактерный метод для диагностики недостатка в извести.** Этот метод основан на чувствительности азотобактера к кислотности (стр. 304); он был введен Христенсеном в 1911 г.<sup>1</sup> и широко применялся в Дании, пока не были разработаны более удобные физико-химические методы.

2. **Потребность в фосфорной кислоте.** Азотобактер одинаково чувствителен и к снабжению почвы фосфатами и применялся Христенсеном<sup>2</sup> для разбивки почвы на группы, требующие и не требующие внесения фосфатов. Метод этот еще более был разработан Никласом<sup>3</sup>.

3. **Общие условия плодородия.** Виноградский и Земецкая<sup>4</sup> показали, что азотобактер может быть использован как показатель общих условий плодородия почвы. Далее Земецкая нашла, что для этой же цели могут служить и нитрифицирующие организмы<sup>5</sup>. Быстрота нитрификации слабого раствора сульфата аммония может служить индексом числа и активности нитрифицирующих организмов и, таким образом, позволяет группировать почвы по их реакции и их отношению к условиям азотного питания. Быстрая нитрификация встречается в почвах, богатых нейтральным органическим веществом, например, в почвах огородных; процесс идет более медленно в полевых почвах с pH выше 6.3 и является наиболее медленным в почвах кислых. Этот метод не может служить для испытания снабжения фосфатами в почве в виду того, что нитрифицирующие организмы требуют их для своего развития очень немного. Для общего обзора указанных микробиологических методов рекомендуется ознакомиться с рядом работ Ваксмана и его коллег, появившихся между 1922 и 1924 гг.<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> H. R. Christensen и O. H. Larsen, *Centr. Bakt., Abt. II*, 1911, 29, 347.

<sup>2</sup> H. R. Christensen, *Soil Sci.*, 1923, 15, 329; E. J. Petersen, *Tidskr. Planteavl.*, 1926, 32, 625. S. A. Waksman and P. D. Karunakar, *Soil. Sci.*, 1924, 17, 379.

<sup>3</sup> H. Ni las, H. Pa henrieder и A. Hock, *Centr. Bakt., Abt. II*, 66, 16.

<sup>4</sup> *Annales Pasteur*, 1928, 32.

<sup>5</sup> J. Ziemińska, *Acad. Nauk. Tech., Warsaw.*, 1930, часть 4.

<sup>6</sup> *Soil Sci.*, 1922, 14, 81, 823, 321; 1923, 15, 49, 241; 1923, 16, 55; 1924, 17, 141, 375, 379. См. также H. R. Christensen и H. L. Jensen, *Proc. Int. Soc. Soil Sci.*, 1926, 2, 309—323. *Int. Inst. Rome.*



## Влияние упрощения почвенного населения. Частичная стерилизация

Выше мы касались воздействий на почву, вредных для трофической жизни, повышающих активность выживших членов почвенного населения и в особенности бактерий.

Сравнительно слабые воздействия, как, например, высушивание почвы, нагревание до  $45^{\circ}\text{C}$ , обработка не особенно сильными ядами<sup>1</sup>, вызывают падение числа бактерий, но когда условия снова становятся благоприятными, число их сильно возрастает. Оно, однако, не остается постоянно высоким, но раньше или позднее падает до нормального уровня.

Более резкая обработка, как, например, нагревание почвы до  $50^{\circ}\text{C}$  (температура, при которой убивается большая часть трофических форм), или обработка некоторыми более крепкими ядами также причиняет падение и последующее возрастание числа бактерий по восстановлении благоприятных условий, но высокая численность при этом поддерживается перманентно. Эти явления не ограничиваются почвами, но замечаются также в песчаных фильтрах для очистки канализационных вод<sup>2</sup>. Согласно Баксману и Старки (1923), грибы также первоначально сильно угнетаются, но чрезвычайно возрастают в числе вскоре после того, как условия становятся благоприятными. Актиномицеты также сначала подавляются, хотя и не так сильно, как грибы, но они не восстанавливаются так быстро, как бактерии, хотя и быстро размножаются, если вносится целлюлеза или иной энергетический материал. Рассель и Хэтчинсон показали, что число бактерий в частично стерилизованных почвах в отличие от нормальных почв реагировало, как и следовало ожидать, на изменения в температуре и содержании влаги.

В качестве общего объяснения автор полагает, что обработка благодаря сокращению или удалению (смотря по резкости воздействия) одной или большего числа групп почвенного населения оставляет другие в условиях, более свободных от конкуренции, и поэтому делает их способными возрасти до более высокого числа, чем прежде, а также нормально реагировать на перемены внешних условий. Этому взгляду нами совместно с Хэтчинсоном

<sup>1</sup> Эффект ядов впервые был замечен Оберлином в Эльзасе (Bodenmüdigkeits u. Schwefelkohlenstoff, Mainz, 1894) и много изучался во Франции Трюфо (Truffaut), Ривьером и Пишаром (Ann. Sci. Agron., 1922, 39, 366), Мьежем и др.

<sup>2</sup> Дезинфекция песчаных фильтров ведет к повышению числа бактерий. Это наблюдалось во время эпидемии тифа в Линкольне в 1904 г., а также в экспериментальных канализационных фильтрах в Гильдфорде в 1907 г. (Houston and. Mc Gowan, Fifth Report, Sewage Commission, Appendix VI Cd. 4282, 1910, стр. 111).

(1909—1913) была придана более конкретная форма, и были приведены явные доказательства, что бактерии, считавшиеся в то время единственными живыми организмами в почве, на самом деле не были единственными, но что в почве нормально присутствовали и другие организмы, снижавшие численность бактерий. Было показано также, что этими организмами были, по всей вероятности, протозоа, и этот взгляд впоследствии был подтвержден Кутлером (стр. 354)<sup>1</sup>.

Организмы, пережившие частичную стерилизацию, вырабатывают больше аммиака и нитратов, чем первоначальное население, так что почва, обработанная методами, рассчитанными на нанесение вреда трофической жизни, выпрыгивает в плодородии; этот результат кажется парадоксальным в виду важности для плодородия почвы именно трофической жизни (табл. 99).

Эти факты были давно известны земледельцам. Нагревание почвы практиковалось в Индии с незапамятных времен. Процесс этот называется «gab» и упоминается в Ведах. Сжигание живья было известно римлянам как средство повышения плодородия почвы, и Виргилием выдвигались различные объяснения этому<sup>2</sup>. Подвергать почву солнцепеку является старинной практикой, которая до сих пор еще в ходу в Индии<sup>3</sup> и в Египте, где она известна под названием «шеракви» (Sheraqui). Этот эффект изучался Прескоттом<sup>4</sup>, показавшим, что причины его были частью микробиологические, частью физические. Лебединцев<sup>5</sup> считает, что это повторное высушивание и нагревание почвы играют немаловажную роль в поддержании ее плодородия в жарких странах. Эффект на растения во всех этих случаях описывается как сходный с эффектом азотистого удобрения.

Повышенная продукция аммиака и нитратов не является обязательным следствием увеличения числа организмов, так как, напротив, более высокое число их, например, вызванное внесением в почву безазотистого органического вещества, может понизить содержание аммиака и нитратов (стр. 276) благодаря потреблению бактериями этих веществ для своего собственного питания. Повышение продукции аммиака и нитратов представляется обособленным явлением, для которого предлагалось несколько объяснений.

<sup>1</sup> Об эффекте нафталина на население бактерий и протозоа в почвах теплиц см. S. E. Jacobs, Ann. Applied Biology, 1931, 18, 98—136.

<sup>2</sup> Georgi's, кн. 1, 84—93.

«Saepe etiam steriles incendere profuit agros, atque Ievem stipulam erepitantibus urere flammis; sive inde occultas vires et pabula terrae pingua concipiunt, sive illis omne per ignem excoquitur vitium atque exsudat inutilisumor, seu plures calor illie vias et caeca relaxat spiramenta novas veniat qua succus in herbas; seu durat magis, et venas adstringit hiantis ne tenues pluviae rapidive potentia solis acrior aut Boraеa penetrabile frigus adurat».

<sup>3</sup> A. and G. L. C. Howard, Nature, 1910, 82, 456.

<sup>4</sup> Journ. Agric. Sci., 1919, 9, 216; 1920, 10, 177.

<sup>5</sup> Soil Sci., 1924, 18, 419—447.

Таблица 99

Изменения, вызываемые в почве частичной стерилизацией. Вес и состав урожаев, выращенных на частично стерилизованных почвах.

Рассель и Дарбишир (1907)

|                                                 | Сухой вес<br>урожая (в г) | Процентный состав<br>сухого вещества |                               |                  | Вес питательных ве-<br>ществ, взятых расте-<br>нием из почвы (в г) |                               |                  |
|-------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
|                                                 |                           | N                                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                                                                  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Гречиха                                         |                           |                                      |                               |                  |                                                                    |                               |                  |
| Почва необработанная . . . . .                  | 18,14                     | 2,75                                 | 1,87                          | 5,62             | 0,499                                                              | 0,339                         | 1,019            |
| Почва обработанная сероугле-<br>родом . . . . . | 23,27                     | 3,15                                 | 2,34                          | 5,97             | 0,733                                                              | 0,544                         | 1,389            |
| Горчица                                         |                           |                                      |                               |                  |                                                                    |                               |                  |
| Почва необработанная . . . . .                  | 15,88                     | 2,3                                  | 1,00                          | 4,20             | 0,367                                                              | 0,159                         | 0,668            |
| Почва нагретая . . . . .                        | 24,33                     | 4,43                                 | 2,38                          | 5,02             | 1,077                                                              | 0,506                         | 1,221            |

Накопление аммиака и нитратов в почве, поддерживавшейся в течение 23 дней при температуре около 15°C, в слабом состоянии

Частей на миллион сухой почвы. Рассель и Хэтчинсон (1909)

|                                                                 | Процент азота аммиачного |              | Процент азота нитратного |              | Всего азота аммиачного и нитратного |              |                   |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------|
|                                                                 | Вначале                  | Через 23 дня | Вначале                  | Через 23 дня | Вначале                             | Через 23 дня | Прирост за 23 дня |
| Почва необработанная . . . . .                                  | 1,8                      | 1,7          | 12                       | 16           | 13,8                                | 17,7         | 3,9               |
| « нагретая 2 часа до 98°C . . . . .                             | 6,5                      | 43,8         | 13                       | 12           | 19,5                                | 55,8         | 36,3              |
| Почва, обработанная толуеном, который потом испарился . . . . . | 5,0                      | 27,8         | 12                       | 12           | 17,0                                | 39,8         | 22,8              |
| Почва, обработанная толуеном, который не удался . . . . .       | 7,2                      | 14,5         | 11                       | 10           | 18,2                                | 24,5         | 6,3               |

Гильтнер и Штермер (1903), впервые поставившие благоприятный эффект частичной стерилизации в связь с бактериями<sup>1</sup>, считали, что новая бактериальная флора, развившаяся после обработки, была более эффективной, чем старая при разложении протеинов. Неточность этого взгляда была доказана Расселем и Хэтчинсоном, которые восстанавливали старую флору, инокулируя частично стерилизованную почву необработанной почвой, и по-

<sup>1</sup> Более ранний исследователь А. Кох приписывал повышение продуктивности прямому стимулированию растений.

казали, что число бактерий возрастало даже выше и они производили больше аммиака и нитратов, чем это могла сделать новая флора сама по себе.

Эта идея была видоизменена С. А. Вакеманом и Р. Л. Старки (1923), которые высказали мысль, что в нормальной почве большая часть разложения протеинов производится грибами, которые ассимилируют значительную часть углерода и соответствующие количества азота; после же частичной стерилизации грибы на некоторое время подавляются, и разложение переходит к бактериям, ассимилирующим гораздо меньше углерода и азота и поэтому производящим более значительные количества аммиака. Если это предположение и не было еще окончательно подтверждено, то, во всяком случае, оно является весьма вероятным.

Рэссель и Хэтчинсон связывали повышение продукции аммиака с повышением числа бактерий, предполагая, что новая бактериальная флора не особенно отличалась от старой, и можно было ожидать, что она будет и вести себя, как старая, за исключением того, что, будучи более многочисленной, она произведет и больше разложения. Тесное взаимоотношение между числом бактерий и продукцией аммиака (или нитратов) в их опытах подкрепляло этот взгляд. Штермер высказывал мысль, что добавочные аммиак и нитраты получались от разложения бактериями организмов, убитых процессом частичной стерилизации. Однако вновь образующееся количество гораздо больше, чем то, которое соответствует нашей настоящей оценке численности почвенного населения; в почве Ротамстеда эти количества дают цифры порядка от 20 до 50 частей азота на 1 млн. частей почвы, тогда как все население бактерий и протозоя представляет только 4 части; определение же азота и в почвенных грибах является только грубо приближительным.

Эти явления осложняются тем обстоятельством, что частичная стерилизация, каким бы способом она ни была произведена, затрагивает и коллоиды и органическое вещество почвы. Эффект нагревания много изучался<sup>1</sup>. Было показано, что он вызывает значительное разложение органического вещества и, таким образом, идет несколько впереди производства аммиака и нитратов. С. Пикеринг<sup>2</sup> показал, что антисептики оказывали эффект такого же рода, только в меньшей степени.

Было много споров относительно причин повышения числа бактерий и возрастания продукции аммиака и нитратов в частично стерилизованных почвах<sup>3</sup>. На оба явления, вероятно, влияют все изменения, вызываемые частичной стерилизацией.

<sup>1</sup> См. также S. U. Pickering Journ. Agric. Sci., 3, 171, Seaver and Clark, Biochem. Bull., 1912, 1, 413, Schreiner and Lathrop, U. S. Bureau of Soils Publ. 89, 1912.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1908, 3, 32.

<sup>3</sup> Полный обзор до 1925 г. см. у Вакемана и Старки.



## ГЛАВА VII

### БИОТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПОЧВЕ

В предшествующих главах мы рассматривали растения и почву отдельно; теперь мы рассмотрим их совместно и займемся взаимоотношениями между свойствами почвы и ростом растения. Условиями, прямо и заметно влияющими на жизнь растения, которые могут быть названы главными биотическими условиями почвы, являются: снабжение воздухом и водой, температура, снабжение питательными веществами, механический состав почвы, реакция ее и, возможно, токсины.

#### Снабжение воздухом. Газообразная фаза почвы

Так как почва представляет собой порозную массу, то воздух может входить и выходить из нее как прямым током, так и благодаря диффузии. Количество входящего воздуха и быстрота вхождения зависят от порозных пространств, которые в свою очередь определяются размером, формой и расположением почвенных частиц. Но поры почвы могут удерживать также и почвенную воду, так что определение объема их дает представление только о максимальном пространстве, которое потенциально может быть занято воздухом. Пространство, фактически занятое воздухом во всякий данный момент, составляет этот максимум за вычетом пространства, занимаемого присутствующей водой.

Если бы частицы почвы имели сферическую форму, то пространство пор можно было бы изучать математически. Шлихтер показал, что оно составило бы 47% от всего объема частиц при самом рыхлом расположении их и 26%, если бы они были уложены самым плотным образом<sup>1</sup>.

Однако для естественных почв не было разработано никакого удовлетворительного математического подхода и поэтому производится лишь экспериментальная оценка. Известный объем почвы, взятый *in situ* специальным буром для взятия образцов, не

<sup>1</sup> U. S. Geol. Survey, 19th An. Rept., 1899. См. также W. B. Haines, Journ. Agric. Sci., 1925, 15, 529—535. С. Е. Marshall указывает, что это еще не является наиболее рыхлым сложением и что теоретически возможны даже более широкие пространства пор.

нарушающим структуры почвы, сушится и взвешивается. После этого определяется истинный удельный вес частиц и вычисляется объем твердого вещества. Пространство пор составляет разницу между этим объемом и объемом настоящей почвы.

В таблице 100 показано пространство пор для некоторых ротамстедских почв. Оно варьирует от 34 до 47%, что представляет цифры в пределах теоретических величин Шлихтера. Пространство пор увеличивается присутствием глины<sup>1</sup> и органического вещества, и оно выше в луговой почве, чем в пахотной, что отчасти является результатом деятельности живущих организмов.

Таблица 100

Пространство пор, содержание воды и содержание воздуха в некоторых почвах. Рэссель

|                                                                                      | Удельный вес сухой почвы |          | Объем, занимаемый в естественном состоянии |                                     | Объем воды                       |                                   | Объем воздуха                    |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------|--------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                      | Капущийся                | Истинный | Сухим веществом                            | Воздухом и водой (пространство пор) | В состоянии нормальной влажности | После периода засухи <sup>2</sup> | В состоянии нормальной влажности | После периода засухи <sup>2</sup> |
| Бедный тяжелый суглинок (Ротамстед), потеря от прокаливания 4,3% . . . . .           | 1,57                     | 2,36     | 65,9                                       | 34,1                                | 23,2                             | 17,0                              | 10,9                             | 17,1                              |
| Сильно удобрявшаяся пахотная почва Ротамстед, потеря от прокаливания 10,0% . . . . . | 1,46                     | 2,31     | 61,8                                       | 38,2                                | 30,3                             | 20,0                              | 7,9                              | 18,2                              |
| Почва пастбища потеря от прокаливания 13% . . . . .                                  | 1,17                     | 2,22     | 52,7                                       | 47,3                                | 40,0                             | 22,3                              | 7,3                              | 25,0                              |

Пространство, занимаемое воздухом во всякое данное время, вычисляется путем вычитания объема присутствующей воды из общего пространства пор, предполагая, что объем влажной почвы является суммой объемов твердых частиц и воды, и, хотя это

<sup>1</sup> См. В. А. Keen and H. Raszkowsky, Journ of Agric. Sci., 1921, II, 441—449.

<sup>2</sup> Наиболее сухие периоды 1909 и 1910 гг. Во время исключительной влажности 1911 г. эти числа падали для первых двух почв до 6 и 8.

допущение не может считаться строго точным, оно все же, по всей вероятности, не слишком ошибочно. В ротамстедских почвах воздухом заполнено около 7—10% всего объема почвы, причем эти величины колеблются примерно от 25% и ниже до незначительных величин.

В районах влажного климата воздух в почве в слое глубины, главным образом используемой корнями растений (15—22 см), по составу почти тождествен с атмосферным воздухом, отличался от него главным образом по содержанию углекислоты и по влажности (табл. 101).

Таблица 101

Состав воздуха в почвах (в процентах по объему)

| Почвы                                                   | Обычный состав       |                   | Крайние пределы согласно наблюдений |                   | Чей анализ                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                         | Кислород             | Двуокись углерода | Кислород                            | Двуокись углерода |                                                                                                              |
| Пахотная, 12 месяцев без навоза . . . . .               | 19—20                | 0,9               | —                                   | —                 | Boussingault-Lévy (1853)                                                                                     |
| Пастбищная земля . .                                    | 18—20                | 0,5—1,5           | 10—20                               | 0,5—11,5          | Schloesing-сын (1889)                                                                                        |
| Пахотная, незасеянная, без удобрения {                  | песчаная . . . . .   | 20,6              | 0,16                                | 20,4—20,8         | Lau <sup>1</sup> , среднее из определений, часто повторявшихся в течение 12 месяцев                          |
|                                                         | суглинок . . . . .   | 20,6              | 0,23                                | 20,0—20,9         |                                                                                                              |
|                                                         | болотистая . . . . . | 20,0              | 0,65                                | 19,2—20,5         |                                                                                                              |
| Песчаная, унавоженная, под картофелем (15 см) . . . . . | 20,3                 | 0,61              | 19,8—21,0                           | 0,09—0,94         | Величины на глубине в 15, 30 и 60 см больше того различия не имели (здесь дается величина при глубине 30 см) |
| То же, под сараделлой (15 см) . . . . .                 | 20,7                 | 0,18              | 20,4—20,9                           | 0,12—0,38         |                                                                                                              |
| Пахотная земля без удобрения . . . . .                  | 20,4                 | 0,2               | 18,0—22,3                           | 0,01—1,4          | Russell и Appleyard (1915)                                                                                   |
| То же, унавоженная . . . . .                            | 20,3                 | 0,4               | 15,7—21,2                           | 0,03—3,2          |                                                                                                              |
| Выгон . . . . .                                         | 18,4                 | 1,6               | 16,7—20,5                           | 0,3—3,3           |                                                                                                              |

Атмосферный воздух содержит 21% кислорода и 0,03% CO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> Inaug. Diss. Rostock, 1906.

Но и разница в содержании углекислоты на самом деле здесь меньше, чем кажется, так как слой воздуха, находящийся непосредственно над почвой, содержит больше нормальных 0,03 %  $\text{CO}_2$  там, где имеется густой покров растительности, как, например, в лесах или на полях, несущих большие урожаи.

В пахотных почвах содержание кислорода по объему обычно превышает 20,3 %, а объем азота составляет обычно около 79 %, тогда как содержание углекислоты варьирует, примерно, от 0,15 до 0,65 %; для атмосферного воздуха эти цифры составляют соответственно 20,96, 79,01 и 0,03 %. Наиболее колеблющаяся  $\text{CO}_2$  возрастает с количеством органического вещества в почве, а также с температурой и влажностью почвы; летом содержание ее выше, чем зимой. Оно возрастает также во время роста растений: Турпин<sup>1</sup> нашел при вегетационных опытах в воздухе незасеянной почвы от 0,3 до 0,95 %  $\text{CO}_2$ , в воздухе же почв, покрытых растениями, от 0,3 до 2,0 %. В почвах, покрытых травами, воздух содержит больше углекислоты (в Ротамстеде, обычно, 1,6 %), несмотря на большее пространство пор, и в то же время содержит значительно меньше кислорода, обычно около 18,4 %, а в Ротамстеде иногда и меньше 17 %.

W. P. Hadden<sup>2</sup> нашел заметное понижение в содержании  $\text{CO}_2$  в воздухе почвы, засеянной люцерной, после каждого скашивания урожая.

Повышенная продукция  $\text{CO}_2$  в засеянной почве может содействовать питанию растений, увеличивая концентрацию  $\text{CO}_2$  в нижних слоях воздуха, в которых функционируют листья<sup>3</sup>.

Сравнение этих величин с темпом производства  $\text{CO}_2$  в почвах показывает, что между почвой и атмосферой должен существовать быстрый обмен. Согласно расчетам Роммеля, воздух должен совершенно обновляться на глубине 20 см каждый час в случае, если  $\text{CO}_2$  вырабатывается с обычно установленной скоростью 7 л на 1 м<sup>2</sup> в сутки, так как иначе он не мог бы сохранить своего нормального состава.

Прекращение обмена на 1—1½ часа удвоило бы количество углекислоты, а за 14 часов оно возросло бы вчетверо (Роммель, 1923). Этот быстрый обмен обуславливается частью прямым движением или током воздуха и частью через диффузию.

Прямое движение обуславливается несколькими причинами. Изменения в атмосферном давлении и в температуре, движение ветра над поверхностью или дождевой воды через почву—все это вызывает прохождение воздуха в почву и из почвы. Э. Ричардс показал<sup>4</sup>, что с дождем приносится заметное количество растворенного кислорода.

<sup>1</sup> Cornell Agric. Exp. Sta. Memoir, 1920, 32.

<sup>2</sup> Col. Agric. Exp. Sta. Bull., 319, 1927.

<sup>3</sup> P. Hasse и Kirchmeyer, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1928, A, 10, 257—299;

<sup>4</sup> Journ. Agric., Sci., 1917, 8, 331—337.



*Растворенный кислород, приносимый дождями.*

Ричардс -

|                  | Средние осадки (в дюймах) в Ротамстеде (за 25 лет) | Растворенный кислород |               |
|------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
|                  |                                                    | Частей на миллион     | Фунтов на акр |
| Лето . . . . .   | 13,32                                              | 9,0                   | 27,12         |
| Зима . . . . .   | 15,50                                              | 11,2                  | 39,27         |
| За год . . . . . | 28,82                                              | —                     | 66,39         |

Суммарный эффект этих условий погоды является иногда достаточным, чтобы обусловить часовые колебания; действительно, некоторые работники<sup>1</sup> приписывают им весь эффект сполна. Но содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе не показывает ясной связи с барометрическим давлением или со скоростью ветра<sup>2</sup>, и исследования как Расселя и Апплеярда (1915), с одной стороны, так и Роммеля, с другой—показывают, что эти агенты в общем недостаточны, чтобы вызвать наблюдаемые эффекты; необходим какой-то постоянно действующий механизм. В виду этого диффузия рассматривается в настоящее время как самый вероятный главный фактор, вызывающий обмен. Диаметры почвенных пор очень малы, но, как показали Браун и Эскомб<sup>3</sup>, темп диффузии через мелкие поры непропорционально низок по сравнению с диффузией через крупные поры<sup>4</sup>, он зависит скорее от общей площади сечения пространства пор, чем от величины отдельных пор.

Несмотря на быстроту диффузии, замечаются все же местные колебания в составе почвенной атмосферы. Ледер (Leather) дал явные доказательства, что количество углекислоты выше близ корней растения, чем вдали от них. Локализованная деятельность почвенных микроорганизмов также, вероятно, сопровождается изменениями в выделении  $\text{CO}_2$ , что, однако, трудно непосредственно доказать, так как взятие даже небольших образцов почвенного воздуха сопровождается широкой циркуляцией и удалением его из пор.

В естественных условиях и в луговой почве дождевые черви играют в аэрации очень важную роль; их ходы способствуют легкому прохождению воздуха и воды вглубь.

<sup>1</sup> Ramann (1911), Mitscherlich (Bodenkunde, 1923), Hann и др.

<sup>2</sup> Russell and Appleyard (1915).

<sup>3</sup> Phil. Trans., 900, 193, B. 223—291.

<sup>4</sup> Полное обсуждение этого вопроса см. В. А. Keen, The physical Properties of the Soil (1931).

Важное значение воздуха в почве для роста растений давно заставляло агрономов искать методов регулирования его. Наиболее эффективным способом является обеспечение свободного прохождения воды, которую можно дренировать, так что пространство пор при этом не остается закупоренным; это достигается различными приемами дренажа.

Предполагается, что различные способы обработки почвы оказывают очень большой эффект на аэрацию ее, и они действительно облегчают возобновление почвенного воздуха и увеличивают общий объем воздуха в почве, расширяя пространство пор. Но опыты не показывают особенно заметного уменьшения количества присутствующей  $\text{CO}_2$ , чего, впрочем, едва ли следовало бы ожидать, так как, если воздух пахотной почвы уже содержит до 20,3% кислорода и всего 0,3%  $\text{CO}_2$ , то остается очень узкий предел для улучшения его обработкой, даже при разбивании корки, образующейся от дождей на тяжелых почвах. Тем не менее эффект приемов обработки на рост растений весьма заметен и приводит фермеров и садовников к твердой уверенности, что аэрация почвы при этом существенно улучшается,—уверенности, заслуживающей очень внимательного и непредубежденного последования научных работников.

Количество углекислоты в почве не ограничивается почвенной атмосферой, так как некоторое количество ее находится и в почвенном растворе, причем это количество зависит от других растворенных веществ и от путей, которыми присутствующая в почве коллоиды влияют на равновесие с почвенным воздухом. Расчеты Ледера приводят к очень большим количествам растворенной  $\text{CO}_2$ , но были бы желательны прямые определения.

Относительно азота в почвенном воздухе прежде предполагали, что он является совершенно инертным, в настоящее же время он рассматривается как источник, из которого снабжаются клубеньковые организмы (стр. 308). Посев люцерны фиксирует около 125 кг/га азота за 3 месяца, что соответствует приблизительно 10 см<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> почвы в день; поглощение же кислорода в исследованных почвах варьирует от 2 до 26 л в день (стр. 274).

Под сухим мульчированным\* слоем почвенный воздух всегда насыщен влагой, и это свойство, очевидно, имеет большую важность для микроорганической жизни в почве, так как это исключает влияние факторов, вызывающих изменения влажности и испарения, которые, как известно, оказывают заметный эффект на жизнь внутри почвы.

\* Прямое значение слова Mulch—слой соломы или иного материала, которым почва покрывается для затенения. В этом смысле слова термин «мульча» вошел в употребление и у нас. Но в английской терминологии понятие «Mulch» распространяется также и на заборнованный слой почвы, который, по высыхании, покрывает нижележащую почву как ковром, подобно искусственной мульче. П р и м. п е р е в.

Рэссель и Апплеярд установили, что воздух, растворенный в почве, состоит главным образом из  $\text{CO}_2$  и некоторого количества азота; повидимому, эти газы удерживаются почвенной влагой и коллоидами почвы. Значение этого факта заключается в том, что организмы, нуждающиеся в анаэробных условиях, могут находиться в нормальной почве, если только они могут выносить  $\text{CO}_2$ .

В заболоченных почвах воздух может содержать гораздо больше  $\text{CO}_2$  и гораздо меньше кислорода, чем в почвах аэрируемых.

Большие изменения наступают тогда, когда кислород исчезает совершенно. В таком случае образуются болотный газ и водород (стр. 253), которые в нормальных почвах никогда не присутствуют в количестве большем, чем в атмосфере (Рэссель и Апплеярд, 1915).

До сих пор мы рассматривали лишь условия в умеренном и влажном климате. Определения Ледера в Пьюзе (1915) показывают, что содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе может возрастать весьма значительно, доходя в некоторых случаях до 1—5%, тогда как содержание кислорода значительно падает; в течение жаркого сухого сезона—в апреле и мае—содержание кислорода иногда составляло только 16—18%, а в период дождей (monsoon)—в июне и июле—оно падало до 8—12%. Однако в других случаях величины содержания кислорода не особенно отличались от величин умеренного климата.

### Снабжение водой

Часть воды, падающей на почву в виде дождя, проходит через поверхностные слои в подпочву, где она остается или дренируется прочь, тогда как остальная часть воды задерживается около поверхности, пока не испарится или не подвергнется транспирации растениями. В районах с низкими дождевыми осадками вода не проникает в подпочву глубоко, и на некоторой глубине имеется слой, называемый иногда мертвым слоем, до которого вода не достигает никогда. Во влажных районах нормально происходит дренаж избытка воды, количество которой зимой выше, чем летом, и на почве, не занятой растениями, выше, чем на почве, покрытой растительностью. Цифры для почвы, не занятой растениями, в Ротамстеде приведены в таблице 102. Около 75% дренируются зимой, 25% летом и в среднем за год—около 50%<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Результаты для Пьюзы см. Н. N. Batham, Chem. Mem. Dept. Agric. India, 1926, 8, 127—152, а данные статистического исследования результатов ирригации в Пенджабе см. В. Н. Wilsdon and R. P. Sarathy, Mem. Punjab Irrig. Res. Lab., 1928, 1, № 2.

Таблица 102

Количество осадков, дренаж и испарение из почвы, не занятой растительностью, из 20 дюймов глубины.

Ротамстед. Ежемесячные средние за 60 лет, 1870—1930 гг.

| Месяцы             | Осадки<br>(в дюймах) | Дренаж<br>(в дюймах) | Дренаж в<br>% от осад-<br>ков | Испарение<br>(в дюймах) |
|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Сентябрь . . . . . | 2,363                | 0,804                | 34,0                          | 1,559                   |
| Октябрь . . . . .  | 3 171                | 1,818                | 57,3                          | 1 353                   |
| Ноябрь . . . . .   | 2,844                | 2,168                | 76,2                          | 0,676                   |
| Декабрь . . . . .  | 2,871                | 2,451                | 85,3                          | 0,240                   |
| Январь . . . . .   | 2,422                | 1,987                | 82,0                          | 0,435                   |
| Февраль . . . . .  | 2,031                | 1,517                | 74,7                          | 0,514                   |
| Март . . . . .     | 1,997                | 1 064                | 53,3                          | 0,933                   |
| Апрель . . . . .   | 2,028                | 0,659                | 32,5                          | 1,369                   |
| Май . . . . .      | 2,061                | 0,476                | 23,1                          | 1,585                   |
| Июнь . . . . .     | 2,224                | 0,540                | 24,3                          | 1,684                   |
| Июль . . . . .     | 2,719                | 0,716                | 26,3                          | 2,003                   |
| Август . . . . .   | 2,649                | 0,702                | 26,5                          | 1,947                   |
| За год . . . . .   | 29,380               | 14,901               | 50,7                          | 14,479                  |

Количество дренажной воды явно зависит от испарения, а последнее в свою очередь определяется главным образом температурой, причем в Ротамстеде эта зависимость является настолько тесной, что, как показал Краудер (1930), ежемесячные величины для дренажа, приведенные в таблице 102, могли быть вычислены из уравнений:

$$D = 1,920 + 1,112R - 0,0695T,$$

где  $D$  — дренаж в дюймах;  $R$  — дождевые осадки в дюймах;  $T$  — температура в  $^{\circ}F$ .

Дренаж из тяжелых почв происходит главным образом через трещины, из почв же легких — через пространство пор (стр. 444).

Вода, удержанная в верхних слоях, как и почвенный воздух, сохраняется в порах, и объем пространства пор ставит предел, выше которого количество воды не может идти, и в естественных условиях этот предел для воды редко достигается. Количество воды, обычно присутствующее в почве, варьирует в различных типах почв, как это видно из таблицы 103.

Влажность является наивысшей и наименее подверженной колебаниям в почвах глинистых и торфянистых и низшей и наиболее подверженной колебаниям в почвах песчаных и известковых.

<sup>1</sup> Числовые данные приведены для периода 1878—1928 гг.



Таблица 103

Содержание влаги<sup>1</sup> в песчаных, суглинистых и глинистых почвах в Вобэрне, находящихся в недалеком расстоянии друг от друга, в условиях приблизительно равного количества дождевых осадков.

Рэссель

|                                          | Песчаная почва<br>(глины - 5%) | Суглинистая почва<br>(глины - 9,3%) | Глинистая почва<br>(глины - 43,0%) |
|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Высшая наблюдавшаяся влажность . . . . . | 14,0                           | 16,5                                | 35,0                               |
| Низшая . . . . .                         | 1,1                            | 6,0                                 | 15,8                               |
| Среднее из всех наблюдений . . . . .     | 9,0                            | 12,0                                | 27,0                               |

Современное изучение почвенной влажности было начато Бриггсом (1897), который различал влагу трех родов:

1) гигроскопическую влагу—пленку воды из конденсированных паров, которая удерживается с большой силой и не может передвигаться как жидкость; в настоящее время известно, что эта влага удерживается главным образом коллоидами;

2) капиллярную воду, удерживаемую в порах силами более значительными, чем сила тяжести, почему она и не может дренироваться прочь;

3) гравитационную воду, удерживаемую более легко, так что она может удаляться через дренаж.

Бриггс, а впоследствии Бриггс с Шанцем (1912) изучали значение этих трех родов влажности для растений и нашли, что гигроскопическая вода была бесполезной, так как удерживалась слишком сильно, чтобы быть доступной растениям. С другой стороны, некоторое количество капиллярной воды, но не все, являлось доступным растениям.

Они разработали методы для нахождения точки завядания, т. е. стадии, при которой в процессе высыхания почвы растения начинают завядать; эта точка считалась по существу независимой от растения<sup>2</sup>, но характерной для данной почвы. Бриггс и Мак-Лейн (1907) также изучали методы определения различных видов влажности в почве, придавая особое значение «эквиваленту влажности»—количеству влаги, удерживаемой почвой при центрофугировании с определенной скоростью, т. е. влаги, удерживаемой

<sup>1</sup> Эти определения производились при высушивании при 40° С.

<sup>2</sup> В настоящее время признано, что «точка завядания» сильно зависит и от растения, так как проводящие ткани различных растений значительно различаются по скорости, с которой они могут передавать воду от корней к листьям.

живающейся против действия определенной силы; впоследствии они перешли к поискам перекрестных взаимоотношений между различными «точками равновесия» и другими свойствами почвы.

Эти исследования оказались очень многообещающими и вызвали большое количество дальнейших работ, которые суммированы в монографии Кина.

Как общий вывод можно отметить, что подразделения Бриггса хотя и были полезны, однако не имели резких границ; одна группа влаги переходит в другую, так что кривые, показывающие взаимоотношения между различными свойствами почвы и присутствующим количеством воды, являются плавными и непре-

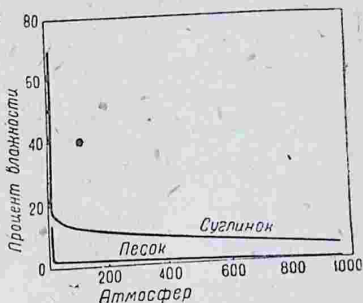


Рис. 48. Мощностъ сил, удерживающих воду в почве; кривые показывают изменения с уменьшением содержания влаги (С. А. Shull, 1916).

рывными, без всяких признаков переломов. Таким образом, предложенные различия между «точкой завядания», «эквивалентом влажности» и т. д. являются чисто условными точками на плавной кривой и варьируют в зависимости от условий эксперимента. Это было доказано Кином по отношению к темпу испарения (1914 и след.) и Шуллером для поглощения воды из почвы семенами (1916) (рис. 48). Взаимоотношения между различными предложенными подразделениями снабжения водой, доступной для растений, хорошо видны на схеме (рис. 49), которой мы обязаны Кину.

Доступность почвенной воды растению определяется двумя факторами:

1) притяжением, проявляемым растением: осмотическое давление сока корней растений, приспособленных к влажным районам, колеблется приблизительно от 7 до 20 атмосфер<sup>1</sup>, и поэтому

<sup>1</sup> См. E. Hanning, *Berichte der deutsch. Bot. Gesell.*, 1912, 30, 194—204 (от 7 до 8 атм.); Dixon and Atkins, *Proc. Roy. Dubl. Soc.* 1912, 13, 229. Вот некоторые из их результатов: корни свеклы (*Beta vulgaris*)—до 21,8 атм.; для *Plex aquifolium* от 7,64 до 10,38 атм.; для подсолнечника (*Helianthus tuberosus*) от 12,76 до 18,67 атм.

вода, удерживаемая силами такой же мощности, является доступной, тогда как вода, удерживаемая с большей силой, недоступна. Растения, приспособленные к засушливым районам, обладают гораздо большей силой притяжения воды; так, например, для *Atriplex confertifolia* было установлено притяжение, эквивалентное 153 атмосферам, тогда как Фабер в Mangrove *Avicennia* \* определил давление в листьях в 163 атмосферы и в корнях 96 атмосфер<sup>1</sup>; 2) легкостью, с которой вода может перемещаться в почве, замещая воду, взятую корнями. Замещение это никогда не бывает

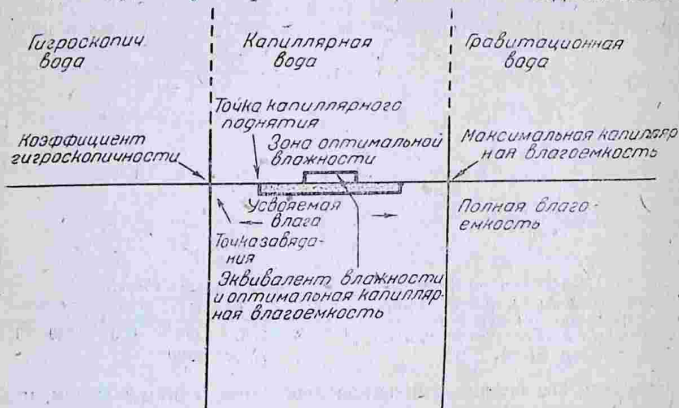


Рис. 49. Диаграмма распределения некоторых так называемых констант почвенной воды (из Transactions of the Faraday Society).

моментальным, и всегда имеется некоторое отставание, так что часть воды, физически доступной растению, фактически не доходит до него. Шульц<sup>2</sup> находит, что изучавшиеся им растения могли завядать и умирать, когда сила удержания почвой значительно превосходила 4 атмосферы.

Если бы можно было легко получать кривые, подобные изображенным на рисунке 48, с измерением осмотического давления корней растений, то они дали бы очень ценную информацию относительно первого из этих факторов. Но получение их невозможно, а так как экологи и агрономы имеют потребность в ха-

\* Мангровые деревья и кустарники (преимущественно *Rhizophora mangle*) на тропических побережьях характерны густой сетью надземных корней. Прим. перев.

<sup>1</sup> Дальнейшую информацию см. F. G. Molz «A Study of Suction Force by the simplified Method», Amer. J. Bot., 1926, 13, 433—463 и 465—501.

<sup>2</sup> Trans. Far. Soc., 1922, 17, 255.

характеристике взаимоотношений различных почв с водой в целях сравнения, то были разработаны разные более простые методы.

Полезными оказались три метода, основанные на измерении в первую очередь количества воды, действительно не доступной растению. Избыток, присутствующий время от времени сверх этого количества, представляет максимум снабжения водой, который, однако, на практике никогда не используется полностью.

1. Высушивание почвы при комнатной температуре или при  $15^{\circ}\text{C}$  с последующим определением оставшейся воды с помощью высушивания при  $100^{\circ}\text{C}$ . Этот метод очень прост и широко применяется при экологических и с.-х. обследованиях.

2. Процедура эта уточняется при определении количества воды, которое сухая почва поглощает из атмосферы с постоянным

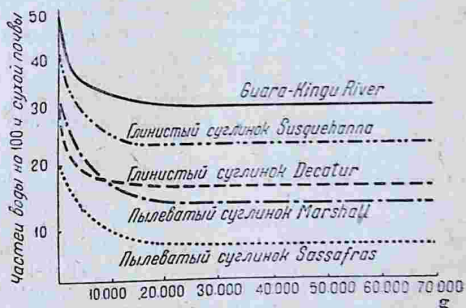


Рис. 50. Вода, удерживаемая почвой против возрастающей центробежной силы, выраженной в  $g$  (А. Ф. Лебедев).

насыщением при постоянной температуре, когда равновесие уже окончательно установилось. Это — так называемая гигроскопическая влажность. Западноамериканские работники широко применили<sup>1</sup> этот метод, поддерживая почву в атмосфере насыщенной влажностью; однако в Ротамстеде<sup>2</sup> лучшие результаты получались, когда атмосфера насыщалась только на 50%.

3. Удаление с помощью сильной центрофуги всей воды, удерживаемой с некоторой силой, меньшей, чем сила, определяемая оставшейся водой. Этот метод был введен Бриггсом и Мак-Лейном (1907) и имеет то преимущество, что эта сила может быть высчитана, так что точка, соответствующая ей, может быть нанесена на кривую, подобную кривой рисунка 50. Форма кривой естественно варьирует в зависимости от этой силы, но, работая при строго контролируемых условиях, можно получать для раз-

<sup>1</sup> Hilgard (1906), Alway (1913), L. D. Batchelor and H. S. Reed, Univ. Cal. Tech. Paper, № 10, 1923.

<sup>2</sup> A. N. Puri, E. M. Crowther and B. A. Keen, Journ. Agric. Sci., 1925, 15, 68—88.



ных почв сравнимые результаты<sup>1</sup>. Джозеф и Мартин нашли этот метод полезным при изучении суданских глин. Впоследствии этот метод был уточнен Лебедевым<sup>2</sup>, который показал, что при достаточно высокой силе действия изменение величин с возрастом центробежной силы становилось уже настолько малым, что не поддавалось измерению (рис. 50).

Когда устанавливается общая плоская форма кривой, то кривая представляет первую актуальную константу влажности для данной почвы; однако экспериментальное определение ее очень трудно.

Результаты, получаемые данным центрофугальным методом, выражаются в величинах  $g$  и поэтому не являются непосредственно сравнимыми с величинами, выражаемыми в атмосферах, применяемыми физиологами растений; для превращения же одной серии величин в другую простого способа еще не имеется.

Количество недоступной воды определяется главным образом количеством коллоидального материала почвы, так как вода удерживается им. С другой стороны, количество воды, которое легко отсасывается под притяжением силы тяжести, зависит от размера почвенных частиц и от пространств пор; оно возрастает по мере преобладания грубых частиц.

Движение воды в почве для замещения количеств, взятых растением, поскольку оно имеет место, осуществляется капиллярными силами, но процесс этот весьма отличается от процесса, впервые изображенного Бриггсом и до сих пор цитируемого в с.-х. учебниках. Современное развитие представлений дано было Хейнсом и Фишером в Ротамстеде, полный отчет о чем дается в монографии Кина. Быстрота, с которой происходит это замещение, зависит от величины и расположения частиц и от расстояния их до насыщенного слоя почвы. Этот темп замещения ограничивается в своей эффективности, и лизиметрические опыты показывают, что вода, которая однажды уже ушла в подпочву, редко возвращается снова обратно достаточно быстро, чтобы участвовать как фактор в росте растений<sup>3</sup>. Даже во время очень сухого сезона незанятая растительностью почва теряет из своих нижних глубин лишь незначительное количество влаги, если только температура не настолько высока, чтобы испарение имело место в глубине почвы. Движение воды сильно замедляется коллоидальным веществом и мелкими частицами; если же на пути имеется сухой слой почвы, то может и совсем остановиться.

Растение, однако, не является инертным: оно может развивать новые корни, проникающие в более влажные зоны почвы.

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1923. 13, 49—59.

<sup>2</sup> А. Ф. Лебедев, Proc. First. Congr. Soil Sci., Washington, 1927, 1. 551—561. Он применял скорость вращения в 50 000 об/мин., что соответствует силе 70 000  $g$ .

<sup>3</sup> В. А. Keen, The Physical Properties of the Soil, стр. 93.

лежащие за пределами уже истощенного слоя. Иногда получаются очень яркие результаты. Так, например, в районе Кассалы (в Судане) хлопчатник сеется в конце сезона наводнения, пока пылеватая почва еще насыщена водой. Хотя в этой местности не выпадает больше дождей в течение всего периода роста, но хлопчатник прорастает и растет, развивая корневую систему, которая углубляется в почву по мере высыхания верхних слоев, доставляя растению достаточно воды для обеспечения удовлетворительного роста. Автору случалось видеть зрелые растения в полдень под палящим солнцем, не проявлявшие никаких признаков завядания. В смене резкой степени такое же явление обнаруживается у люцерны: как только она укоренилась, она становится почти независимой от дождей; при благоприятных условиях ее корни проникают до 20 футов глубины.

Разница в подобном приспособлении является важным фактором при конкуренции между растениями<sup>1</sup>.

Как движение воды, так и рост корней легко совершаются в средних суглинках, так что растения, растущие на таких почвах, меньше страдают от засухи или больших ливней, чем растения на других почвах. С другой стороны, в более тяжелых почвах корни развиваются и вода движется с большим затруднением, и высохший верхний слой почвы отделяется от более влажного нижележащего обычно резкой линией. Действительно, в жаркую бездождную погоду глинистая почва может трескаться от засухи всего в нескольких футах расстояния от ручья.

Фермеры и садовники эмпирически открыли, что снабжение влагой увеличивается при внесении в почву органического вещества. Увеличение это обуславливается сокращением потерь, что происходит, по всей вероятности, благодаря приведению почвы в хорошее комковатое строение (стр. 216) и благодаря увеличению количества органических коллоидов, удерживающих воду. Органическое вещество вносится в почву различными путями:

- а) в виде навозного удобрения;
- б) в виде зеленого удобрения, с выращиванием горчицы, вики, люпина и других объемистых культур, запахиваемых в зеленом состоянии;
- в) содержанием в загонах овец на полях, засеянных кормовыми культурами, причем овцы съедают корм, а остатки и свои экскременты затаптывают в землю;
- г) оставлением почвы на более или менее продолжительный период времени под травами.

Фермеры открыли также, что потери воды уменьшаются при поддержании на поверхности почвы тонкого слоя, разрыхленного мелкой обработкой. Старое объяснение этого было такое, что этот

<sup>1</sup> См. V. T. Aaltonen, Journ. Forestry, 1926, 24, 627—644, и J. W. Toumey and Kienholz, Yale Univ. of Forestry Bull., 30, 1—31, 1931.

тонкий слой прерывал «капиллярные ходы» и таким образом останавливал потери воды через капиллярность, которые, как предполагалось, шли непрерывно и были серьезны. Это объяснение в настоящее время оставлено, так как известно, что капиллярность обладает эффективностью лишь на коротком расстоянии. Кроме того многочисленные опыты Чилькотта и других<sup>1</sup> показали, что мульчированная (или поверхностно-разрыхленная) почва бывает не влажнее, чем немulчированная, если растительность на последней уничтожается; таким образом, причиной эффективности мульчирования является то, что оно попутно убивает все сорняки. Исключения встречаются, но обычно только там, где уровень воды находится не ниже 6 футов от поверхности<sup>2</sup>. Вопрос этот довольно сложен, так как здесь участвует несколько факторов, которые при известных условиях становятся очень важными; эффект температуры рассматривается ниже; мульчирование облегчает также и проникновение воды в почву, предохраняя ее от поверхностного испарения. Но какова бы ни была причина, этот прием остается очень эффективным, и он составляет основу системы «сухого земледелия», практикуемого в Западной Канаде, Австралии и на Великой Равнине США; особенно много изучался он в Юта<sup>3</sup>.

### Температура почвы

Почва получает теплоту почти всецело от солнца и только очень незначительное количество получается от окисления органического вещества и от радиоактивности, что впрочем, как известно, составляет лишь неуловимую величину по влиянию ее на растения. Таким образом, температура почвы зависит от количества тепла, получаемого поверхностью, и от путей использования этого тепла.

Почва может получать или терять тепло через три различных процесса: через радиацию, через нагревание или охлаждение, зависящие от движения воздуха и воды, и через конденсацию или испарение воды. Радиация, во всяком случае, является наиболее важным фактором. Количество лучистой энергии, получаемой растениями, зависит от той части ее, которая достигает земли и которая время от времени варьирует, в зависимости от туманности атмосферы, от топографического положения и растительности, покрывающей почву.

Атмосфера поглощает значительную часть лучистой энергии, но не все виды ее одинаково.

<sup>1</sup> U. S. Dept. Agric. Bull. № 268, 1915; № 1173, 1287, 1293, 1301, 1310 и 1315.

<sup>2</sup> Keen's Monograph., стр. 271.

<sup>3</sup> См. J. A. Widsoc, Dry Farming. Mc Millan, New York, 1913.



Верхние слои атмосферы очень сильно поглощают короткие ультрафиолетовые волны радиации, но пропускают большую часть видимых и инфракрасных тепловых волн. Последние легко пропускаются также сухим воздухом в более низких слоях атмосферы, но гораздо менее легко в слоях с углекислотой и парами воды. Фактическое поглощение углекислотой, однако, невелико благодаря очень низкой концентрации ее в воздухе; поглощение же парами воды и в особенности конденсированной водой в форме облаков и туманов может быть значительным.

В отношении топографического положения почвы на количество лучистой энергии, получаемой ею, влияют два выделяющиеся фактора: толщина и состав атмосферы и угол, под которым лучи падают на поверхность почвы. На больших высотах, в засушли-

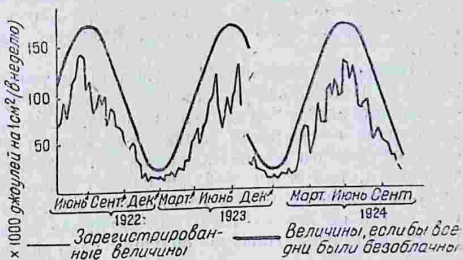


Рис. 51. Солнечная радиация, получаемая в Ротамстеде, в сотнях джоулей на 1 см² в неделю. Нижняя линия — действительные величины; непрерывные кривые — для безоблачных дней.

вых пустынях, где воздух очень сух, или под тропиками, когда солнце находится в зените, атмосфера поглощает излучений гораздо меньше, чем на небольших высотах или вечером и утром, когда солнечные лучи падают на земную поверхность очень косо и должны, таким образом, пересекать большую толщину поглощающей атмосферы.

В естественных условиях не все лучи, достигающие поверхности, проникают в почву. Значительная часть их перехватывается растительностью, вследствие чего земля, густо покрытая растениями, прохладнее, чем голая земля; в тропических странах этим часто пользуются для защиты почвы от интенсивного испарения, выращивая на ней «затеняющие» культуры. Из лучистой энергии, действительно достигшей поверхности почвы, некоторая часть отражается обратно в пространство, причем от белых меловых почв отражается больше, чем от черных гумусовых<sup>1</sup>.

Количество энергии, получаемой на горизонтальной поверхности в Ротамстеде, составляет на 1 см² в неделю около 250 малых калорий, или 1 000 джоулей, в зимнее время; в летнее время — около 3 500 калорий, или 15 000 джоулей, и около 2 500 калорий,

<sup>1</sup> О некоторых последствиях этого см. Firbas, Beih. Bot. Centr. 44, 179.



или 10 000 джоулей, за вегетативный период с марта по сентябрь. Сезонные колебания зависят главным образом от облачности, что видно из того, что при нанесении на кривые данных за безоблачные дни кривые за отдельные годы являются по существу совершенно сходными<sup>1</sup> (рис. 51). Вообще говоря, сумма радиации, получаемой на акр в Ротамстеде за вегетативный период с марта по сентябрь включительно, составляет около  $2,5 \times 10^{12}$  калорий, или  $10^{10}$  британских термических единиц<sup>2</sup>.

Эти величины относятся к горизонтальной поверхности; для наклонной поверхности они были бы иными, что легко вычислить. Поверхность, стоящая под прямым углом к направлению солнечных лучей в полдень, получает больше теплоты, чем равная площадь, имеющая другой уклон; южные склоны в наших широтах теплее, чем северные, часто на несколько градусов, что бывает достаточно, чтобы вызвать значительную разницу в растительности.

Почва не только приобретает, но и теряет теплоту через радиацию. Потери зависят от атмосферы, растительности и от быстроты передачи тепла почвой подпочве. Ясная, сухая атмосфера поглощает очень мало тепла, излучаемого почвой, но если она содержит много водяных паров, то действует, подобно растительности, как покрывало, и сильно препятствует потерям. Так, например, в ясные ночи голая земля излучает тепла гораздо больше, чем в облачные ночи; подобным же образом почвы пустынь могут излучать гораздо больше, чем почвы в более влажном климате.

Из радиации, падающей на землю, часть поглощается последней и часть отражается. Поглощенная часть повышает температуру почвы на величину, зависящую от удельной теплоты почвы и от теплопроводности ее. Удельная теплота зависит от содержания влаги и варьирует приблизительно от 0,2 для сухой почвы до 1 для совершенно мокрой почвы. Теплопроводность зависит как от содержания влаги, так и от структуры почвы. Сухая почва—очень дурной проводник тепла, в особенности, если почва состоит из довольно мелких комочков, так как, соприкасаясь только концами, комочки передают тепло главным образом через лучеиспускание или через токи воздуха. Но если почва влажна, то вокруг отдельных частиц ее образуется водяная пленка,

<sup>1</sup> W. B. Haines, «A Comparison of the Radiation Recorders at Rothamsted» Journ. Roy. Met. Soc., 1925, 51, 95—100; в этой работе обсуждается зависимость от солнечного сияния. Поверхность заключается в безвоздушный стеклянный колокол, и записи делаются «календарным пишущим прибором». Одна калория (малая) равна 4,2 джоуля и 1 джоуль равен  $10^7$  эргам.

<sup>2</sup> Это равняется приблизительно 4 млн. HP (лош. сил) часов, что эквивалентно теплоте, развиваемой при сжигании около 350 т каменного угля и что могло бы нагреть 25 тыс. т воды от точки замерзания до точки кипения. Из этого количества энергии растениями утилизируется лишь около 0,5%.

обеспечивая лучший тепловой контакт и лучшую теплопроводность. В результате поверхность сухой почвы нагревается быстрее, чем поверхность мокрой почвы, и действительно в солнечные дни<sup>1</sup> может быть теплее, чем воздух.

Таким образом, передача температуры в глубь почвы задерживается: если почва суха, то теплопроводность ее низка, так что передается мало теплоты; если же почва сыра, то удельная теплота ее высока, так что, несмотря на лучшую теплопроводность, требуется гораздо больше теплоты для поднятия температуры на данное число градусов. А так как дневная волна теплоты продвигается лишь медленно, то она не успеет достигнуть большой глубины, как уже начнется обратное движение. Так, например, в Ротамстеде дневная температура воздуха достигает максимума обычно в 2 ч. 15 м. дня, на глубине же 6 дюймов в почве лишь в 5 ч. 30 м. Это замедление во времени уменьшается во влажную погоду и увеличивается в сухую. Благодаря замедлению волны температуры, колебания температуры воздуха меньше, чем в 2° С, часто остаются нечувствительными на глубине 6 дюймов. На рисунке 52 приведено несколько типичных кривых, по Кину и Расселю (1921), полученных в Ротамстеде для температуры воздуха в тени и температуры почвы на глубине 6 дюймов. В общем, кривые почвенной температуры сходны с кривыми температуры воздуха, за исключением того, что они гораздо более плавны. Минимальная температура почвы обычно лежит ниже минимума воздуха, тогда как максимум почвы, хотя он обычно и лежит ниже максимума воздуха, все же может лежать и выше, в особенности летом или ранней осенью. В зимнее время кривая почвы часто бывает плоской в течение целого дня, а иногда не показывает практически никаких колебаний даже за несколько дней. Общий результат всех этих взаимодействий заключается в следующем.

1. Южный склон теплее северного склона.

2. Голая земля теплее, чем земля, покрытая растительностью, за исключением зимних месяцев, и имеет большие ежедневные колебания температуры.

<sup>1</sup> Это хорошо можно наблюдать на песчаных дюнах, где температура воздуха непосредственно над песком может быть на 5—10° С выше, чем общая температура воздуха. Явление это особенно заметно в жарком климате. Leather (India Dept Agr. Chem. Mem., 1914, 3, 15) констатирует, что максимальная температура в Пьюзе может подниматься до 70° С на поверхности почвы и до 50° С на глубине 1—2 дюйма, причем температура воздуха также доходит до 50° С. Е. Mc Kenzie Taylor и А. С. Burns зарегистрировали 65° С на поверхности и свыше 56° С на глубине 2 дюймов в Гизе, близ Каира (Min. Agric. Egypt Bull. 31, 1924). Р. А. Buxton дает описание простого прибора для записи температур на поверхности почвы в жарком климате; применяется набор восковых сплавов, различающихся друг от друга по точке плавления на 2°, стружки бросаются на почву (Journ. Ecology, 1924, 12, 127—134.)

3. Почва, обращенная к солнечным лучам, на поверхности часто бывает горячее, чем воздух, и подвержена значительным колебаниям температуры.

4. Однако, эти колебания лишь слабо затрагивают слои на глубине большей 3 или 4 дюймов; с большей глубиной колебания быстро сужаются и на глубине в 6 дюймов они гораздо слабее, чем колебания температуры воздуха.

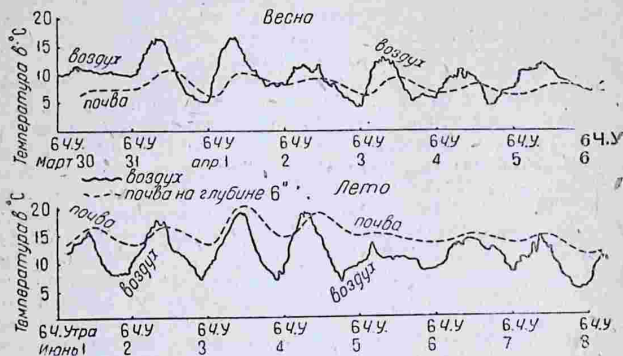


Рис. 52. Температура почвы весной и летом, зарегистрированная самопишущим термометром, углубленным на 6 дюймов на голой земле, Ротамстед (Кин и Рассель, 1921).

5. Влажная почва, будучи лучшим проводником, чем сухая почва, остается более однородной по температуре на всей своей глубине.

6. Верхние 6 дюймов почвы имеют более высокую среднюю температуру, чем воздух, как летом, так и зимой. На глубине 6 дюймов наиболее теплая часть дня бывает около 17 ч. 30 м., а наиболее холодная часть около 9 ч. 30 м. утра.

7. Нагревание почвы весной облегчается высушиванием, охлаждение же осенью возрастает в ясные ночи и уменьшается при дождях (Кин и Рассель, 1921).

Записи за периоды нескольких месяцев были опубликованы Вольни<sup>1</sup> и Тиле<sup>2</sup>. Британские данные обычно относятся вообще только к записям на глубине 6 или 12 дюймов; они были собра-

<sup>1</sup> Forsch. a. d. Geb. d. Agrik. Physik, 1878, 1, 43—69; 1881, 4, 327—365.

<sup>2</sup> Landw. Versuchs-Stat., 1905, 63, 161—238.

ны и обработаны Моули, Мельшем<sup>1</sup> и Франклином<sup>2</sup>. Систематические записи зарегистрированы в обсерватории Радклифа (в Оксфорде<sup>3</sup>), в Кью, а также в Ротамстеде, где установлен непрерывный самопишущий термометр. Детальные записи почвенной температуры в Ист Лансинг (в Мичигане) велись Буйюкосом (Bouyoucos, 1913 и след.), который обсуждал также эффект их на физические свойства почвы.

На температуру почвы в пределах нескольких градусов могут оказать влияние и мероприятия фермеров<sup>4</sup>. Наиболее эффективным способом повышения температуры является удаление некоторого количества воды; дренаж заболоченной почвы часто ведет к резкому повышению. Второй метод, применяемый более часто, заключается в оставлении почвы в бороздах, по возможности расположенных в направлении с востока на запад, причем южные стороны борозд становятся значительно теплее. Общее количество тепла, получаемое полем при этом, конечно, не возрастает, но оно концентрируется на некоторой части почвы.

Понижение температуры почвы, очень часто желательное в жарких странах или во время сухого лета, достигается поддержанием на поверхности почвы рыхлого слоя сухой земли, который, являясь плохим проводником тепла, защищает нижележащую почву от солнечных лучей (табл. 104).

Таблица 104

Температура почвы на разных глубинах, при разных условиях. Рассель  
Эффект погоды

|                                                      | Температура воздуха | Температура голыи почвы |       |       |                                |       |       |
|------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
|                                                      |                     | Нетронутой              |       |       | Поверхность разрыхлена мотыгой |       |       |
| На глубине . . . . .                                 | —                   | 1/2"                    | 3"    | 6"    | 1/2"                           | 3"    | 6"    |
| Жаркий солнечный день,<br>20 июня 1910 г. . . . .    | 30°                 | 35°                     | 30,5° | 27°   | 31,5°                          | 29,8° | 26,5° |
| Прохладный облачный день,<br>27 июня 1910 г. . . . . | 18°                 | 17,5°                   | 16,7° | 15,8° | 17°                            | 16,3° | 15,5° |

<sup>1</sup> См. Quart. Journ. Roy. Met. Soc., 1899, 25, 238—265.

<sup>2</sup> Proc. Roy. Soc. Edinb., 1920, 40, 10—22, 56—79.

<sup>3</sup> См. A. A. Rambaut, Radeliff Observations, 1901, 48, 1—245 и 1916, 51, 103—204; также Phil. Trans., 1901, 195, A, 235—258.

<sup>4</sup> Обсуждение экологической стороны колебаний почвенной температуры см. Lundegardh (1925).



## Эффект растительности

|                                                                          | Теплая погода, 5 октября 1910 г., температура воздуха 17° |       |       | Холодная погода, 4 января 1911 г., температура воздуха 3,5° |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------------------|------|------|
| На глубине . . . . .                                                     | 1/2"                                                      | 3"    | 6"    | 1/2"                                                        | 3"   | 6"   |
| Голая почва . . . . .                                                    | 7°                                                        | 16,7° | 15,5° | 3°                                                          | 2,5° | 2,5° |
| Почва, покрытая живой растительностью (луговая земля) . . . . .          | 15,5°                                                     | 15°   | 14,5° | 3°                                                          | 3°   | 3°   |
| Почва, покрытая мертвой растительностью (мульчированная почва) . . . . . | 15,5°                                                     | 15°   | 14,5° | 2,5°                                                        | 2,0° | 2,0° |

## Структура почвы

Мелкокомковатое строение почвы, называемое хорошей структурой обработанной почвы (tilth), наиболее соответствует потребностям растений; от него зависит хорошее снабжение водой и воздухом и свободное продвижение корней в почве. Вязкое, плотное состояние неблагоприятно для растений; снабжение корней воздухом при этом является недостаточным, равно как часто и снабжение водой; в то же время и корни становятся неспособными проникать глубоко в почву, так что естественная растительность ограничивается растениями с поверхностным распространением корней, как, например, полевица (*Agrostis*), или же растениями иного типа, как, например, мать-и-мачеха, с широкими толстыми корнями, с большой силой проникновения в почву.

**Комковатая структура и рост растений.** Почва в хорошем состоянии обработки должна обладать комковатой структурой, стойкой против воды, но этого одного еще недостаточно. Комки не должны быть слишком велики, иначе почва превращается в массу твердых глыб, не пригодную ни для обработки ни для растущих растений; комочки не должны быть и слишком малы, так как иначе получится структура в роде дюнного песка, подверженная эрозии ветрами и водой; в идеальном промежуточном состоянии комочки должны быть достаточно малы, чтобы допустить хорошую аэрацию и в то же время достаточно крупны, чтобы связать почву. Русские авторы<sup>1</sup> считают, что оптимальный размер почвенных комочков определяется отношением некапиллярных пор к капиллярным, подразумевая под «некапиллярными» порами приблизительно промежутки между комочками почвы, а под «капиллярными» — пространство пор внутри их; последнее измеряется

<sup>1</sup> Научно-агрономический журнал, 1924, 1, 451—474. Немецкое резюме этих работ см. М. Краузе Landw. Jahrb., 1931, 73, 603—690.

объемом воды, который почва может удерживать против силы тяжести, т. е. который не может быть удален дренажем. Если слишком большая часть пространства пор капиллярна, то почва легко заболачивается в сырую погоду вследствие ограниченности дренажа, а если капилляров слишком мало, то она быстро высыхает в сухую погоду. Для подзолистых почв в районе Тимирязевской академии в Москве было найдено, что оптимальный диаметр почвенных комочков был от 1 до 3 мм и при этом пространство капиллярных пор становится приблизительно равным пространству некапиллярных пор. Квасников<sup>1</sup> показал, что при этих условиях получают лучший рост зерновых злаков, более ранние всходы, более высокие урожаи и более высокое отношение зерна к соломе, при меньшем потреблении воды на единицу образующегося сухого вещества, чем в тех случаях, когда бралась почва с более крупными или с более мелкими комочками или с отношением капиллярных и некапиллярных пор, значительно уклонявшимся от единицы. Сбережение воды происходит здесь, вероятно, благодаря тому факту, что осмотическое давление почвенного раствора возрастает по мере уменьшения пространства капиллярных пор, пока оно не достигнет максимума при величине почвенных крупинок от 1 до 3 мм. Однако для засушливых условий<sup>2</sup> оптимальная величина пространства капиллярных пор была больше 50% общего пространства пор; она составляла здесь от 60 до 65%, так как в засушливых местностях ограничивающим фактором является вода, тогда как для оподзоленных почв ограничивающим фактором был воздух.

**Обработка почвы и структура ее.** Эффект обработки почвы выражается в нарушении пространства некапиллярных пор ее через разбивание комков или глыб или через разрыхление поверхности.

Пространство капиллярных пор нарушается не так легко: вода является очень эффективным агентом в образовании комочков (стр. 220), но действие ее сильно облегчается при надлежащей обработке<sup>3</sup>. В обработке почвы критическим фактором является почвенная влага; не просто количество ее, но условия влажности почвы. Если почва слишком сыра, то обработка разрушает комочки и делает из почвы густое тесто, высыхающее в твердые глыбы, которые очень трудно вновь разбить на комочки. С другой стороны, когда почва слишком суха, то обработка часто бывает бесполезной. В благоприятных пределах содержания воды наилучшие условия легче создаются в процессе увлажнения почвы, чем в процессе высыхания ее.

<sup>1</sup> Научно-агрономический журнал, 1928, 5, 459—482.

<sup>2</sup> Самарский с.-х. институт, 1927, 4, 1—43.

<sup>3</sup> О влиянии типа плуга на комковатую структуру и другие физические свойства почвы см. серию работ Некрасова в журнале Научной агрономии, начиная с 1925 г.

Поэтому, раздвигая глыбы почвы на мелкие комочки при бороновании или укатывании, опытный работник, прежде чем приступить к этой работе, дает почве сначала высохнуть за пределы, когда эти операции еще возможны, и после этого он дожидается, чтобы дождь снова увлажнил почву. Лабораторные исследования показывают, что устойчивость почвенных комков зависит не только от содержания воды, но также от направления, в котором идет изменение влажности, т. е. находится ли почва в процессе высыхания или увлажнения. При высыхании комок сжимается, сначала как раз на объем теряемой воды и потом

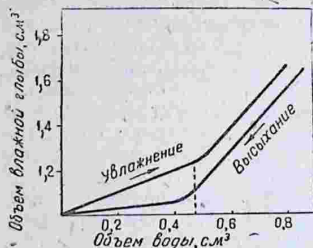


Рис. 53. Объем данного веса влажной почвы зависит не только от содержания влаги, но и от того, находится ли она в состоянии высыхания или увлажнения вновь (W. B. Haines Journ. Agric. Sci., 1923, 13, 290—310).

меньше, чем на этот объем. Когда же почва увлажняется вновь<sup>1</sup>, она расширяется на большую величину, чем сжалась раньше (рис. 53). Это явление—общее для коллоидов—объясняется тем, что первоначально сырой комок почвы не содержит воздуха в своих наиболее глубоких трещинах, тогда как сухая почва содержит воздух; при новом смачивании заключенный воздух способствует растрескиванию комка. Таким образом, почва, содержащая данное количество влаги, может оказаться в одном из двух состояний: в процессе понижения степени влажности, когда она высыхает, и повышения влажности, когда она смачивается. В случае повышения влажности она занимает больший объем при данном содержании влаги, чем в процессе высыхания, благодаря заключенному в ней воздуху и, таким образом, становится менее устойчивой и легче раздвигается.

**Сила тяги и свойства почвы.** При изучении обработки в Ротамстеде очень полезные данные были получены при измерении силы, требующейся для тяги орудия, обычно плуга при вспашке или силы тяги. Применявшийся динамометр представляет собой род пружинных весов, помещаемых между лошадью или трактором и обрабатываемым орудием; описание его и обсуждение по-

<sup>1</sup> Расширение при смачивании свойственно гумусовым и глинистым почвам и не имеет места при почвах латеритных, где коллоиды представлены главным образом гидрогелями окисей алюминия и железа (F. Hardy, Journ. Agric. Sci., 1923, 13, 340—351).

лученных результатов имеются в монографии Кина (1931). На основании записей представляется возможность составить картограмму изодин, т. е. карту с нанесенными линиями одинаковой силы тяги, которые обнаруживают заметную неоднородность многих почв. Одна из таких картограмм для ротамстедского поля изображена на рисунке 54. Замечаемые здесь варианты силы тяги зависят главным образом от разницы в содержании глины: оба ряда цифр находятся в довольно тесной корреляции.

Для одной и той же почвы сила тяги не варьирует особенно сильно при изменениях содержания воды в тех пределах, при которых опытный земледелец находит возможным пахать; поэтому карты изодин не изменяются особенно из года в год. Сила тяги перманентно уменьшается при внесении в почву больших коли-

### ПОЛЕ СТАКЪЯРД РОТАМСТЕД

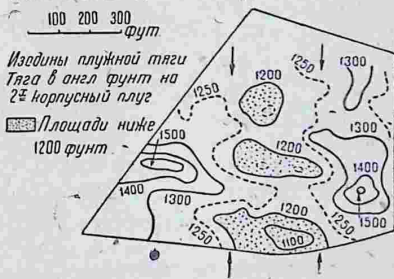


Рис. 54. Изодины, показывающие также уменьшение тяги, обусловленное внесением углекислого кальция (в полосе между стрелками).

честв карбоната кальция или органического вещества, но обычные минеральные удобрения, хотя и представляют собой электролиты, проявляют очень слабое влияние.

Величины силы тяги дают возможность измерять структуру, а также имеют очевидную важность для конструкторов машин и, наконец, они являются наилучшей мерой, какую мы имеем до настоящего времени для определения сопротивления почвы движению корней растений. Таким образом, они представляют собой интегральную величину для свойств глины<sup>1</sup>.

Хейнс (1925) анализировал различные факторы, относящиеся к силе тяги, как, например, связность, пластичность и поверхностное трение. На все эти отдельные факторы глубоко влияет содержание воды в почве, но различно: при увеличении содержания влаги связность уменьшается, но трение возрастает, так что в пределах, в которых почва может подвергаться обработке, то, что выигрывается в одном, проигрывается в другом<sup>2</sup> (рис. 55).

<sup>1</sup> W. B. Haines (1925).

<sup>2</sup> За пределами состояния почвы, пригодного для обработки, с увеличением влажности трение уменьшается.



**Сила тяги и рост растений.** Между силой тяги и ростом растений была прослежена определенная зависимость, в особенности в ранних фазах роста. Эден и Маскелл (1929) нашли в Ротамстеде большую отрицательную корреляцию между силой тяги и числом растений пшеницы, выживших за зимний период ( $r = -0,8$ ) (рис. 56), а также числом побегов ранней весной. Однако позднее в течение сезона происходят изменения, и окончательный урожай практически не обнаруживает никакой корреляции с силой тяги. На пространствах с редкими всходами избыток влаги, удерживаемой глиной, и отсутствие конкуренции их сорняков и других пшеничных растений позволяют пережившим

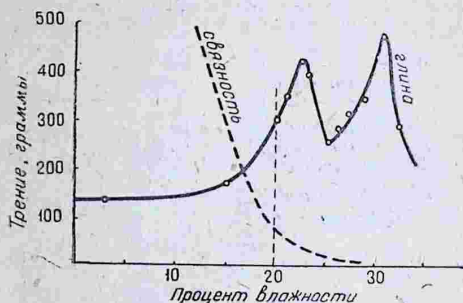


Рис. 55. Зависимость трения (сплошная линия) и связности почвы (пунктирная линия) от содержания влаги. Ротамстед.

расти лучше, чем на пространствах, густо заселенных, так что недостаток числа растений в первом случае балансируется более крупными размерами их.

## Питательные вещества растений. Источники снабжения

**Азот.** Раньше предполагали, что растения ассимилируют весь свой азот в форме нитратов. Но в настоящее время признано, что может использоваться и аммиак. Это, повидимому, особенно верно для лесных почв, где нитрификация часто бывает медленной и трудной<sup>1</sup>.

Но нормально в почвах не встречаются в больших количествах ни аммиак, ни нитраты; обычно, земля, покрытая растительностью, содержит от 5 до 25 частей нитратного азота и около 5—10 частей аммиачного азота на 1 млн. частей почвы, что со-

<sup>1</sup> Fr. Weis, Centr. Bakt., Abt. II, 1910, 28, 434—460; Hesselmann Medd. fr. Statens Scogförsöksanstalt, 1927, 14, 923—1076; также Т. Gaarder и Oscar Hagem, Medd. Forst. Forsocs. Stat. Vest., Norge, № 4 и 11, 1921 и 1928, Bergen. См. Bieder., Zentr., 1931, A, Neue Folge 1, 241; эта статья представляет собой сводку норвежских работ о почве.

ответствует приблизительно от 1 до 3% общего азота, хотя обрабатываемый пар может содержать ранней осенью, когда имеется максимум нитратов, вдвое и втрое больше этого количества (стр. 210).

Все количество присутствующих в почве нитратов во всякое данное время находится в почвенном растворе; нитраты могут вымываться дренажной водой или ассимилироваться микроорганизмами, особенно если присутствует энергетический материал углеводов, или же они могут поглощаться растениями, которые в течение первых 10 недель энергичного роста поглощают нитраты и могут почти истощить запасы их<sup>1</sup>. Снабжение свежими нитра-

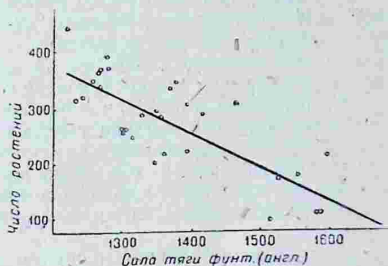


Рис. 56. Отношение между силой тяги и числом уцелевших после зимы растений пшеницы на гряд (22 яра).

тами происходит за счет действия микроорганизмов на резервы азотистых органических веществ, но общий ход реакции идет так, что нитраты обычно не накапливаются в почве в течение роста растений.

Растения утилизируют азотистую пищу гораздо эффективнее, если они ассимилируют ее в ранние периоды жизни, чем в поздние; лучшие результаты достигаются, если нитраты могут быстро накапливаться весной, когда начинается активный рост растений. Это зависит скорее от общих почвенных условий, чем от количества резервных материалов: между процентным содержанием азота в органическом веществе и плодородием почвы не существует никакой явно выраженной зависимости. Нет никаких оснований предполагать, что «растворимый гумус» (стр. 185), которому Грандо и Хильгард придавали такое большое значение, играет какую-либо специальную роль в азотистом питании.

**Калий.** Вообще считается, что обменный калий комплексов, как глины, так и гумуса является главным источником питания растений, хотя отчасти могут использоваться и легко разлагающиеся калийные минералы. Эта идея проводилась Либихом (1863).

<sup>1</sup> Об измерениях нитратов в почве при ячмене см. G. R. Stewart Journ. Agric. Res 1918, 12, 311 и J. S. Burd, *ibid.*, 1919, 18, 51.

который, правда, выражал ее в другой форме<sup>1</sup>; современное же выражение было дано Кнопом (1871) в его замечательном исследовании, имеющем большой исторический интерес. Он предполагал, что почва поглощает основания благодаря какому-то физическому процессу, что эти основания комбинируются с кремневой кислотой и алюминием, образуя некоторое сложное тело, но что они легко могут вытесняться и поэтому легко берутся растениями. Почвы высокого плодородия содержат большие количества легко вытесняемых оснований; он измерял количества их, определяя аммиак, поглощенный из 0,5% раствора хлористого аммония, предполагая, что если поглощение происходило только через замещение, то чем больше количество замещаемых оснований, тем больше будет поглощаться и аммиака. Метод этот применялся к большому числу почв и дал результаты, довольно хорошо согласовавшиеся с с.-х. историей их. Данный метод был несколько видоизменен Кельнером<sup>2</sup>, который измерял количества вытеснявшихся калия и кальция и нашел, что они согласовались с количествами, бравшимися растениями при вегетационных опытах.

В течение ряда последующих лет замещаемые основания почвы мало привлекали к себе внимания химиков, и взгляд, что они составляют пищу растений, был предан забвению. Вновь он был выдвинут Раманном<sup>3</sup>, и в настоящее время принят повсеместно<sup>4</sup>.

В отличие от нитратов в почвенном растворе находится не весь запас калийной пищи, а только часть ее, и зависимость между концентрацией калия в растворе и количеством влаги в почве согласуется с представлением об абсорбционном равновесии.

**Кальций.** Растения имеют, повидимому, три источника усвояемого кальция: нитрат кальция, карбонат и обменный кальций. По мере возрастания количества нитратов в почвенном растворе в результате деятельности бактерий возрастает в нем и количество кальция. Бикарбонат кальция также находится в растворе, и кро-

<sup>1</sup> «Эта способность почвы питать культурные растения,—писал Либих,—находится, таким образом, в точной пропорции с количеством питательных веществ, содержащихся в ней в состоянии физического насыщения. Количество других элементов, находящихся в состоянии химических комбинаций и распределенных в почве, также чрезвычайно важно, так как они служат для восстановления состояния насыщения, когда питательные вещества в физических комбинациях извлекаются из почвы рядом урожая с нее».

<sup>2</sup> O. Kellner, Landw. Versuchs-Stat., 1886, 349—392.

<sup>3</sup> Bodenkunde, 1905.

<sup>4</sup> A. von Nostitz (Landw. Versuchs-Stat., 1925, 103, 159—177) поддерживает взгляд, что кальций, магний и калий, внесенные в песчаные культуры, в виде комплекса пермутита, являются более эффективными как питательные вещества, чем при внесении их в виде растворимых солей. По вопросу изучения шотландских почв, показывающих тесную зависимость между усвояемым и обменным калием, см. R. Stewart, Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 524.

ме того в резерве находятся как карбонат кальция, так и обменный кальций.

Питание растений кальцием представляет ту характерную черту, что некоторые из растений выносят большие количества кальция, тогда как другие терпят его лишь в незначительных количествах (стр. 449).

**Фосфор.** В почве встречаются три группы фосфорных соединений.

1. Неорганический фосфор в нейтральных почвах, по всей вероятности, в виде фосфата кальция—гидроапатита.

2. Неорганический фосфор в кислых почвах, как предполагается, в комбинациях с окисями железа и алюминия.

3. Органические фосфорные соединения, которые, как предполагается, имеют ценность только после разложения их микроорганизмами и превращения их фосфора в неорганические фосфаты. Количество фосфатов в почвенном растворе очень невелико благодаря присутствию кальция и магния, и даже принимая во внимание, что растения могут ассимилировать фосфаты из чрезвычайно слабых растворов<sup>1</sup>, содержание их в почве совершенно не соответствовало бы потребности в них растений без частого возобновления<sup>2</sup>. Так как концентрация фосфатов не варьирует с изменениями содержания влаги в почве, то предполагается, что почвенный раствор всегда насыщен ими.

Темп восстановления фосфора в почвенном растворе, или скорость, с которой фосфор становится усвояемым для растений, зависит частью от почвы и частью от растения. Врангель (1926) показала, что возобновление происходит более быстро в песчаных почвах с низкой поглотительной способностью и гораздо медленнее в почвах глинистых и гумусовых, с высокой поглотительной способностью.

Химики вообще принимают, что для питания служат только наиболее растворимые соединения фосфора, и поэтому ими были разработаны методы для разделения фосфатов на более и менее растворимые фракции. Обыкновенно применяются разведенные кислоты, как, например, 1% раствор лимонной кислоты по методу Дайера (1894, 1901), наиболее широко распространенный в Великобритании, в Пенсильванском государственном колледже в США

<sup>1</sup> По данным М. Врангель, даже из таких слабых, как 0,1 часть  $P_2O_5$  на миллион. F. W. Parker исследовал недостаточность фосфатов в почвенном растворе (Soil Sci., 1927, 24, 129).

<sup>2</sup> W. Thomas изучал возможность того, что концентрация в растворе на поверхности почвенных частичек может быть выше, чем в самом почвенном растворе (Soil Sci., 1929, 27, 249).

Некоторые работники, как, например, A. W. Greenville, защищают взгляд, что растения должны поглощать твердые фосфаты (Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 559). Комбер составил гипотезу химизма, с помощью которого это возможно (Journ. Agric. Sci., 1922, 12, 353).



и в Германии Леммерманном и Фрезениусом<sup>1</sup>. Никакие две кислоты не дают одинаковых результатов<sup>2</sup>, и даже одна и та же кислота дает различные результаты при изменении условий. Рассель и Прескотт<sup>3</sup> нашли, что одновременно происходят две реакции: кислота быстро растворяет  $P_2O_5$ , но вслед за этим  $P_2O_5$  реагирует с некоторыми почвенными компонентами и осаждается вновь. Растворяющее действие оказалось совершенно одинаковым для разведенных кислот соляной, азотной и лимонной—при одинаковой концентрации их, но обратное действие было различно, принимая во внимание то, что чистое количество  $P_2O_5$  при определении анализом различалось для всех трех кислот.

В виду трудности интерпретации химического анализа были разработаны биологические методы для определения количества усвояемых фосфатов в почве. О бактериологических методах нами уже упоминалась (стр. 378); один из методов анализа с помощью самих растений был разработан Нейбауэром и применяется с большим успехом<sup>4</sup>. Митчерлих разработал метод вегетационных опытов, который дает информацию о потребности или, иначе сказать, о необходимости внесения фосфатных и калийных удобрений и о вероятных количествах их, которые могут дать наибольший эффект: этот метод оказался полезным для практических целей<sup>5</sup>.

Фосфор представляет ту особенность, что некоторые почвы отличаются резким недостатком его; это—довольно обычное явление в Австралии и в южной Африке, но замечается также и в Соединенном королевстве; следствием указанного является нарушение роста естественной растительности, и пасущиеся животные подвергаются серьезному фосфатному голоду (стр. 78)<sup>6</sup>. Растения сильно разнятся по легкости, с которой они могут извлекать фосфор из почвы. Агрономами уделялось значительное внимание этой проблеме в связи с тем, что снабжение фосфором часто является ограничивающим фактором для получения высоких урожаев, и недостаток фосфора может быть исправлен применением фосфатных удобрений.

Растения, которые особенно легко могут добывать фосфор из почвы, не являются обязательно растениями, наиболее чувствительными к фосфатному голоду, и не принадлежат также к числу наиболее отзывчивых на фосфатное удобрение; по этим признакам

<sup>1</sup> Zeitschr. f. Pflanz. Düng., 1927, B, 6, 163.

<sup>2</sup> См. Hall и Plymen (1902) и Холл и Амос (1906), о сравнении большого числа почв.

<sup>3</sup> Journ. Agric. Sci., 1916, 8, 65—110.

<sup>4</sup> Описание метода см. X. Нейбауэр и В. Шнейдер, Zeit. f. Pflanz. Düng., 1923, A, 2, 329.

<sup>5</sup> E. A. Mitscherlich, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. Berlin, Paul Parey, 1925.

<sup>6</sup> Обзор современного состояния вопроса см. J. P. van Zyl, H. N. Green and B. de C. Marchand, South Africa Dept. Agric., 1929, Chemistry Series, № 98; также J. B. Orr, Minerals in Pastures, London, 1929.

растения располагаются приблизительно в следующем порядке<sup>1</sup>.

| Способность добывать фосфор из сравнительно нерастворимых фосфатов | Отзывчивость на дальнейшее внесение фосфатов                                                  | Чувствительность к фосфатному голоду               |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Наибольшая. Люцерна, брюква, капуста и турнепс                     | Картофель<br>Брюква и турнепс<br>Кормовая свекла<br>Ячмень<br>Травы на сено<br>Овес и пшеница | Брюква и турнепс<br>Картофель<br><br>Травы на сено |
| Наименьшая. Овес, пшеница, ячмень, картофель                       |                                                                                               |                                                    |

Много дискуссировался вопрос относительно причин различий в способности извлечения фосфатов из почвы разными растениями. Эти различия относятся не только к фосфатам, но также и к другим питательным веществам. Ньютон<sup>2</sup> изучал избирательную абсорбцию неорганических элементов у разных растений. Лооз и Гильберт показали, что растения, находящиеся рядом на лугу, берут не только различные количества разных питательных веществ, но также берут их в различных пропорциях<sup>3</sup>. Некоторые из американских работников говорят о различиях в «способности питания», и хотя имеются многие исключения, но эта идея оказалась довольно полезной и это выражение удержалось.

Прежние исследователи приписывали различия в «способности питания» различиям в общей кислотности корневого сока; так считалось, что бобовые растения имеют большую кислотность, чем злаки<sup>4</sup>, и в то же время обладают большей способностью извлечения нерастворимых веществ. Этот взгляд развивался Дайером (1894—1901) и Леммерманном (1907). Позднейшие исследователи, не найдя других кислот, кроме  $\text{CO}_2$ , показали, что и последняя могла быть достаточной для объяснения явлений; этот взгляд был выдвинут Чапеком<sup>5</sup> и Стоклайзом<sup>6</sup>, и в настоящее время он принят везде. Труог<sup>7</sup> придал этому взгляду более определенную форму и принял во внимание также и эффект от кислого корневого

<sup>1</sup> E. J. Russell, «Artificial Fertilizers», Min. Agric. Bull. 28, 1931, стр. 84 и след.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1928, 26, 85.

<sup>3</sup> Phil. Trans., 1900, 192, B, 154.

<sup>4</sup> См. стр. 110.

<sup>5</sup> Jahrb. Wiss. Bot., 1896, 29, 321—390.

<sup>6</sup> Ibid., 1908, 46, 55—102. Определенное Стоклайзом количество  $\text{CO}_2$ , выделяемой корнями ячменя (70 мг  $\text{CO}_2$  на 1 г сухого вещества в 24 часа), признается в настоящее время слишком высоким: более часто получают цифры от 5 до 10 мг на 1 г.

<sup>7</sup> Wisconsin Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 41, 1916.

сока. Различия в габитусе роста корней также могут влиять на поглощение питательных веществ из почвы<sup>1</sup>.

**Органическое вещество.** Хотя растения могут удовлетворительно расти и достигать полного развития и при одних неорганических питательных веществах, однако же в естественных условиях питание их всегда происходит в присутствии органического вещества. Вопрос о том, играет ли последнее какую-нибудь активную роль в этом процессе, дискуссировался очень много.

Экспериментальные показания не отличаются большой определенностью.

В ротамстедских полевых опытах ни одна из комбинаций искусственных удобрений не является такой же эффективной, как навоз<sup>2</sup> в поддержании урожая из года в год. Но возможно, что эффект этот может быть отнесен на физическое и физико-химическое действие на почву (стр. 191).

На бобовые растения солома и неразложившийся навоз оказывают особенно благоприятное действие, но это можно объяснить тем, что солома (местами) стимулирует ассимиляцию нитратов почвенными организмами, что в свою очередь стимулирует процессы фиксации азота (стр. 307—325).

Если почву нагреть до 100° C, то в ней образуется нечто, чрезвычайно стимулирующее развитие корней (Рэссель и Петер Бридж, 1912); возможно, что это вещество присутствует также и в ненагретой почве. Шрейнер и Шори (1910—1912) показали, что некоторые органические компоненты почвы стимулируют рост растений при искусственных культурах. Боттомлей<sup>3</sup> показал, что некоторые водоросли гораздо лучше растут в присутствии небольшого количества гумуса. Эти результаты были подтверждены и расширены Кларком<sup>4</sup>, Зегером<sup>5</sup> и Карстеном Ольсенем<sup>6</sup>, последний находит, что гумус облегчает ассимиляцию железа. Очевидность доказательств этих авторов представляется убедительной<sup>7</sup>. Грандо (1872), еще задолго до этого, поддерживал взгляд, что гумус играет главную роль в азотном питании растений, а также и в фосфорном питании их; данных считать это доказанным и очевидным не имеется, однако заслуживает внимания тот многозначительный факт, что навоз дает резкий эффект на почвах, страдающих фосфатным голодом<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> Новейший обзор по этому предмету см. W. Thomas, *Plant Physiology*, 1930, 5, 443.

<sup>2</sup> Количество доставленных питательных веществ при этом было, однако, неодинаково.

<sup>3</sup> W. B. Bottomley, *Proc. Roy. Soc.* 1915, B, 88, 237 и другие работы до 1920, 91, 83.

<sup>4</sup> N. A. Clark and E. M. Roller. *Soil Sci.*, 1924, 17, 193.

<sup>5</sup> A. Saeger, *Journ. Gen. Physiol.*, 1925, 7, 517.

<sup>6</sup> *Compt. rend.*, Carlsberg Lab., 1930, 18, 1.

<sup>7</sup> См. также стр. 297.

<sup>8</sup> См. G. Scott Robertson, *Journ. Agric. Northern Irland*, 1931.



## Питательные вещества растений. Почвенный раствор

Уитни в 1892 г. и позднее он же с Камероном выдвинули взгляд, что растения получают свою пищу из раствора, находящегося в почве. Вокруг этой идеи он построил хорошо сконструированную гипотезу плодородия почвы, которая вызвала много споров и значительная часть которой оказалась неприемлемой, но его взгляд, что почвенный раствор является культурным раствором для растений, удержался, и в настоящее время общепринят; этот взгляд был далее согласован с современными физическими идеями Хогландом, Бэрдом, Мартином и их коллегами в Калифорнийском университете<sup>1</sup>.

**Состав почвенного раствора.** Как это часто случалось в истории агрономической науки, первые исследования были сделаны во Франции; Шлезинг в 1866 г. разработал метод получения почвенного раствора, основанный на вытеснении его водой. Он помещал от 30 до 35 кг свежезятой почвы в большой перевернутый отверстием вниз стеклянный колокол и поливал почву водой, окрашенной кармином, подражая действию дождя. Внесенная вода сразу начинала вытеснять почвенную воду и заставляла ее опускаться, так что в результате ее можно было собрать; между прибавленной водой и почвенным раствором сохранялась резкая горизонтальная пограничная линия, и первоначальная вода оставалась несмешанной с прилитой в течение всего опыта, хотя вытеснение воды продолжалось более недели. Типичным анализом вытесненной жидкости в миллиграммах на литр является следующий.

| $\text{SiO}_2$ | Азотная кислота | Углекислота | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | Серная кислота | Хлор | Органическое вещество |
|----------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------|------|-----------------------|
| 29,1           | 305             | 118         | 264          | 13,5         | 6,9                  | 7,8                   | 57,9           | 7,4  | 37,5                  |

Кроме того находились следы фосфора и аммиака. Эта почва содержала 19,1 % воды.

Общая концентрация, как видно, составляла около 0,08 %.

Голя (1911) также применял способ искусственного дождя и получил растворы, содержавшие от 2 до 0,2 % и менее твердых веществ, причем наименьшие количества давали почвы обрабатывавшиеся.

Данный метод был улучшен Бэрдом и Мартином (1923). 2 кг почвы набивались в латунные трубы 17 дюймов длины и 3 дюйма в диаметре; на дне помещалась латунная сетка, покрытая филь-

<sup>1</sup> См. Hoagland (1925) и Burd и Мартин (1931).—Обзор современного положения.



провальной бумагой, ниже которой находилась выводная труба; верхний конец трубы снабжен был навинчивавшейся крышкой и приводной трубкой для ввода воздуха под большим давлением; на почву наливалось 400 см<sup>3</sup> воды и давление воздуха постепенно повышалось, обычно до 100 фунтов \*, пока жидкость не начинала вытекать. Раствор собирался порциями по 10 см<sup>3</sup>; первые порции получаются однородными по составу, как показывает их электропроводность, и на основании экспериментальных данных они принимаются как образцы настоящего почвенного раствора<sup>1</sup>.

Однако некоторые почвы содержат так много коллоидального материала, что вытеснение идет чрезвычайно медленно, и за это время может происходить некоторое восстановление нитратов.

Тогда был принят более простой, хотя и менее точный метод: почва взбалтывалась с водой в такой пропорции, чтобы, принимая во внимание уже имеющуюся влажность, получился экстракт с отношением почвы к раствору, равным 1 : 5 (или 1 : 1); после этого раствор быстро отфильтровывался. Предполагалось, что прибавленная вода только разбавит, но не нарушит сильно состав раствора в каких-нибудь других отношениях; однако эти надежды не оправдались. В раствор попадали некоторые дополнительные количества, так что экстракт содержал в себе больше веществ, чем раствор, полученный методом вытеснения, в особенности в отношении фосфатов, калия, натрия и магния, но замечалась меньшая разница между двумя методами для кальция и никакой разницы для нитратов и хлоридов<sup>2</sup>.

В лаборатории опытного поля Тимирязевской с.-х. академии был принят совершенно другой метод. Свежий образец почвы хорошо растирается с чистым тяжелым парафиновым маслом (вазелиновое масло) так, чтобы образовалась эмульсия, которая затем отпрессовывается и центрофугируется, причем почвенный раствор легко отделяется<sup>3</sup>.

Уитни предполагал, что почвенный раствор должен быть приблизительно постоянным по своему составу, будучи насыщенным раствором минералов, встречающихся во всех почвах. Это оказалось неправильным<sup>4</sup>; концентрация и состав почвенного раствора изменяются непрерывно под влиянием по крайней мере трех фак-

\* Давление 100 англ. фунтов на 1 кв. дюйм =  $\frac{7,23 \text{ кг}}{1 \text{ см}^2}$  = около 7,2 атм.

Прим. перев.

<sup>1</sup> О последующих видоизменениях метода см. J. P. Conrad, E. L. Proebsting and L. R. M. Kinnon, «Equipment and Procedure for Obtaining the displaced Soil Solution». Soil Sci., 29, 1930, 323—328.

<sup>2</sup> Об изучении отношения между почвенным раствором и экстрактом 1 : 5 см. Hoagland Martin and Stewart, Journ. Agric. Res., 1920, 20, 381—395; а также Burd and Martin, Hilgardia, 1931, 5, 455.

<sup>3</sup> Опытное поле лаборатории общего земледелия Московской с.-х. академии, 1924—1927, № 2, стр. 1.

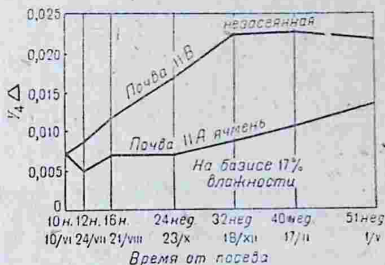
<sup>4</sup> E. J. Russell, Journ. Agric. Sci., 1905, 1, 327, A. D. Hall., W. E. Brenchley and L. M. Underwood, Phil. Trans. 1913, 204. B., 179—200.

горов: количества почвенной влаги, действия растений и действия почвенных организмов.

**Отношение к почвенной влаге.** а) Концентрация нитратов, хлора и кальция изменяется в обратном отношении с содержанием влаги, что указывает на то, что все количество хлора и нитратов в почве находится в почвенном растворе, вместе с эквивалентным количеством кальция, а в тяжелых почвах и с магнием.

б) Концентрация фосфатов хотя и варьирует в разных почвах, но не зависит от содержания влаги; нужно предполагать, что почвенный раствор насыщен фосфатами и растворяет вновь или

Рис. 57. Изменения в концентрации почвенного раствора в зависимости от растения и времени года, показывающие, что посев ячменя сильно понижает концентрацию, даже после уборки его в августе. На вертикальной оси нанесены четвертые части депрессии каждой точки замерзания; соответствующее осмотическое давление приблизительно получается при умножении нанесенных величин на 50<sup>1</sup>.



отбрасывает от раствора некоторое количество их в зависимости от большего или меньшего количества влаги; обыкновенно в почвенном растворе находится от 1 до 3 частей на миллион.

в) Концентрация калия возрастает по мере увеличения концентрации почвенного раствора, но не пропорционально. Это заставляет думать, что усвояемый калий не сразу весь находится в почвенном растворе, но что часть его находится в растворе и часть в поглощенном состоянии: раствор и почва находятся, таким образом, в некотором состоянии равновесия.

В таблице 105 приведены типичные цифры, показывающие состав раствора в опытах Бэрда и Мартина. Цифры эти того же порядка, как и полученные Трофимовым, работавшим в лаборатории опытного поля Тимирязевской с.-х. академии (табл. 106).

**Отношение к росту растений.** Растущие растения истощают почвенный раствор в отношении большей части питательных веществ, включая сюда почти все количество нитратов; но раствор не поглощается как целое, а замечается значительная избирательная способность. На рисунке 57 и в таблице 105 приведены некоторые калифорнийские результаты. Здесь видно, что влияние роста растений продолжается еще долго после того, как они убраны с поля.

<sup>1</sup> Hoagland and Sharp Journ. Agric. Res., 1918, 12, 369; также Bouyoucos and Mc Cool, Michigan Tech. Bull., 24, 1916 и 31, 1917.

Таблица 105

## Состав почвенного раствора.

Бэрд и Мартин. Калифорния (Soil Sci., 1924, 18, 151)

Растворы, вытесненные водой из почвы, занятой растительностью, в начале (апрель) и в конце (сентябрь) периода роста (1923 г.) и в начале следующего сезона роста (1924 г.)

| Почва                     | Дата       | pH  | Частей на миллион вытесненного раствора |                  |                 |                 |     |    |    |    |                       |
|---------------------------|------------|-----|-----------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----|----|----|----|-----------------------|
|                           |            |     | NO <sub>3</sub>                         | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | PO <sub>4</sub> | Ca  | Mg | Na | K  | Всего твердых веществ |
| № 7<br>(влажность 12,5%)  | 30/IV—1923 | 7,4 | 149                                     | 83               | 561             | 1,1             | 242 | 91 | 42 | 21 | 1 190                 |
|                           | 4/IX—1923  | 7,6 | 58                                      | 155              | 432             | 0,6             | 193 | 47 | 40 | 9  | 935                   |
| № 11<br>(влажность 12,4%) | 28/IV—1924 | 7,6 | 252                                     | 142              | 699             | 0,6             | 336 | 76 | 59 | 12 | 1 527                 |
|                           | 30/IV—1923 | 8,2 | 173                                     | 160              | 671             | 3,3             | 222 | 97 | 87 | 41 | 1 454                 |
|                           | 4/IX—1923  | 7,6 | 16                                      | 234              | 598             | 1,2             | 192 | 64 | 44 | 22 | 1 171                 |
|                           | 28/IV—1924 | 8,1 | 263                                     | 259              | 785             | 2,9             | 276 | 94 | 78 | 35 | 1 793                 |

**Отношение к деятельности микроорганизмов.** Микроорганизмы пополняют почвенный раствор питательными веществами, которые берутся растущими растениями. Их деятельность производит анионы, которые приносят в раствор эквивалентные количества катионов. Мартин и Хогланд (1925) нашли, что выщелоченные почвы при хранении в стерильных условиях (в соприкосновении с толлуеном) накапливали в течение целого года очень мало или совсем не накапливали растворимых веществ, тогда как те же самые почвы без толлуена и, следовательно, подвергавшиеся действию микроорганизмов, накапливали значительное количество растворимых веществ. Бэрд изучал детально происходившие изменения<sup>1</sup>. Получившимися анионами являлись нитраты (главным образом), сульфаты и бикарбонаты; основаниями, приносившимися в раствор, являются обычно кальций и магний. Сэн и Райт<sup>2</sup> разработали метод для установления относительного плодородия почв, основанный на скорости, с которой электропроводимые ионы вступают в раствор.

Результаты Трофимова (табл. 106) иллюстрируют взаимодействие влаги, деятельности микроорганизмов и состава почвенного раствора. Работая с полевыми делянками, находившимися под различными видами пара, он нашел, что методы сохранения почвенной влаги в течение лета поднимали концентрацию нитратов и сухого вещества в почвенной влаге, а вместе с тем и осмотическое давление.

Другие исследователи получили результаты в общем того же рода. Общая концентрация почвенного раствора в обыкновенных

<sup>1</sup> Soil Sci., 1925, 20, 269—283.<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 21, 1931, стр. 1—3.



Таблица 106

Концентрация и состав почвенного раствора в разных условиях.

А. В. Трофимов. Частей на миллион (Москва) <sup>1</sup>

| Поздний пар         | Влажность почвы (в %) | Всего сухого вещества | Всего солей | Осмотическое давление (в атмосферах) | Азот в $\text{NH}_3$ | Азот в $\text{NO}_3$  | Влажность почвы (в %) | Всего сухого вещества | Всего солей | Осмотическое давление (в атмосферах) | Азот в $\text{NH}_3$ | Азот в $\text{NO}_3$                                       |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|
| Апрель . . .        | 19,8                  | 1 050                 | 360         | 0,45                                 | 4,4                  | 10,8                  | 18,3                  | 830                   | —           | 0,45                                 | 40,5                 | 5,4                                                        |
| Август . . .        | 21,3                  | 1 470                 | 390         | 0,50                                 | 14,5                 | 50                    | 20,4                  | 1 340                 | 350         | 0,45                                 | 17                   | 48                                                         |
| Более сухие условия |                       |                       |             |                                      |                      | Более влажные условия |                       |                       |             |                                      |                      |                                                            |
| 15/IV . . .         | 18,8                  | 1 450                 | 340         | 0,50                                 | 43                   | 15,5                  | 20,5                  | 1 020                 | 210         | 0,75                                 | 36                   | 10,2                                                       |
| 3/V . . . . .       | 15,9                  | 1 360                 | 420         | 0,50                                 | —                    | 18                    | 18,9                  | 3 100                 | 1 500       | 1,40                                 | 37                   | $\left\{ \begin{array}{l} 84 \\ 160 \end{array} \right.$   |
| 7/VI . . . . .      | 17,0                  | 2 950                 | 850         | 1,15                                 | 32                   | 59                    | 18,7                  | 3 700                 | 1 400       | 1,40                                 | 18                   | $\left\{ \begin{array}{l} 57(?) \\ 20 \end{array} \right.$ |
| 21/VII . . . .      | 22,0                  | 1 500                 | 710         | 0,35                                 | 13                   | 93                    | 23,9                  | 2 550                 | 800         | —                                    | —                    | 174                                                        |
| 26/VII . . . .      | 18,9                  | 1 100                 | 430         | 0,35                                 | —                    | 72                    | —                     | —                     | —           | —                                    | —                    | —                                                          |
| 10/VIII . . . .     | 19,2                  | 1 560                 | 640         | 0,80                                 | 15                   | 89                    | 21,7                  | 2 700                 | 800         | 0,8                                  | 15                   | 154                                                        |

с.-х. почвах, исключая засоленные почвы, составляет обычно около 0,05—0,2% и осмотическое давление его около 0,2 до 1 атмосферы. Таким образом, раствор является очень разведенным, гораздо больше, чем корневой сок, осмотическое давление которого колеблется приблизительно от 7 до 20 атмосфер. Еще не совсем ясно, каким образом ионы переходят из почвы в корень <sup>2</sup>.

### Почвенный раствор и плодородие почвы

Почвенный раствор содержит в себе все количество почвенных нитратов, уже готовых для растений, много калия, но лишь незначительную часть фосфорной кислоты. Он содержит, как мы видели, приблизительно от 50 до 300 частей на миллион азота нитратного, 10—40 частей калия, но только 1—2 части фосфатов ( $\text{PO}_4$ ). Вообще говоря, более плодородные почвы имеют более высокую концентрацию почвенного раствора, но тесной связи между плодородием и концентрацией не имеется, и действительно, при водных растворах разведенные растворы могут дать такой же хороший рост, как и более концентрированные растворы, при условии, однако, если они возобновляются достаточно быстро. Хогланд

<sup>1</sup> Опытное поле лаборатории общего земледелия Тимирязевской с.-х. академии, Москва, 1924—1927 гг. № 2, стр. 11.

<sup>2</sup> Обзор и библиографию см. G. E. Briggs, Proc. Roy. Soc., 1930, B, 107, 248, и W. Thomas, Plant. Physiology, 1930, 5, 443.



важно, что растворы калифорнийских почв одинакового плодородия могли значительно различаться в своем составе<sup>1</sup>.

Быстрота возобновления растворенных веществ является одним из важных свойств системы почва—вода. Для фосфора эта скорость, как мы уже говорили, является, повидимому, значительной (стр. 74); для калия вопрос возобновления представляет обычно меньшую важность, так как в растворе имеется его больше, чем фосфора; для нитратов скорость возобновления всецело зависит от деятельности микроорганизмов.

Почвы, расположенные при основании склона, могут получать большое количество дренажной воды из вышележащей местности, и это массовое движение обуславливает постоянное возобновление почвенного раствора. Помимо эффектов этого просачивания здесь, повидимому, имеется только незначительная диффузия ионов в почву. Одно поле под травой в Ротамстеде, бывшее первоначально однородным по составу трав, было разделено в 1856 г. на делянки, из которых каждая непосредственно прилегает к соседней; ежегодно каждой делянке давалось некоторое удобрение, что (на большинстве делянок) продолжается непрерывно и в настоящее время. В результате получились заметные различия в составе травяного покрова, но соприкасающиеся границы делянок остаются довольно резкими, и не имеется никаких явных признаков заметной боковой диффузии за период 70 лет<sup>2</sup>.

### - Реакция почвы. «Кислотность почвы»

В сельском хозяйстве выражение «кислая» обычно применяется к почвам, которые улучшаются от известкования; это выражение применяется к условиям двух порядков:

- 1) к кислотности, проявляющейся в потребности почвы в известковании и измеряемой в рН;
  - 2) к недостатку кальция, что обуславливает плохие физические свойства почвы и ведет к серьезному расстройству питания растений.
- Эти двоякие условия настолько тесно переплетаются между собой, что в полевых условиях невозможно различить границы между ними.

По своему поведению в отношении почвенной реакции растения можно разделить на три группы.

1. Выносящие только небольшие колебания почвенной реакции, причем оптимум находится в нейтральной зоне или несколько в сторону щелочности.
2. Выносящие лишь небольшие колебания почвенной реакции, с оптимумом в сторону кислой зоны.
3. Выносящие значительные колебания почвенной реакции.

<sup>1</sup> Trans. Faraday Soc., 1922, 17, 249—254.

<sup>2</sup> Для изучения диффузии солей в почве см. Wheeeting, Soil Sci., 1925, 19, 287—299 и 459—466.

Большинство с.-х. растений относится к первой и третьей группам.

Пределы кислотности, внутри которых обычно практикуется возделывание данного растения, показаны в таблице 107, представляющей результаты обследования Аррениусом 200 шведских ферм.

Таблица 107

*Реакция почвы и рост растений; обследование около 200 ферм.  
Аррениус (1926)*

Сплошные линии указывают на частую встречаемость и хорошие урожаи; пунктирные линии соответствуют плохим урожаям и более редкой встречаемости данных культур

| рН                             | 7,5 | 7   | 6,5 | 6    | 5,5  | 5     | 4,5   |
|--------------------------------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|
| Концентрация<br>ионов водорода |     |     |     |      |      |       |       |
| $10^{-7} \times$               | 0,3 | 1,0 | 3,2 | 10,0 | 32,0 | 100,0 | 320,0 |
| Люцерна . .                    | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Сахарная свекла . . . . .      | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Ячмень . . .                   | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Пшеница . .                    | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Клевер красный . . . . .       | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Турнепс . . .                  | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Овес . . . . .                 | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Рожь . . . . .                 | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Брюква . . .                   | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |
| Тимофеевка .                   | —   | —   | —   | —    | —    | —     | —     |

Люцерна, сахарная свекла, ячмень, пшеница и клевер принадлежат к первой группе, остальные, за исключением может быть ржи, принадлежат к третьей; отсутствие встречаемости их на нейтральных почвах может происходить не вследствие невыносимости их, но вследствие того, что фермер, имеющий нейтральные почвы, предпочитает выращивать на них первые пять культур приведенного списка. Английские и американские наблюдения показаны в таблице 108.

Совершенно очевидно, что выгоднее выращивать культуры, соответствующие существующим условиям, чем производить дорогостоящие изменения почвы на большой площади. Так, например, на некоторых кислых почвах в Йоркшире фермеры стараются ограничиться овсом, картофелем и рожью, вместо того, чтобы возделывать ячмень и красный клевер. Около Лидса, где даже дожде-

Таблица 103

Степень выносливости отдельных культур по отношению к кислотности почвы

| А н г л и я                                                                                   |                                                                                                                                                                                 | Род-Айланд (Гартвелл и Дамон, 1914)                                                    |                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Менее-выносливые                                                                              | Более выносливые                                                                                                                                                                | Менее выносливые                                                                       | Более выносливые                                                              |
| Красный клевер<br><i>Alopecurus pratensis</i><br>Ячмень<br>Горох, бобы и ви-<br>ка<br>Пшеница | Капуста<br>Люпины <sup>1</sup><br>Белый клевер<br>Шведская брюква                                                                                                               | Красный клевер<br><i>Alopecurus pra-<br/>tensis</i><br>Люцерна<br><i>Poa pratensis</i> | Бобы<br>Кукуруза<br>Картофель<br>Томаты                                       |
| Свекла кормовая<br>Горчица<br>Райграс                                                         | Овес<br>Шведский клевер<br>Картофель<br>Рожь<br><i>Anthoxanthum</i><br><i>Festuca ovina</i><br><i>Holcus lanatus</i><br><i>Rumex acetosa</i><br>Ревень (наиболее<br>выносливый) | <i>Dactylis glomera-<br/>ta</i><br>Ячмень                                              | <i>Agrostis canina</i><br><br>» <i>vulgaris</i><br>(наиболее вы-<br>носливый) |

вая вода кисла, очень широко разводится ревень<sup>2</sup>. Невозможно составить точный список или указать определенный оптимум pH для любого из растений. В каждом частном случае на величину pH сильно влияют количество кальция, органического вещества, влажность и другие факторы, и только при очень строго сравнимых условиях имеется близкая корреляция с величиной pH<sup>3</sup>. Так, например, на юге Англии условия плодородия связываются с pH 7, но во многих других местах и более низкие величины pH—6,5 или даже 6—являются, повидимому, совершенно удовлетворительными. Морлэй, Дэвис, Робинсон и Огг дают подобные же примеры в западных районах Англии, в Уэльсе и в юго-восточной Шотландии, в особенности там, где почвы происходят из палеозоических горных пород. Влияние кислотности маскируется внесением навоза, и этот эффект навоза обычно более ярко выражается в сухих условиях, чем во влажных.

Если реакция почвы не соответствует растению, то последнее обнаруживает некоторые характерные внешние признаки. Крайний случай, когда растения едва только в состоянии были выжить,

<sup>1</sup> См. стр. 450.

<sup>2</sup> Американские наблюдения см. F. V. Coville, U. S. Dept. Agric. Bull. 6, 1913; Hartwell and Damon (1914); E. Truog (1918).

<sup>3</sup> Изучение сахарной свеклы в отношении pH см. G. Newlands, Journ. Agric. Sci., 1928, 18, 704.

можно хорошо наблюдать на делянках с ячменем в Вобэрне, где почва сделалась очень кислой (рН 4,5). Корни имеют здесь желтовато-бурую окраску и очень хилы, с короткими разветвлениями и как бы обрубленными концами; у них почти не имеется чистых белых тонких корешков нормальных растений; они не распространяются глубоко в почву, а стремятся закручиваться, как бы избегая углубления. Молодые всходы развиваются, но взрослые растения отказываются расти; листья имеют тусклый пурпуровый оттенок; они жестки, но стебель никогда не развивается; ко времени жатвы растения достигают только 2—3 дюймов в высоту и тем не менее успевают уже образовать зерно. Кормовая свекла развивается подобным же образом и никогда не растет хорошо.

Случаи, когда кислотность лишь едва переходит границу выносливости, очень обычны в полевой практике. Распределение кислотности очень часто бывает местным, и это обстоятельство, совместно с изменяющимся эффектом почвенных условий, ведет к значительной неровности роста. Эти характерные внешние признаки оказывают значительную помощь для диагностики встречающейся кислотности. Ни один фактор, кроме кислотности, не вызывает такой пятнистой пестроты во внешности поля. Так, например, возделываемые культуры, в особенности клевер, выпадают местами, в то время как во всех других местах растут энергично. На луговых землях замечается, что некоторые виды, а именно: овсяница луговая (*Festuca ovina*) и душистый колосок (*Anthoxanthum*), имеют темную окраску, тогда как другие травы отличаются желтизной<sup>1</sup>.

Значение эффекта ослабления культурных растений на кислых почвах выражается в том, что это позволяет хорошо разрастаться сорнякам, выносливым к кислотности, но которые не смогли бы выдержать конкуренции нормально развитых культурных растений. Так, например, фермеры обычно считают ромашку (*Matricaria*) в пшенице на тяжелых почвах, шпегель (*Spergula arvensis*) в ячмене и в корнеплодах на более легких землях и щавель и полевицу (*Agrostis*) на луговых землях как указание на кислотность.

Эти явления бывают более сложны в естественных условиях, когда имеется смешанная флора. В этом случае выступает момент соревнования, один из наиболее важных факторов, влияющих на рост растений. Растения, способные выносить кислотность несколько лучше, чем их соперники, выживают, тогда как другие погибают; они начинают преобладать во флоре кислых почв не по-

<sup>1</sup> Наиболее бросающееся в глаза изменение в цвете происходит в цветах *Hudrangea*. Аткинс (Proc. Roy. Dublin. Soc., 1923, 17, 201—210) констатирует, что эти цветки остаются синими при рН почвы 6 и менее; они становятся розовыми при рН 7,5 и выше и синими и розовыми на одном и том же растении при рН между 6 и 7,5.



тому, чтобы кислотность была необходима для их оптимального роста, но потому, что, как и другие препятствующие факторы, она нарушает равновесие в соревновании в пользу тех растений, которые могут выносить ее, и против других, которые устраниаются кислотностью.

Имеется другой фактор, который часто сокращает флору на кислых почвах, не подвергавшихся культуре. Благодаря уменьшению деятельности дождевых червей<sup>1</sup> и микроорганизмов (стр. 371 и след.) мертвая растительность, остающаяся на поверхности почвы, не разлагается в течение осени и зимы и сохраняется еще и весной и летом, образуя переплетенный войлок, сквозь который могут проникать только некоторые виды растений, остальные же погибают в стадии проростков.

Третьим фактором является то, что некоторые болезнетворные организмы оказываются очень выносливыми к кислым условиям и могут причинять большой вред растениям. Действие этих факторов, как и можно было ожидать, сильно зависит от других условий, и в результате представляется совершенно невозможным расположить растения в абсолютно правильном порядке преобладания их во флоре кислых почв. Но там, где общие условия в остальных отношениях являются сходными, некоторые различия, свойственные растениям, обычно бывают связаны с различной степенью «кислотности». Многие из этих сообществ изучались экологами<sup>2</sup>. В Вильтшир-Дауне имеются площади кислых «спекающихся» почв («bake» land), окруженных нейтральными или меловыми почвами; на «спекающейся» почве растет щавель (*Rumex acetosella*), *Anagallis arvensis*, *Scleranthus annuus*, но не растет льнянка (*Linaria vulgaris*) или горичвет (*Lychnis vespertina*) и *Silene inflata*, которые, однако, обычны на прилегающих меловых почвах<sup>3</sup>.

Саллисбюри (1916) находит, что дуб (*Quercus sessiflora*), *Holcus* и *Anemone* являются более обычными на кислых почвах, а *Quercus robur* и *Mercurialis*—на менее кислых почвах в лесах Хертфордшира. Исследования Хэтчинсона и Мак-Леннана в общине Харпендена<sup>4</sup> приведены в таблице 109.

Яркие примеры встречаются на нетронутых луговых почвах. Луговые делянки в Ротамстеде имеют различные степени кислотности; некоторые сделались сильно кислыми в результате продолжительного удобрения сульфатом аммония, причем на большинстве из них на одной половине применяется известкование, а на другой не применяется. Получившиеся в результате этого различия

<sup>1</sup> Отсутствие дождевых червей на луговых землях является обычным признаком кислотности (стр. 361).

<sup>2</sup> Интересное изучение швейцарских экологических сообществ, соответствующих различным пределам pH, см. F. Chodat, Bull. Soc. Bot., Genève, 1924, 16, 36—143.

<sup>3</sup> W. E. Brenchley, Annales of Botany, 1912, 26, 95—109.

<sup>4</sup> См. также T. Eden, Journ. Ecology, 1924, 12, 267—286.

Таблица 109

## Потребность в извести в отношении к растительности

| Почва Хэрпендена. Хэтчинсон и Мак-Леннан (1915) |                                              | Лес Салисбюри 1916            |                                                       |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Средняя потребность почвы<br>в извести          | Господствующая флора                         | Потреб-<br>ность в<br>извести |                                                       |
| Около 0,22% $\text{CaCO}_3$ . . . . .           | <i>Trifolium repens</i>                      | 0,24                          | <i>Mercurialis</i>                                    |
| » 0,26% $\text{CaCO}_3$ . . . . .               | <i>Festuca ovina</i> и<br><i>rubra</i>       | —                             |                                                       |
| » 0,31% $\text{CaCO}_3$ . . . . .               | Смесь тысячелист-<br>ника, шпергеля<br>и мха | —                             |                                                       |
| » 0,39% $\text{CaCO}_3$ . . . . .               | Дрок                                         | —                             |                                                       |
| » 0,43% $\text{CaCO}_3$ . . . . .               | <i>Yorkshire fog</i>                         | 0,52                          | <i>Holcus</i><br><i>Anthoxanthum</i><br><i>Cnicus</i> |
| » 0,53% $\text{CaCO}_3$ . . . . .               | Щавель                                       | 0,62                          | <i>Holcus</i><br><i>Anemone</i>                       |

в составе травостоя помещены в монографии Брэнчли<sup>1</sup>. Эти различия сильно варьируют в деталях в зависимости от удобрения полянок. Приводим некоторые из них в таблице 110.

На кислых почвах обычны полевица (*Agrostis vulgaris*), *Holcus*, *Anthoxanthum*, *Rumex*, *Plantago* и *Conopodium*; после внесения извести их частично замещают *Alopecurus*, *Avena pubescens* и *Poa pratensis*; увеличивается также количество чины (*Lathyrus*).

Флористические различия на травяных участках Гарфорта (Йоркшир) были резюмированы Краудером и Рустоном<sup>2</sup>, и наблюдения над луговыми землями (в Вест Ридинге) в Йоркшире были опубликованы Линн<sup>3</sup>. Обычно наиболее ярким последствием исправления кислотности известкованием в Йоркшире является замена *Nardus* и *Lusula* или на лучших пастбищах полевицы (*Agrostis*) овсяницей (*Festuca ovina*), ползучим клевером (*Trifolium repens*) и лядвенцем (*Lotus corniculata*). Многолетний райграс английский обычно не встречается на почвах с потребностью в извести, превышающей 0,3%. Дикий белый клевер менее чувствителен к кислотности; он часто улучшается известкованием в Йоркшире, но не

<sup>1</sup> Manuring of Grass-land, by W. E. Brenchley, Rothamsted Monographs 1924. Цифры (в таблице) показывают процент воздушно-сухого сена. Тире (—) указывает на отсутствие данных видов. Некоторые мало встречающиеся виды выпущены из таблицы.

<sup>2</sup> C. Crowther and A. G. Ruston, Journ. Agric. Sci., 1915, 7, 197—218.

<sup>3</sup> J. C. and D. A. Lynn, Ann. Applied Biology, 1924, 11, 135—152.

Таблица 110

Влияние известий на рН и на ботанический состав травяных участков в Ротамстеде, 1919 г.

|                                          | Участок 3     |            | Участок 7                                 |            | Участок 11                                      |            |
|------------------------------------------|---------------|------------|-------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|------------|
|                                          | Без удобрения |            | Калийное и фосфатное удобрение; без азота |            | Полное удобрение. Сильные дозы сульфата аммония |            |
|                                          | Без извести   | С известью | Без извести                               | С известью | Без извести                                     | С известью |
| рН почвы . . . . .                       | 5,72          | 6,88       | 5,43                                      | 6,68       | 3,79                                            | 4,13       |
| рН подпочвы . . . . .                    | 6,16          | 6,58       | 5,90                                      | 6,24       | 4,35                                            | 4,71       |
| Растения                                 | %             | %          | %                                         | %          | %                                               | %          |
| <i>Agrostis vulgaris</i> . . . . .       | 8,34          | 1,53       | 5,38                                      | 2,01       | 1,65                                            | 0,94       |
| <i>Alopecurus pratensis</i> . . . . .    | 0,29          | 0,61       | 1,73                                      | 15,20      | 0,77                                            | 63,91      |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i> . . . . .   | 6,97          | 3,06       | 3,55                                      | 0,45       | 0,02                                            | 0,14       |
| <i>Arrhenatherum avenaceum</i> . . . . . | 0,29          | 0,51       | 3,05                                      | 2,62       | 31,34                                           | 15,51      |
| <i>Avena flavescens</i> . . . . .        | 0,83          | 2,76       | 0,71                                      | 0,96       | —                                               | —          |
| <i>Avena pubescens</i> . . . . .         | 4,12          | 19,10      | 2,84                                      | 8,81       | —                                               | —          |
| <i>Briza media</i> . . . . .             | 1,95          | 8,89       | —                                         | —          | —                                               | —          |
| <i>Bromus mollis</i> . . . . .           | —             | —          | 0,05                                      | 0,60       | —                                               | —          |
| <i>Dactylis glomerata</i> . . . . .      | 8,34          | 7,35       | 21,52                                     | 18,57      | 0,19                                            | 5,66       |
| <i>Festuca ovina</i> . . . . .           | 6,68          | 5,01       | 7,11                                      | 5,39       | 0,08                                            | 0,01       |
| <i>Holcus lanatus</i> . . . . .          | 9,13          | 7,66       | 4,26                                      | 1,56       | 64,80                                           | 11,63      |
| <i>Poa pratensis</i> . . . . .           | 0,15          | 1,94       | 1,17                                      | 1,61       | —                                               | 1,95       |
| <i>Poa trivialis</i> . . . . .           | —             | 0,10       | 0,36                                      | 1,21       | —                                               | —          |
| <i>Lotus corniculatus</i> . . . . .      | 1,57          | 2,45       | 0,46                                      | 0,03       | —                                               | —          |
| <i>Lathyrus pratensis</i> . . . . .      | 0,88          | 1,23       | 7,11                                      | 19,53      | —                                               | —          |
| <i>Trifolium pratense</i> . . . . .      | 2,06          | 1,74       | 1,02                                      | 0,03       | —                                               | —          |
| <i>Achillea millefolium</i> . . . . .    | 1,57          | 1,84       | 6,30                                      | 0,96       | —                                               | —          |
| <i>Centaurea nigra</i> . . . . .         | 5,70          | 6,13       | 2,54                                      | 1,11       | —                                               | —          |
| <i>Conopodium denudatum</i> . . . . .    | 4,61          | 0,61       | 9,44                                      | 3,67       | —                                               | —          |
| <i>Heracleum sphondylium</i> . . . . .   | —             | —          | 4,16                                      | 1,56       | —                                               | 0,05       |
| <i>Leontodon hispidus</i> . . . . .      | 6,87          | 1,53       | —                                         | —          | —                                               | —          |
| <i>Plantago lanceolata</i> . . . . .     | 18,93         | 11,95      | 1,32                                      | 0,50       | —                                               | —          |
| <i>Ranunculus</i> spp. . . . .           | 0,39          | 2,55       | 1,93                                      | 3,93       | —                                               | —          |
| <i>Rumex acetosa</i> . . . . .           | 1,95          | 4,19       | 10,55                                     | 7,10       | 1,15                                            | 0,11       |
| <i>Poterium sanguisorba</i> . . . . .    | 5,70          | 3,06       | —                                         | —          | —                                               | —          |

улучшается в Кокль-Парке (Нортумберленд). Эта разница в поведении его приписывается войлоку мертвой растительности на йоркширских полях, который существенно препятствует росту клевера, но который устраняется при известковании (стр. 373), тогда как в Кокль-Парке не имеется травянистого войлока, а про-

Таблица 111

Величины pH попарно сравниваемых почв, различающихся по своим условиям развития растений и микроорганизмов. Краудер (1925)

| Пункты наблюдений                | Растение  | Состояние почвы и растений | pH   | Состояние почвы и растений | pH   |
|----------------------------------|-----------|----------------------------|------|----------------------------|------|
| 1. Ротамстед . . .               | Брюква    | Кила                       | 5,85 | Нет килы                   | 7,90 |
| » . . .                          | »         | »                          | 6,05 | »                          | 7,87 |
| 2. Гарфорт . . .                 | »         | »                          | 5,66 | »                          | 6,13 |
| 3. Абердин . . .                 | Турнепс   | Много килы                 | 6,21 | Мало »                     | 7,13 |
| 4. Сомерсет . . .                | Ячмень    | Неудачные результаты       | 4,41 | Хороший результат          | 5,77 |
| 5. Ипсвич . . .                  | Люцерна   | То же                      | 6,15 | То же                      | 7,86 |
| 6. Каррингтон <sup>1</sup> . . . | —         | Некультивируемая почва     | 3,03 | Культивируемая             | 5,52 |
| Мосс . . . . .                   | —         | Плохое поле                | 4,88 | Хорошее поле               | 5,14 |
| 7. Пьюси . . . . .               | Картофель | Много парши                | 7,40 | Мало парши                 | 6,13 |
| » . . . . .                      | »         | »                          | 7,65 | »                          | 6,75 |

сто голая почва, которую достаточно только удобрить томасовым шлаком, чтобы она заселялась клевером; известь здесь совсем не требуется.

Пределы кислотности, в которых встречаются обычные пастбищные травы, установлены были Аткинсоном и Фентоном<sup>2</sup>, которые показали также, вполне согласно с указаниями практики, что на пастбищных площадях разной кислотности овцы и коровы низко подбедают траву на почвах с pH 6,5; довольно охотно падутся они и на несколько более кислых участках, но редко переходят на почвы с pH менее 5.

Влияние болезнетворных организмов, определяющее характер растительности на кислых почвах, хорошо видно на обрабатываемых землях. *Plasmodiophora brassicae* (организм «килы») выносит «кислотность» лучше, чем ее растения-хозяева—культивируемые *Brassica* (брюква, турнепс, капуста и т. д.); таким образом, она вредит на кислых почвах. Внесение извести улучшает почву для растений, но делает ее менее пригодной для паразитов<sup>3</sup> (табл. 111). С другой стороны, *Actinomyces chromogenus* (Оспрога—картофельная парша) менее вынослива к кислотности, чем ее растение-хозяин, и за пределами известной степени кислотности картофель может культивироваться без опасений поражения этой болезнью. Если даже почвы нуждаются в извести для других культур, как

<sup>1</sup> Эти почвы обсуждались E. Price-Evans. Journ. of Ecology, 1923, 11, 64—77.

<sup>2</sup> Sci. Proc. Royal Dublin Soc., 1930, 19, 533.

<sup>3</sup> О полевых испытаниях см. J. Hendrick, Trans. Highland Agric. Soc., 1918, 30, 137—145.



например, в Чeshire, то фермеры все же избегают известковать до полной уборки картофеля с поля, так как иначе парша может легко развиваться. Более кислые почвы могут нуждаться в известковании и для картофеля, но требуются большая опытность и тщательность при выборе дозы извести, во избежание парши. В Сельби (в Йоркшире) 1 т извести на акр оказывает полезное действие на картофель, но еще недостаточно для развития организма парши, тогда как 5 т/акр вызывают такое сильное развитие этой болезни, что получается картофель, совершенно не пригодный для рынка<sup>1</sup>.

Реакцией почвы обуславливаются также болезни от «недостатка» питательных веществ. Болезнь «серая пятнистость» на овсе происходит от недостатка марганца (стр. 96), но она реже встречается на кислых, чем на нейтральных, почвах.

Эффект реакции почвы на общее почвенное население обсуждался на стр. 371.

Много дискуссировался вопрос о причинах непригодности кислых почв для растений. Были изучены три возможности.

1. **Прямой вред от кислотности.** Некоторым возражением к принятию этого взгляда служит то, что величины рН кислых с.-х. почв редко падают ниже 5, тогда как многие хорошие культурные растения имеют гораздо более сильную кислотность. Так, например, в Ротамстеде для ячменя с успехом применялся раствор с рН 3,8, тогда как на полевых делянках в Вобэрне ячмень не растет при кислотности ниже 4,5. Однако оба эти случая не сравнимы между собой. Величина рН, найденная для данной почвы, является в сущности кислотностью водной суспензии обычно 1:5; так как это разбавление водой повышает рН, то найденная величина является более высокой, чем действительная величина для почвенного раствора, находящегося в контакте с корнем. Кроме того почва проявляет сильную буферность, чего лишен раствор; поглощая питательные вещества, растение вызывает некоторые изменения, которые понижают кислотность раствора, изменяя ее в сторону нейтральности или даже кислотности, тогда как в сильно буферных почвах такого эффекта не получается.

Взгляд, что вред причиняется кислотой, т. е. ионами Н, был принят Ольсенем (1923) в результате одного из наиболее исчерпывающих его исследований, какие когда-либо были сделаны. Поле-

<sup>1</sup> Частное сообщение J. A. Hanley. В Кильмарноке, при опытах, продолжавшихся свыше 8 лет, известкование наносило вред картофелю, но было благоприятным для овса (West of Scotland Agric. Coll. Bull. 55, 1911, стр. 193—216). Другие примеры см. у E. J. Salisbury, Journ. Ecology, 1920, 8, 205. По исследованиям Краудера, картофельная парша редко встречалась на почвах с рН ниже 6,1, тогда как Gillespie и Hurst (Soil Sci., 1917, 4, 313—319) нашли ее обычной на ушбэрнских суглинках в северной части штата Мейн, имеющих рН около 5,9, хотя и редко встречающейся на суглинках в Карибу, имеющих рН 5,2. Миллард (Leeds Bull. 118, 1920) показывает, что картофель реже заражается паршой при запашке под него зеленого удобрения.

вые работы его производились с большой точностью и результаты анализировались статистически, что является единственной удовлетворительной обработкой массовых полевых данных. Некоторые из его цифр приведены в таблице 112.

Таблица 112

Средняя встречаемость видов луговых трав на почвах с разным pH. Ольсен

| Группы по pH                            | 3,5—3,9 | 4—4,4 | 4,5—4,9 | 5—5,4 | 5,5—5,9 | 6—6,4 | 6,5—6,9 | 7—7,4 | 7,5—7,9 | Число пунктов |
|-----------------------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|---------------|
| <i>Deschampsia flexuosa</i> . . . . .   | 86      | 68    | 40      | —     | —       | —     | —       | —     | —       | 13            |
| <i>Calluna vulgaris</i> . . . . .       | 20      | 47    | 10      | 20    | —       | —     | —       | —     | —       | 13            |
| <i>Gallium hercynicum</i> . . . . .     | 94      | 77    | 40      | 20    | 15      | —     | —       | —     | —       | 18            |
| <i>Potentilla erectum</i> . . . . .     | 67      | 99    | 63      | 73    | 48      | 45    | 10      | 20    | —       | 39            |
| <i>Agrostis canina</i> . . . . .        | —       | 100   | 100     | 73    | 63      | 100   | —       | —     | —       | 12            |
| <i>Festuca ovina</i> . . . . .          | —       | 100   | 47      | 35    | 20      | 20    | 50      | —     | —       | 12            |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i> . . . . .  | 33      | 47    | 79      | 80    | 83      | 76    | 27      | 30    | 30      | 46            |
| <i>Deschampsia caespitosa</i> . . . . . | —       | —     | —       | 40    | 67      | 62    | 33      | 52    | 23      | 33            |
| <i>Cirsium oleratum</i> . . . . .       | —       | —     | —       | —     | —       | —     | 50      | 100   | 80      | 8             |
| <i>Angelica sylvestris</i> . . . . .    | —       | —     | —       | —     | —       | 35    | 33      | 48    | 30      | 14            |
| <i>Tussilago farfara</i> . . . . .      | —       | —     | —       | —     | —       | 10    | 10      | 55    | 80      | 9             |
| <i>Agrostis alba</i> . . . . .          | —       | —     | —       | —     | —       | —     | 30      | 65    | 60      | 7             |

Для других видов было найдено следующее распределение:

pH 4,5 или менее: *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Carex pilulifera*, *Luzula pilosa*, *Convallaria*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europea*.

pH 4,5 до 6: *Malica uniflora*, *Milium effusum*, *Asperula odorata*.

pH 6 до 7,4: *Hordeum sylvaticum*, *Mercurialis perennis*, *Allium ursinum*, *Aegopodium podagraria*, *Brachypodium sylvaticum*, *Ficaria verna*, *Geum urbanum*, *Anemone hepatica*, *Sanicula europea*.

2. Растворимые соединения алюминия, являющиеся результатом кислотности почвы, рассматриваются Гартвеллем и Пембером (1918) в Род-Айленде как главные токсические агенты; этот взгляд разделяется также Нью-Джерсейской опытной станцией<sup>1</sup> и другими учреждениями в США, в Гавайи, а также некоторыми специалистами по чаю в Индии<sup>2</sup>. Однако этот взгляд отвергается Олафом Аррениусом в его обследованиях шведских почв, за исклю-

<sup>1</sup> Частота встречаемости определялась на 10 пробных площадках (0,1 м²) на каждой выбранной делянке. Если растение находилось на 8 таких площадках одной делянки, то встречаемость его определялась в 80%. Цифры в таблице представляют средние встречаемости из всех делянок (пунктов).

<sup>2</sup> W. T. Mc George, Hawaiian Sugar Planter's Exp. Sta. Bull. 49, 1925, P. H. Carpenter and C. R. Harler, Indian Tea Assoc. Scientific Journ., 1921, 43. См. также N. Comber, Trans. Far. Soc., 1924, 537—572; K. Miyake and S. Tamachi, Journ. Biochem., 1924, 3, 305.

чением, может быть, ячменя<sup>1</sup>, а также Маджистадом в Висконсине<sup>2</sup> и Ольсенем, который, однако, также исключает ячмень.

3. Недостаток кальция является, повидимому, весьма важным фактором, так как часто встречаются случаи, когда растения выносят и низкие величины рН, если присутствует достаточное количество кальция. Этот вопрос изучается в настоящее время в Вобэрне. Робинсон считает, что кальциевый голод является главным фактором в Северном Уэльсе. Почвы возвышенностей, где кислотность является наиболее вредной и известкование наиболее эффективным, бедны обменным СаО (обычно менее 0,05 %); почвы в долинах также кислы, но содержат от 0,2 до 1 % и даже более обменного СаО и не отзываются на известкование. Морлэй Дэвис также дает примеры палеозоических почв с рН 5,8, но содержащих 0,65 % обменного СаО, которые не отзываются на известь.

Много исследовалась вторая группа растений, которые растут лучше в условиях кислотности, чем щелочности; сюда относятся люпин и верески, так называемые кальцифуги (растения, избегающие извести). Повидимому, решающим фактором является не предпочтение кислотности, а нетерпимость к кальцию. Хинклиф и Пристли<sup>3</sup> показывают, что метаболизм вереска, так же как и других растений, обычно встречающихся на плохо аэрируемых торфяных болотах, характеризуется образованием исключительно больших количеств жирowych веществ в форме отложений жиров, кутикулы, вторичной эндодермы и т. д., которые, как предполагается, дают растению большие преимущества в условиях роста на торфе. Предполагается, что кальций имел бы тенденцию к образованию с этими жирами нерастворимого мыла, удушая таким образом ткани непосредственно около точки роста и препятствуя поступлению воды. М. Рейнер<sup>4</sup> показал, что решающим фактором не являются ни физические условия ни обратный эффект на микоризу, от которой зависит растение.

### Имеются ли в почве токсины?

Среди практиков упорно держится взгляд, что одни растения могут отравлять другие. Еще в начале прошлого века де-Кандоль формулировал гипотезу, что растения выделяют из своих корней токсины (ядовитые вещества), которые остаются в почве в течение некоторого времени и вредят другим растениям тех же видов, но не являются обязательно вредными для других видов. Этим он объяснял известный факт, что плодосмен культур в севообороте является более эффективным, чем система бессменной куль-

<sup>1</sup> Zeit. f. Pflanz. Düng., 1925, A., 4, 348—358. См. также его Kalkfrage, Bodenreaction and Pflanzenwachstum, Leipzig, 1926.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1925, 20, 181—225.

<sup>3</sup> Naturalist, July, 1924, стр. 201.

<sup>4</sup> M. C. Rayner, Annals of Botany, 1915, 29, 97—133.



туры; в севообороте токсины, выделяемые в частности каким-нибудь растением, являются безвредными для последующих культур и успевают исчезнуть из почвы до занятия ее вновь первым растением.

Эта гипотеза подвергалась испытаниям в классических исследованиях Добени в Оксфорде (1845), но не могла получить достаточного подтверждения. На одних и тех же делянках выращивалось непрерывно 18 различных растений и урожаи сравнивались с урожаями их при чередовании на других делянках при условии, что ни одно растение никогда не следовало за растением того же самого вида. Никакого удобрения не вносилось. Результаты показали постепенное падение урожаев почти во всех случаях, и падение это было обыкновенно более сильным, когда растение повторялось из года в год на одной и той же делянке, чем там, где растения чередовались. Тем не менее разница в величине урожаев в обоих случаях не была достаточной, чтобы оправдать предположение о существовании какого-либо токсина, за исключением, может быть, случая *Euphorbia lathyris*; в других 17 случаях разница была отнесена на более быстрое истощение минеральными веществами, требовавшимися для растения на делянках с непрерывной культурой. Это объяснение подкреплялось анализами золы растений и почвы,—анализами, которые привели к установлению очень важного различия между усвояемой и неусвояемой пищей растений.

Вегетационные опыты, произведенные автором в Ротамстеде, привели к такому же заключению. Не было получено никаких доказательств какого-либо длительного токсического эффекта, оказывавшегося одной культурой на последующую.

Однако растения оказывают влияние на своих соседей. Пикеринг (1903) нашел в Вобэрне—и эти наблюдения были подтверждены повсеместно,—что эффект травы, растущей вокруг яблонь, выражается в приостановке здорового роста их. Листья принимают нездоровую светлую окраску, кора также становится светло-окрашенной, а плоды теряют зеленое вещество и приобретают желтый восковой или блестящий красный цвет. Там, где залужение травами совершалось постепенно, деревья сами несколько приспособлялись к изменившимся условиям, но никогда не росли так хорошо, как при отсутствии трав. Этот эффект мог происходить от разных причин: изменений в аэрации, температуре, снабжении водой, снабжении питательными веществами или от физических условий почвы, но с помощью даже тщательных экспериментальных исследований не удавалось установить, чтобы какой-либо из этих факторов заметно проявлялся. Покрытие почвы цементом также исключает доступ воздуха не меньше, чем трава, и, однако, не производит такого эффекта, как последняя. Равным образом рост не подавляется в очень влажные сезоны, при обильном орошении или при снабжении (при вегетационных опытах)



достаточным количеством воды или питательных растворов для поддержания почвы около деревьев, окруженных и не окруженных травой, на одинаковой влажности или в одинаковых условиях снабжения пищей. С другой стороны, такой же эффект, как от травы, получался, когда на почву ставились продырявленные подносы с песком, в которых росла трава, так что промывные воды после травы проходили прямо к корням. Повидимому, в данном случае корням травы на подносах не представлялось возможности извлекать что-либо из почвы, и, по всей вероятности, единственным объяснением могло служить выделение травой токсинов.

Другие растения вели себя подобным же образом. Отсюда Пиккеринг пришел к заключению, что токсины производятся всеми растущими растениями. Ему не удалось открыть химические свойства их, за исключением того, что они оказываются очень нестойкими, так как никакие токсические свойства не могли быть открыты ни в почве, снятой с корней растения, ни в промывных водах с подносов. Кроме того не было никаких признаков различия между токсинами одного или другого растения: вред замечался одинаковый, какие бы растения ни выращивались в банках или в подносах, и токсические действия не ограничивались растениями одного и того же вида, как предполагал де-Кандоль.

Согласно взглядам Пиккеринга, одно растущее растение может наносить вред, и действительно наносит его другим растениям, растущим рядом с ним, но вред этот продолжается только в течение жизни растения и прекращается с его смертью. Таким образом, токсическое вещество является преходящим, а не постоянным, и оно может образоваться растением в любой почве независимо от того, плодородна она или нет.

Бьюли, на Чесхунтской опытной станции, получил совершенно подобный же эффект с огурцами.

Уитни (1906), Камерон (1911) и Шрейнер<sup>1</sup> (1907) высказали взгляд, что органические токсические вещества могут встречаться в неплодородной почве. Водные экстракты из бедной почвы содержали те же самые количества питательных веществ растения, как и экстракты из хороших почв, и, однако, давали гораздо худший рост корней. Было найдено, что бедная почва содержала в себе дигидроксистеариновую кислоту, которая является ядовитой для растений<sup>2</sup>. Возможность того, чтобы органические токсины могли накапливаться при известных условиях, заслуживает дальнейших критических исследований в свете современных знаний о почвенной кислотности.

Заслуживают дальнейшего изучения также некоторые наблюдения, если они действительно хорошо обоснованы. Так, например,

<sup>1</sup> См. также B. E. Livingstone, Jensen, Breazeale Pember and Skinner, U. S. Bur of Soils Bull. 36, 1907.

<sup>2</sup> Schreiner and Lathrop, Journ. Amer. Chem. Soc., 1911, 33, 1412—1417.

в США считают, что сорго вредит последующей культуре; в полусахливых западных районах оно вызывает и декоагуляцию почвы.

Бризил<sup>1</sup> утверждает, что токсическое вещество образуется во время разложения пожнивных остатков стеблей после заделки их, что не только вредит следующей культуре, но приостанавливает также и деятельность бактерий, сокращает выделение углекислоты и нарушает равновесие между соотношением натрия и кальция в почве, что вызывает декоагуляцию.

Современное положение вопроса может быть кратко резюмировано следующим образом.

Совершенно не имеется никаких очевидных доказательств присутствия растворимых токсинов в почвах, нормально аэрируемых и достаточно снабжаемых пищей растений и карбонатом кальция.

Токсины, включая сюда и водородные ионы, растворимые соединения алюминия, железа и марганца и органические вещества, могут встречаться в «кислых» почвах с плохой аэрацией и недостатком карбоната кальция, равно как и в других истощенных почвах.

Не имеется никаких очевидных доказательств каких-либо делений растений, придающих токсические свойства почве, но результаты опытов с фруктовыми деревьями в Воберне показывают, что растущее растение может отравлять своих соседей. Эффект этот не является, повидимому, специфическим. Любое растение может испытывать вред от других, находящихся по соседству, но оно может более страдать от растений того же вида, чем от других видов<sup>2</sup>.

**Бактерио-токсины.** Некоторые наблюдатели, к которым относятся Грейт-Смит<sup>3</sup>, Боттомлей<sup>4</sup> и другие, утверждают, что они нашли в почве растворимые бактерио-токсины. Хэтчинсон и Тейсен<sup>5</sup>, с другой стороны, получили совершенно отрицательные результаты и пришли к заключению, что растворимые бактерио-токсины не являются нормальными составными частями почвы и свидетельствуют только о каких-либо необычных почвенных условиях там, где они встречаются. Но возможность существования в почве токсинов, не растворимых в воде, не отрицается.

<sup>1</sup> Journ. Amer. Soc. Agron., 1924, 16, 689—700.

<sup>2</sup> Так, например, Burmester (Fühl. Landw. Zeit., 1914, 63, 547—556) считает, что пырей (*Triticum* или *Agropyrum repens*) повышает урожай овса, д-р Бренчли нашел, что некоторые сорняки оказывали такой же эффект на урожай пшеницы *per plant* (через растение) (New Physiologist, 1917, 16, 53—76).

<sup>3</sup> Centr. Bakt., Abt. II, 1911, 30, 154; Proc. Linn. Soc. New South Wales, 1918, 43, 142.

<sup>4</sup> Brit. Ass. Rept., 1911.

<sup>5</sup> Journ. Agric. Sci., 1918, 9, 43—62.

## Бессменные культуры. Севообороты. Почвоутомление

Факт, что любая культура растет лучше в севообороте в чередовании с другими культурами, чем при непрерывном возделывании из года в год, ждет еще своего полного объяснения. Количественная сторона этого эффекта видна из таблицы 113, в которой приведены урожаи пшеницы, выращиваемой в Ротамстедте без удобрения в трех резко различных условиях: непрерывной культуры пшеницы по пшенице, чередования пшеницы через каждый год с паром и посева пшеницы в четырехпольном севообороте.

Особенно чувствительны в этом отношении бобовые: так, например, клевер редко хорошо удается при посеве на одной и той же почве чаще, чем раз в четыре года. Практики, обычно склонные олицетворять природу, говорят, что земля становится больной или утомленной, и предполагают, что для нее, как и для людей, является полезной перемена. Ротамстедское опытное поле дает наглядное представление по этому предмету и показывает, что непрерывная культура одного и того же растения сопряжена с большими трудностями.

Таблица 113

*Пшеница, непрерывно выращиваемая без удобрения в Ротамстедте: 1) — непрерывная культура; 2) в чередовании через год с паром; 3) в четырехпольном севообороте. Средние урожаи, через каждые 4 года; с 1851 г. по 1927 г.*

|                                                                              | Урожай<br>зерна на<br>акр (в бу-<br>шелях) |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1) Бессменная пшеница (Бродбок, дел. 3) . . . . .                            | 11,3                                       |
| 2) Пшеница после пара (Хуз-Филд, дел. 0) . . . . .                           | 14,0                                       |
| 3) Пшеница в севообороте (Агдельское поле, дел. 5,<br>бывш. 21—22) . . . . . | 24,0                                       |

1. Непрерывная культура обычно сопровождается однообразием приемов обработки, что может оказать вредный эффект на почву. Повторяющаяся вспашка на одну и ту же глубину способствует образованию твердого слоя или «плужной подошвы», нарушающего деятельность корней; в севообороте имеется меньше шансов для этого, так как глубина вспашки изменяется по крайней мере один раз каждые три или четыре года.

2. Непрерывная культура благоприятствует укоренению сорных трав, особенно приспособленных для жизни среди культурных растений. Пшеничное поле в Бродбоке и Ротамстедте чрезвычайно засорено лисохвостом (*Alopecurus agrostis*), диким маком (*Paraver rhoeas*) и местами мать-мачехой (*Fussilago farfara*). Поля в севообороте гораздо меньше подвергаются заселению сорняками, так как промежуточный год с корнеплодами представляет благоприятную возможность для искоренения сорняков.



3. Непрерывная культура благоприятствует также упорному сохранению болезней и вредителей, в особенности таких, которые могут переживать в почве только сравнительно короткие периоды времени или могут находить по близости другие растения, на которых они поселяются<sup>1</sup>.

4. Непрерывная культура не представляет благоприятных возможностей для поддержания в почве органического вещества, как это возможно в нормальном севообороте с клевером или с посевом смешанных трав. Это очень хорошо видно в севообороте на агдельском поле, половина которого засеивается клевером раз в четыре года, тогда как другая половина не засеивается (табл. 114).

Таблица 114

Культуры, выращиваемые в двух севооборотах: в одном, включающем клевер каждые 4 года, в другом—без клевера. Агдельское поле, Ротамстед. Продукция на акр (с 1848 г. по 1930 г.)

| Удобрение                    | Клевер<br>(сепо) | Пшеница (общая продукция) |                 | Корнеплоды (корни) |                           | Ячмень (зерно) |                 |
|------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|----------------|-----------------|
|                              |                  | После клевера             | После па-<br>ра | После клевера      | После па-<br>ра           | После клевера  | После па-<br>ра |
|                              | англ.<br>центн.  | англ.<br>фунт.            | англ.<br>фунт.  | англ.<br>центн.    | англ.<br>п. втн.<br>(cwt) | буш.           | буш.            |
| Без удобрения . . . . .      | 27,1             | 3 533                     | 3 695           | 8,0                | 18,7                      | 13,2           | 15,9            |
| Только минеральные . . . . . | 52,3             | 5 245                     | 4 690           | 196,6              | 159,4                     | 23,9           | 18,3            |
| Минеральные+азот . . . . .   | 52,6             | 4 863                     | 4 797           | 267,6              | 339,6                     | 29,4           | 22,5            |

5. При некоторых специальных условиях, как, например, на фермах полей орошения или в теплицах с поддержанием высокой температуры и влажности, деятельность микроорганического населения нарушается и может вырабатывать меньшее количество пищи растений.

Эти пять рассмотренных моментов, повидимому, объясняют причины разницы между урожаями в севообороте и при непрерывной культуре, а также явлений «заболевания», «утомления» почвы.

Проблема культуры в теплицах имеет важное техническое значение, и она детально исследовалась Расселом и Петербриджем (1912), причем выработанные методы воздействия базировались

<sup>1</sup> См. A. Koch (1899) and H. I. Bolley, North Dakota Agr. Exp. Sta. Bull. 107, 1913.



на частичной стерилизации почвы. Этот прием оказался настолько эффективным, что нагревание паром или обработка ядами (обычно крезолом) вошли в обычную общепризнанную практику в Lea Valley; исследования продолжаются в Ротамстеде и на Чесхунтской опытной станции<sup>1</sup>, где изучается также эффект исчезновения остатков дернины.

### Действие растущего растения на почву и на почвенные организмы

Хотя растущее растение, повидимому, не образует никаких стойких токсинов, но оно все же оказывает прямое влияние на почву в нескольких направлениях. Оно значительно изменяет почвенный раствор, поглощая нитраты, фосфаты и другие питательные вещества (стр. 396)<sup>2</sup>. Но действие это бывает различно в различные периоды жизни растения. Так Burd (1919) в росте ячменя различает три периода.

До образования колоса темп поглощения прогрессивно возрастает, пока, окончательно, количество азота и калия в растении не достигнет максимума.

Период транслокации материала в развивающийся колос, в течение которого происходит не только замедление темпа поглощения из почвы, но и существенные потери азота и калия надземными частями растения; к концу этого периода некоторая часть потерянных веществ возвращается.

В третьем периоде созревание завершается, абсорбция прекращается и возобновляются потери. Эти потери были экспериментально прослежены только в надземных частях растения, и невозможно установить, относятся ли они к растению в целом, в виду трудности полного извлечения корней из почвы. Предполагается, однако, что эти потери имеют место<sup>3</sup>.

В естественных условиях элементы, поглощенные растением из почвы, в конце концов возвращаются в поверхностный слой почвы. Принося разные вещества из более глубоких слоев на поверхность, растения действуют до некоторой степени в обратном направлении с эффектом дождя, вымывающего растворимые вещества из поверхности вглубь.

Различные растения сильно варьируют по относительным количествам питательных веществ, поглощаемых ими, даже когда

<sup>1</sup> Cheshunt Ann. Repts., а также F. Bewley, Bull. Min. Agric., 1931, № 22.

<sup>2</sup> Общие поглощенные количества см. стр. 438.

<sup>3</sup> Le Clerc, U. S. Dep. of Agric. Year Book, 1908, 389—402; Андрэ (Compt. rend., 1910, 151, 1378—1382) также поддерживает взгляд, что потери совершаются скорее через вымывание из листьев, чем из корней. Масовые данные, повидимому, указывающие на потери из корней, см. Wilfarth, Roemer и Wimmer (1905). Новейшие исследования лишеничного растения см. у F. Knowles and J. E. Watkin, Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 612—637.

они растут в сходных условиях. Английские данные, собранные Уорингтоном, приведены в таблице 115; обширные немецкие таблицы, дающие не только окончательные количества, но также и количества, поглощаемые растением в разные периоды роста, были опубликованы Вильфартом, Ремером и Виммером (1905). Злаки поглощают меньше питательных веществ, чем какие-либо другие из изучавшихся культур; как видно из таблицы, общее количество сухого вещества в урожае их приблизительно такое же, как и в урожае клеверного сена и брюквы, и выше, чем в луговом сене и в бобах, хотя они берут из почвы только почвовину азота и калия и только третью часть кальция, по сравнению с последними. Клевер берет большие количества калия, кальция и магния, тогда как кормовая свекла берет гораздо более значительные количества азота, калия, магния, фосфорной кислоты и хлора, чем какая-либо другая культура. Цифры для картофеля не полны, но новейшие данные заставляют предполагать, что, в частности, количества перечисленных веществ, остающиеся в ботве, очень невелики.

Другой эффект растущего растения на почву заключается в нарушении реакции ее. Это зависит, отчасти, от относительных количеств кальция, поглощаемого растением из почвы, а частью также от выделения  $\text{CO}_2$  из корней растения. Очень яркие результаты были получены на опытной станции в Род-Айленд, где кормовая свекла берет так много кальция и магния, что даже повышает кислотность почвы и содержание в ней растворимых алюминевых солей, с большим ущербом для последующих культур, чувствительных к кислотности, как например для лука; с другой стороны, полевица (*Agrostis alba*) берет меньше кальция и причиняет гораздо меньше вреда<sup>1</sup>.

Так как все растения выделяют из своих корней углекислоту, то можно было бы ожидать, что все они должны закислять почву. Но, повидимому, такой результат не является обязательным: водные культуры имеют тенденцию становиться щелочными, так как растение поглощает кислый радикал из нитрата натрия и освобождает основание, которое немедленно превращается в карбонат. Холл и Миллер (1905), а позднее Maschlaupt<sup>2</sup> получили очевидные доказательства подобного же действия в почве, с превращением нитрата кальция, образовавшегося от нитрификации, в карбонат кальция, тогда как нитратный радикал поглощается растением.

В результате этого замечается тенденция к увеличению количества кальция в почве.

Так как  $\text{CO}_2$ , выделяемую корнями растений, невозможно учесть отдельно от углекислоты, доставляемой микроорганизмами.

<sup>1</sup> Суммарный обзор см. В. Hartwell, Journ. Amer. Soc. Agron., 1927, 19, 255, а также P. S. Burgess, Rhode Island Agr. Exp. Sta., Bull. 198, 1924.

<sup>2</sup> Verslag Landb. Onderzoek Rijksland. Bouw proefstat, 1911, 10, 50—93.

## Количество различных веществ, поглощаемое

|                                       | Вес урожая * |                 | Вся зола | N     | S     |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|----------|-------|-------|
|                                       | При уборке   | Сухого вещества |          |       |       |
|                                       | Фунт.        | Фунт.           | Фунт.    | Фунт. | Фунт. |
| Пшеница, зерно, 30 буш. . . . .       | 1 800        | 1 530           | 30       | 34    | 2,7   |
| » солома . . . . .                    | 3 158        | 2 653           | 142      | 16    | 5,1   |
| Весь урожай . . . . .                 | 4 958        | 4 183           | 172      | 50    | 7,8   |
| Ячмень, зерно, 40 буш. . . . .        | 2 080        | 1 747           | 46       | 35    | 2,9   |
| » солома . . . . .                    | 2 447        | 2 080           | 111      | 14    | 3,2   |
| Весь урожай . . . . .                 | 4 527        | 3 827           | 157      | 49    | 6,1   |
| Овес, зерно, 45 буш. . . . .          | 1 890        | 1 625           | 51       | 34    | 3,2   |
| » солома . . . . .                    | 2 835        | 2 353           | 140      | 18    | 4,8   |
| Весь урожай . . . . .                 | 4 725        | 3 978           | 191      | 52    | 8,0   |
| Луговое сено, 1/2 т. . . . .          | 3 360        | 2 822           | 203      | 49    | 5,7   |
| Красный клевер, сено, 2 т. . . . .    | 4 480        | 3 763           | 258      | 98    | 9,4   |
| Бобы, зерно, 30 буш. . . . .          | 1 920        | 1 613           | 58       | 78    | 4,4   |
| » солома . . . . .                    | 2 240        | 1 848           | 99       | 29    | 4,9   |
| Весь урожай (бобы) . . . . .          | 4 160        | 3 461           | 157      | 107   | 9,3   |
| Турнепс, корни, 17 т. . . . .         | 38 087       | 3 126           | 218      | 61    | 15,2  |
| » ботва . . . . .                     | 11 424       | 1 531           | 146      | 49    | 5,7   |
| Весь урожай . . . . .                 | 49 504       | 4 657           | 364      | 110   | 20,9  |
| Брюква, корни, 14 т. . . . .          | 31 360       | 3 349           | 163      | 70    | 14,6  |
| » листья . . . . .                    | 4 704        | 706             | 75       | 28    | 3,2   |
| Весь урожай . . . . .                 | 36 064       | 4 055           | 238      | 98    | 17,8  |
| Свекла кормовая, корни, 22 т. . . . . | 49 280       | 5 914           | 426      | 98    | 4,9   |
| » ботва . . . . .                     | 18 233       | 1 654           | 254      | 51    | 9,1   |
| Весь урожай . . . . .                 | 67 513       | 7 568           | 680      | 149   | 14,0  |
| Картофель, клубни, 6 т. . . . .       | 13 440       | 3 360           | 127      | 46    | 2,7   |

\* Приведенные урожаи не являются средними, хотя они принадлежат  
 \* Урожаи приведены в англ. фунтах на акр. 1 фунт/акр = 1,12 кг/га.

из почвы обычными урожаями в Англии. Уорингтон<sup>1</sup>

Таблица 115

| K <sub>2</sub> O                     | Na <sub>2</sub> O               | CaO                                 | MgO                               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | Cl                               | SiO <sub>2</sub>                  |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Фунт.                                | Фунт.                           | Фунт.                               | Фунт.                             | Фунт.                               | Фунт.                            | Фунт.                             |
| 9,3<br>19,5                          | 0,6<br>2,0                      | 1,0<br>8,2                          | 3,6<br>3,5                        | 14,2<br>6,9                         | 0,1<br>2,4                       | 0,6<br>96,3                       |
| 28,8<br>9,8<br>25,9                  | 2,6<br>1,1<br>3,9               | 9,2<br>1,2<br>8,0                   | 7,1<br>4,0<br>2,9                 | 21,1<br>16,0<br>4,7                 | 2,5<br>0,5<br>3,6                | 96,9<br>11,8<br>56,8              |
| 35,7<br>9,1<br>37,0                  | 5,0<br>0,8<br>4,6               | 9,2<br>1,8<br>9,8                   | 6,9<br>3,6<br>5,1                 | 20,7<br>13,0<br>6,4                 | 4,1<br>0,5<br>6,1                | 68,6<br>19,9<br>65,4              |
| 46,1<br>50,9<br>83,4<br>24,3<br>42,8 | 5,4<br>9,2<br>5,1<br>0,6<br>1,7 | 11,6<br>32,1<br>90,1<br>2,9<br>26,3 | 8,7<br>14,4<br>28,2<br>4,2<br>5,7 | 19,4<br>12,3<br>24,9<br>22,8<br>6,3 | 6,6<br>14,6<br>9,8<br>1,1<br>4,3 | 85,3<br>56,9<br>7,0<br>0,4<br>6,9 |
| 67,1<br>108,6<br>40,2                | 2,3<br>17,0<br>7,5              | 29,2<br>25,5<br>48,5                | 9,9<br>5,7<br>3,8                 | 29,1<br>22,4<br>10,7                | 5,4<br>10,9<br>11,2              | 7,3<br>2,6<br>5,1                 |
| 143,8<br>63,3<br>16,4                | 24,5<br>22,8<br>9,2             | 74,0<br>19,7<br>22,7                | 9,5<br>6,8<br>2,4                 | 33,1<br>16,9<br>4,8                 | 22,1<br>6,8<br>8,3               | 7,7<br>3,1<br>3,6                 |
| 79,7<br>222,8<br>77,9                | 32,0<br>69,4<br>49,3            | 42,4<br>15,9<br>27,0                | 9,2<br>18,3<br>24,2               | 21,7<br>36,4<br>16,5                | 15,1<br>42,5<br>40,6             | 6,7<br>8,7<br>9,2                 |
| 300,7<br>76,5                        | 118,7<br>3,8                    | 42,9<br>3,4                         | 42,5<br>6,3                       | 52,9<br>21,5                        | 83,1<br>4,4                      | 17,9<br>2,6                       |

к обычным на фермах.  
Прим. перев.



то становится также невозможным выделить роль, которую играет в продукции каждый из этих факторов. Рассель и Апплеярд нашли, что почва, покрытая злаками, содержала большие количества  $\text{CO}_2$  в период созревания (1915), что могло быть результатом воздействия растений.

Растущее растение оказывает значительное влияние на почвенные микроорганизмы. Многие наблюдатели находили в почве, занятой растениями, больше бактерий, чем в почве, находящейся под паром<sup>1</sup>. Старки<sup>2</sup> показал, что в засеянных почвах число некоторых бактерий возрастало вблизи корней растений, равно как и выделение углекислоты и темп образования нитратов; этот эффект сравнительно слабо проявлялся в ранней жизни растения, но усиливался по мере достижения растением полного роста и был выше для двухлетних растений, продолжавших свой рост, чем для однолетних. В заметной степени этот же эффект проявляет рапс и в гораздо меньшей степени картофель.

Однако общее количество нитратов, находящихся в почвах, занятых посевами, бывает ниже, чем в прилегающих паровых почвах, даже если сделать поправку на количество, поглощаемое растением.

Эти явления наблюдались в Ротамстеде (таблица 116), в Гриньоне<sup>3</sup>, Итаке, Европе, Индии<sup>4</sup> и Египте<sup>5</sup>. При столь широко варьирующих климатических условиях это едва ли может быть приписано незначительной разнице температуры и содержания влажности между почвами, занятыми и не занятыми растениями. Влияние растения на накопление нитратов впервые наблюдалось в 1905 г. Уорингтоном; дренажные воды Бродска содержали меньше нитратов, чем ожидалось от внесенного навоза и сжатого хлеба, и результат он приписал частью денитрификации и частью некоторому неясному взаимодействию между растениями и нитратами. Майон и Бизель нашли, что картофель, пшеница и овес оказывали влияние на накопление нитратов, кукуруза же — только в более поздних фазах роста, но не в ранних. Эти исследователи выдвинули объяснение, которое удовлетворительно согласуется с уменьшением накопления нитратов при увеличении числа бактерий: они предполагают, что корни дают экссудат некоторого органического вещества или отбрасывают свои отмершие остатки, что вызывает размножение бактерий, которые в свою очередь потребляют нитраты<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> В том числе С. А. Le Clair, Journ. Agric. Res., 1915—1916, 5, 439—447, и Graves, Stewart and Hirst, Journ. Agric. Res., 1917, 9, 293—341.

<sup>2</sup> Soil Sci., 1927, 27, 319, 355, 433.

<sup>3</sup> Dehérain (1892).

<sup>4</sup> Leather (1912).

<sup>5</sup> Prescott, Journ. Agric. Sci., 1919, 9, 26 и 1920, 10, 177.

<sup>6</sup> Размножение бактерий было доказано J. K. Wilson'ом, T. L. Lyon'ом, Cornell Agr. Exp. Sta. Mem., 103, 1926.

Таблица 116

Азот нитратов в засейной и незасейной почвах

а) В Ротамстеде. Рассель (Journ. Agric. Sci., 1914, 6, 18—57)

|                                                              | Июнь, 1911 г. |                | Июль, 1912 г. |                |
|--------------------------------------------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
|                                                              | Паровая земля | Засейная земля | Паровая земля | Засейная земля |
| N в виде нитратов в верхних 18 дюймах почвы (июнь) . . . . . | 54            | 15             | 46            | 13             |
| Азота в урожае (в фунт/акр) . . . . .                        | —             | 23             | —             | 6              |
| Всего (в фунт/акр) . . . . .                                 | 54            | 38             | 46            | 19             |
| Дефицит в засейной почве (в фунт/акр) . . . . .              | —             | 16             | —             | 27             |
| Частей на миллион                                            |               |                |               |                |
| N в виде нитратов на глубине от 0 до 9 дюймов . . . . .      | 12            | 4              | 8             | 2              |
| N в виде нитратов на глубине от 9 до 18 дюймов . . . . .     | 9             | 2              | 10            | 3              |

б) В Итаке (штат Нью-Йорк). Лайон (Lyon) и Биззель. Частей на миллион

| 1908 г.              | Пар  | Кукуруза | 1909 г.             | Пар  | Овес |
|----------------------|------|----------|---------------------|------|------|
| 19 мая . . . . .     | 4,9  | 3,9      | 22 апреля . . . . . | 19,0 | 10,9 |
| 12 июня . . . . .    | 10,9 | 9,3      | 24 июня . . . . .   | 12,6 | 2,5  |
| 6 июля . . . . .     | 14,5 | 14,2     | 12 июля . . . . .   | 12,5 | 1,0  |
| 27 » . . . . .       | 42,1 | 43,2     | 7 августа . . . . . | 18,4 | 0,8  |
| 10 августа . . . . . | 40,3 | 37,3     |                     |      |      |

## Нормальные условия на тяжелой почве

В таблице 117 суммированы многие из ротамстедских результатов, которые показывают условия, нормально имеющие место на тяжелой почве в Гертфордшире, при годовых осадках 28—30 дюймов.

Таблица 117

Условия, характеризующиеся обычно в почве *Ротамстеда*

| Условия удобрения почвы              | Влажность почвы <sup>1</sup> |       | Всего азота       |               | Азота в виде нитратов |               | Число бактерий мин./грамм |                                           | CO <sub>2</sub> в почечном воздухе, в % по объему |                      |
|--------------------------------------|------------------------------|-------|-------------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|
|                                      | % от объема                  | веса  | Частей на миллион | Фунтов на акр | Частей на миллион     | Фунтов на акр | Всего (приблизительно)    | Число выростов на 1 см <sup>2</sup> почвы |                                                   |                      |
|                                      |                              |       |                   |               |                       |               |                           |                                           |                                                   |                      |
|                                      |                              |       |                   |               |                       |               |                           |                                           |                                                   |                      |
| Без удобрения . . . . .              | Посев                        | 23—12 | 15—8              | 990           | 2500                  | 5—12          | 12—30                     | 1000                                      | 10                                                | 0,2—0,6 <sup>2</sup> |
| Плохие условия . . . . .             | Пар                          | 23    | 15                |               |                       |               |                           |                                           |                                                   |                      |
| Навозное удобрение . . . . .         | Посев                        | 30—15 | 17—8              | 2200          | 5000                  | 10—20         | 25—50                     | 3000                                      | 30                                                | 0,5—1,0 <sup>3</sup> |
|                                      | Хорошие условия . . . . .    | Пар   | 30                |               |                       |               |                           |                                           |                                                   |                      |
| Обыкновенное пахотное поле . . . . . | Посев                        | 25—12 | 15—8              | 1500          | 3700                  | 10—15         | 25—36                     | 2000                                      | 20                                                | 0,5—1,0 <sup>4</sup> |

<sup>1</sup> Концентрация растворенных веществ порядка 0,2% и осмотическое давление около 1 атмосферы.<sup>2</sup> В отдельных случаях доходит до 1,8.<sup>3</sup> В отдельных случаях до 2,5.<sup>4</sup> В отдельных случаях до 2,3.

## ГЛАВА VIII

### ПОЧВА В ОТНОШЕНИИ ЕЕ К РОСТУ РАСТЕНИЙ

Отношения растительности к почве определяется тем, в какой степени почва может снабжать водой, воздухом, теплом, питательными веществами и другими условиями, необходимыми для роста растений, а эти условия, в свою очередь, зависят:

- 1) от состава почвы;
- 2) от климата;
- 3) от положения почвы;
- 4) от профиля почвы.

Влияние составных частей почвы нами уже рассмотрено.

Влияние климата может быть тройным. Действуя в течение длинных геологических периодов, климат в значительной степени определял состав минеральных компонентов почвы благодаря своему влиянию на разрушение и разложение первоначальных пород. За короткие периоды времени климат оказывает большое влияние на органическое вещество почвы, действуя на растения, из которых возникло это органическое вещество. Влажность, тепло и аэрация благоприятствуют развитию сочной растительности, которая оставляет после себя на почве легко разлагающиеся листья и стебли; изобилуют дождевые черви и бактерии и дают продукты нормального разложения, образующие «сладкий гумус», что делает почву плодородной. Засушливые условия содействуют узколистной, ксерофитной растительности, кожистые остатки которой хотя и смешиваются с почвой, но являются слишком инертной средой для развития дождевых червей и бактерий, так что разложение идет с трудом. Влажность и недостаток аэрации благоприятствуют другому роду растительности и разложению, образуя либо «сладкий» гумус, либо «кислый» гумус в зависимости от количества присутствующего карбоната кальция.

Наконец, атмосферные осадки определяют количество воды, достигающей почвы, между тем как температура, ветер и т. д. определяют количество влаги, испаряющейся с поверхности.

Положение почвы—характер рельефа и высота—влияет на ее температуру, снабжение водой и состав, а в особенности на ее реакцию и содержащиеся в ней растворимые вещества.





производятся в Чехословакии, и шестой комиссией Интернационального общества почвоведения была выработана схема дальнейших опытов<sup>1</sup>.

Различные опыты, проведенные до сих пор, показывают, что вода стремится просачиваться вниз в трещины и щели в почве<sup>2</sup>. На пылеватой почве возникают особенные трудности вследствие того, что ил уносится вниз с водой и закупоривает промежутки (Fugen) между дренажными трубами, препятствуя, таким образом, доступу воды в трубы. Это затруднение устраняется прокладкой слоя мелкой соломы на трубы до засыпки траншей почвы<sup>3</sup>. Высокий уровень подпочвенной воды не только сокращает корневую зону, но также увеличивает потерю азота из почвы<sup>4</sup>. Даже временный подъем уровня подпочвенной воды может быть вреден<sup>5</sup>.

Дренаж в Англии сильно повлиял на естественную флору и фауну. В интересном обзоре изменений флоры в Гертфордшире Салисбюри (E. J. Salisbury) показал, что почти  $\frac{2}{3}$  из 80 видов аборигенных обитателей влажных или сырых почв уменьшилось или исчезло с тех пор, как было начато ведение записей; остальные были по преимуществу аборигенами пустошных земель<sup>6</sup>.

Вода, просачивающаяся через почву, содержит в себе углекислоту и растворяет все, что может, в верхних слоях; с течением времени она может переместить много заменяемого кальция и других оснований, оставляя верхние слои более бедными растворимыми веществами, более кислыми по реакции, отзывчивыми на внесение извести. Это растворимое вещество накапливается на более низких уровнях, поэтому более низкие местности имеют склонность содержать в себе больше растворимых веществ, больше обменных оснований и больше приближаться к нейтральности в реакции, чем высоколежащие местности, не реагируя на внесение извести. Данные различия показаны на рисунке 58.

Совокупное действие на растительность этих различных влия-

<sup>1</sup> План выработан O. Fauser'ом в Proc. Inst. Soc. Soil Sci., 1929, 4, 320.

Результаты опытов опубликованы частично в отчетах вышеуказанных институтов, но главным образом в Der Kulturtechniker. Чехословацкие результаты были описаны R. Janota, Int. Cong. Soil Sci., Washington, 1927, 4, 726—745 и E. Gazdik ibid. 783—790. Обсуждение почвенных физических проблем см. в статье F. Zunker'a в B. E. Blanck's Handbuch, vol. VII, а об общих сведениях, касающихся всего вопроса, см. J. Rothe's Handbuch der Landw., Aereoboe, Hansen and Roemer, 1929, Bd. 2, 138 или E. Krüger, Kulturtechnischer Wasserbau, 1921, Berlin, Julius Springer.

<sup>2</sup> О попытках выразить соотношение между физическими свойствами почвы, ее глубиной и расстоянием дренажных труб в различных почвах см. F. Zunker, Der Kulturtechniker, 1928, 31, 38, and H. Janert, Zeit. f. Pflanz. Düng. 1931, A. 19, 307.

<sup>3</sup> Landw. Jahrb. 1926, 64, Ergänz. Bd. 1, 58—61; Landsberg a. d. Warthe Experiments.

<sup>4</sup> M. Gerlach, Mitt. Kais. Wilhelm Inst., Bromberg, 1910, 3, 295.

<sup>5</sup> Bertram, Der Kulturtechniker, 1931, 34, 194.

<sup>6</sup> Trans. Herts. Nat. Hist. Soc., 1924, 18, 51—68.

ний, очень заметно. Салисбюри<sup>1</sup> изучил в Англии целый ряд склонов, которые не были нарушены недавней обработкой, и нашел у них сильную склонность к развитию флоры кальцифугов («избегающей извести») на более высоких местах и «известковолубивой» флоры на более низких. В крайних случаях на наиболее высоко расположенной почве росли *Vaccinium* или *Calluna* и различные виды, близкие к ним, на кислых почвах, тогда как на низ-

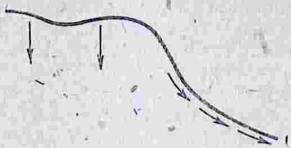


Рис. 58. Диаграмма, показывающая движение воды и растворимых солей с возвышенности в долину.

ких почвах произрастали *Mercurialis perennis* *Allium ursinum* и родственные им растения, встречающиеся на нейтральных почвах. В менее резко отличающихся условиях последовательность все еще держится. На одной из известковых вересковых пустошей Герфордшира, в Hudnall Common, Салисбюри наблюдал следующее:

|                    | Растительность                 | Дюймов     | Почвенные данные    |                    |
|--------------------|--------------------------------|------------|---------------------|--------------------|
|                    |                                |            | СаСО <sub>3</sub>   | pH                 |
| На вершине         | Преобладает <i>Pteris</i>      | 0,1<br>2,4 | 0—0,02<br>0,01—0,04 | 5,1—5,4<br>5,3—6,0 |
| » середине склона  | Меловое пастбище ...           | 0,1<br>2,4 | 0,68—1,0<br>1,1—3,2 | 7,3<br>7,3         |
| » дне сухой долины | Меловое пастбище с кустарником | 0,1<br>2,4 | 12,5<br>20          | 7,5<br>7,5         |

На обрабатываемой площади те же самые признаки проявляются иным путем; почва в нижней части склона имеет тенденцию становиться влажной, но не обязательно кислой; это может быть болото, сырой луг или влажная пахотная почва, соответственно тому, с какою легкостью вода может перемещаться; на склонах почва влажная, но не обязательно сырая, и в Англии она обычно обрабатывается; самые высокие местности, однако, могут быть бесплодны вследствие выщелачивания и кислотности, а также и потому, что они открыты для действия ветра и т. д. Комбинация этих факторов может сделать ее непригодной для обработки, в результате чего ее оставляют под пастбищем, лес и т. д.

<sup>1</sup> Journ. Ecology, 1922, 9, 220; см. также E. J. Salisbury and A. G. Tansley, ibid. p. 19.



## Влияние профиля

Профиль почвы, так же как и ее положение, значительно влияет на ее влажность и на почвенную реакцию. Слой непроницаемой горной породы или почвы препятствует проникновению излишка воды, не дает воде уходить и может значительно ограничить развитие корней. С другой стороны, слой гравия или камней может сильно облегчить проникновение воды. В хорошо культивируемых почвах нижний слой несколько богаче, но не на много, глиной и мелкими частицами, чем верхний слой. Одна и та же почва может, таким образом, быть плодородной, хорошо обработанной, допуская большой выбор возделываемых растений, или пустошью с очень ограниченной флорой, соответственно тому, допускает или препятствует подпочва проникновению корней и воды.

Влияние дождя на выщелачивание основного материала из почвы, что делает ее кислой, и растущих растений на вынос основных материалов вновь к поверхности обсуждалось в главе IV. Изменения, таким образом, вызванные в свойствах растительности, и многие из других соотношений между почвенными условиями и ростом растений хорошо иллюстрируются сменой растительных сообществ, наблюдаемой на растущих песчаных дюнах в Блэки, где детальные наблюдения над растительностью и над окружающими условиями были начаты Оливером (F. W. Oliver) в 1910 г. и продолжаются ежегодно по настоящее время студентами Ботанического отдела Лондонского университета. Салисбюри (1922) регистрировал последовательность этих изменений. На ранней стадии песчаные дюны содержат кальций и бывают нейтральны. По мере того как они становятся старше, часть или весь карбонат кальция вымывается, а содержание органического вещества увеличивается, так что дюна становится заметно кислой и влажной<sup>1</sup>.

Зачаточные дюны имеют в целом известковую флору, более старые — флору, избегающую известь:

|                             | CaCO <sub>3</sub> | Органическое вещество (в %) | Максимальная влагоемкость (в % по весу) | pH                   |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Зачаточные дюны . . . . .   | 0,4               | 0,4                         | 25                                      | 6,9—7,4 (средн. 7,2) |
| Более старые дюны . . . . . | 0,01              | 1,1                         | 36                                      | 6,1—7,3 (средн. 6,4) |

<sup>1</sup> В Блэки и Сауспорте кислое состояние достигается в 150—200 лет. После этого органическое вещество быстро накапливается (Journ. Ecology, 1925, 13, 322). Общие сведения см. «Topography and Vegetation of Blakeney Point», F. W. Oliver and E. J. Salisbury, Trans. Norfolk and Norwich Nat. Soc., 1913, 9, 485, выпущенную отдельной брошюрой Ботаническим отделом Лондонского университета.



## Характеристика почв в отношении растительности

Внутри зон, сходных по климатическим условиям, почвы тождественного состава имеют определенную общую характеристику по составу растительности. В районах, не затронутых деятельностью человека, характерные особенности почв, действуя в течение длительного периода времени, произвели устойчивую флору, определяемую выносливостью ее к данным условиям. Как только человек нарушает условия, флора, хотя и медленно, изменяется; особенно долго выживают лесные растения после того, как лес был сведен. Возврат леса здесь, повидимому, совершается быстрее. В Ротамстеде участок хорошо культивируемого пшеничного поля в 1882 г. был огорожен и запущен с последним посевом и с тех пор не трогался, теперь же он покрыт густым лесом<sup>1</sup>.

Замедление влечет за собой более или менее полную замену дикой флоры новой флорой, которая, однако, все же зависит от почвенных условий. Обычно и почвенные условия несколько изменяются, в особенности дренированием, добавлением извести и органического вещества. В прежние времена производилось добавление глины, чтобы изменить почву. Однако в настоящее время существует тенденция избегать дорогостоящих изменений, а выводить новые сорта растений, которые больше подходят к существующим условиям.

Рассмотрим некоторые из наиболее выдающихся из этих общих характеристик почв. Более подробные сведения изложены в трудах по экологии и с.-х. обследованию (*Agricultural Surveys*, стр. 485). Описание наше относится только к почвам Англии; почвы Северного Уэльса и Шотландии, образованные со времени ледникового периода из палеозоических горных пород, от почв Англии несколько разнятся (стр. 141).

### Известковые почвы

На этих почвах карбонат кальция является контролирующим фактором в определении почвенных свойств. Здесь, повидимому, условия необыкновенно хорошо подходят для жизни растений и животных. Бактерий многочисленны и активны, быстро окисляя органическое вещество. Множество животных организмов—проводочных червей, дождевых червей и других живых существ—обитает на землях, покрытых травами, и переходит даже на пахотные земли; они прокладывают ходы в почве, делая ее более рыхлой и легкой, а также способствуют размножению кротов. В сухих местностях встречается очень много кроликов. Растительность ограничена тонким поверхностным слоем почвы, но становится удивительной.

<sup>1</sup> См. W. E. Brenchley and Helen Adam. *Journ. Ecology*, 1915, 3, 193—210.

тельно разнообразной там, где почва достаточно глубока и влагоемка для содержания соответствующего количества воды. В северной и западной частях Англии ясень является характерным деревом, бук же—на юге и там, где имеется большое разнообразие кустарников—боярышника, бересклета, калины, терна, орешника, клена и особенно травянистой флоры—скабиозы (*S. Columbaria*), подмаренника, вики, крестовника, *Chlora pertoliata*, *Poterium sanguisorba*, *Anthyllis*, *Linum Catharticum*, *Lotus corniculatus*, *Cirsium acaule*, *Helianthemum vulgare*. Из злаков на меловых возвышенностях и пастбищах наиболее обычными являются *Festuca ovina*, *F. rubra*, *Avena pratensis*, *Trisetum flavescens*, *Briza media*, *Bromus erectus*, *Koeleria gracilis* (*cristata*); *Carex flacca* (*glauca*) также часто встречается<sup>1</sup>.

Общая характеристика этой меловой флоры—способность противостоять засухам. Андерсон в одном из лучших до сих пор сделанных исследований этой проблемы<sup>2</sup> нашел, что средняя глубина корневой системы для 50 (приблизительно) характерных видов была от 4 до 8 дюймов, что вполне совпадает с оптимальной зоной аэрации, содержанием влажности и минимальным колебанием содержания влаги (от 6 до 9 дюймов). Это служит дальнейшим подтверждением взгляда Салисбюри<sup>3</sup>, что глубина укоренения находится в компромиссе между соответствующим снабжением водой и несоответствием аэрации.

Еще более замечательным, чем существование меловой или известковолюбивой флоры, является тот факт, что некоторые растения, так называемые «кальцифуги», на меловых почвах не встречаются; их можно находить только на небольших западинах кислой почвы. Некоторые из них всегда избегают извести, как, например, вереск (стр. 430) и рододендроны. Там, где желательно их разведение, необходимо сначала сделать почву кислой, одним из способов, уже описанных (стр. 262)<sup>4</sup>. Большинство из «кальцифугов», однако, не обязательно избегает извести.

Вообще же ни известковолюбивые, ни «противоизвестковые свойства» не являются постоянными для растения, но находятся под влиянием климата и других внешних условий. Брэнчли нашел, что кальцифуги западной Англии совсем не являются таковыми в более сухих восточных районах<sup>5</sup> и что многие из кальцифугов последних свободно растут на меловых почвах влажного запада Англии. Это является, повидимому, общим правилом. Вель-

<sup>1</sup> Растительность меловых почв Англии подробно изучалась Тенсли и Адамсоном (A. G. Tansley and R. S. Adamson. Journ. Ecology, 1922, 9, 114; 10, 168, 1925, 13, 177).

<sup>2</sup> Journ. Ecol., 1927, 15, 72—129.

<sup>3</sup> Structure of Woodlands, p. 384 (Festschrift Karl Schröter).

<sup>4</sup> F. V. Coville получил благоприятные результаты с сульфатом алюминия (Smithsonian Rept., 1926, 369—382).

<sup>5</sup> Annals of Botany, 1912, 26, 95—109.

дон и Вильсон (J. A. Wheldon и A. Wilson)<sup>1</sup> нашли гораздо больше видов растений на известковых почвах во влажном климате западного Ланкашира, чем на соответствующих почвах в более сухом климате Йоркшира. Наоборот, Салисбюри (1920), а также Брэнчли показали, что растения, которые являются известковолюбивыми во влажных климатах, индифферентны в более сухих районах и не сосредоточены на меловых почвах. Мазé (1919) приписывает часть вредного действия карбоната кальция тому, что он делает нерастворимыми марганец, железо и другие элементы, необходимые для роста растений. Салисбюри предполагает, что кальцифуги имеют особую потребность в калии, в добывании которого они могут встречать некоторые затруднения в меловой почве<sup>2</sup>. Когда нет конкуренции с другими растениями, то многие кальцифуги могут расти в присутствии карбоната кальция. Люпин изучался в Германии, где он широко культивируется, и известно, что он страдает на известковых почвах (Kalkempfindlichkeit), в противодействие чему Гильтнер предложил применять железный купорос. Но на опытных делянках Пфейффер и Бланк<sup>3</sup> достигли даже лучшего роста в присутствии мела, чем в его отсутствии; возможно, что благотворное влияние было скорее на клубеньковые организмы, а не на растение. В продолжительном исследовании вблизи Карлштадта Краус (1911) не нашел растений, строго ограниченных в своих отношениях к карбонату кальция, хотя некоторые предпочитали его больше, например, *Festuca glauca*, *Teoscrium montanum* и *Melica ciliata*, между тем как другие меньше, например, *Brachypodium pinnatum*, *Koeleria cristata* и *Hieracium pilosella*. Настоящие меловые растения были найдены на примыкающем песке, в особенности, когда в нем присутствовали некоторые количества карбоната кальция, хотя настоящие песчаные растения не переселялись на меловую почву. В таких случаях перемещения или «гетеротропии» было показано, что общие физические условия этих двух местностей были тождественны вопреки большой разнице в их химическом составе. Поэтому Краус утверждает, что настоящие меловые растения заселяют меловые почвы не вследствие того, что они нуждаются в большом количестве карбоната кальция, а потому, что они находят там те общие физические и химические условия, которые для них требуются. Салисбюри расширяет этот взгляд и показывает, что растения переходят на меловую почву по двум причинам: вследствие общих физических условий, аэрации и умеренного снабжения водой и вследствие химических причин, в особенности—отсутствия кислотности в результате обильного снабжения кальцием. Но если этими условиями они удовлетворяются на других почвах, то они будут расти вполне хорошо и там. Так, бук произрастает лучше всего на несколько сухой хорошо

<sup>1</sup> Flora of West Lancashire, Eastbourne, 1907.

<sup>2</sup> Значение известковолюбивых свойств, Journ. Ecology, 1920, 8, 202.

<sup>3</sup> Mitt. Land. Inst., Breslau, 1924, 7, 262.



азрированной почве; на юго-востоке Англии эти условия, как правило, имеются главным образом на меловых почвах. Но в других местностях эти условия имеются и на других почвах, на которых бук также произрастает, являясь, таким образом, растением не известковолюбивым. С другой стороны, *Solanum dulcamara*, *Fraxinus exelsior*, *Cornus sanguinea* и другие переходят на меловую почву, чтобы избежать кислотности. Они выносят влажные условия вполне хорошо и на кислых почвах встречаются на влажных местах; таким же образом тип не кислой растительности часто встречается на тех участках кислых лесных земель, которые подвержены затоплению<sup>1</sup>.

Другие растения, которые не являются определенно известковолюбивыми или избегающими известь, подвержены расстройству питания, особенно хлорозу, в том случае, если пропорция карбоната кальция в почве становится слишком высокой. Во Франции Chaurit показал, что виноград сильно страдал, когда в почве находилось 35% или более карбоната кальция, и не страдал, когда количество его падало до 3%<sup>2</sup>. В Порто-Рико на кустовую фасоль (*Phaseolus nanus*) и на редиску не влияет даже 35%  $\text{CaCO}_3$ ; подсолнух, соя и сахарный тростник несколько угнетаются этим количеством, между тем как на кассаву (*Manihot palmata*), рис и апапасы это количество оказало сильное угнетение. На содержание азота, калия и фосфорной кислоты в различных культурах карбонат кальция, повидимому, не влиял, но количество железа было заметно понижено<sup>3</sup>. Для плодовых деревьев в западной Англии Уоллес нашел, что пожнивные культуры способствуют избеганию этого затруднения<sup>4</sup>. Уоллес также рассматривает соотношение  $\frac{\text{CaO}}{\text{K}_2\text{O}}$  в тканях листьев и ветвей хлоротичных деревьев<sup>5</sup>.

Сельскохозяйственная ценность меловых почв зависит в большой степени от их глубины, которая гораздо больше в долинах, где почва и вода накапливаются, чем на возвышенностях, где почвенный слой тоньше. Двумя главными недостатками меловых почв, требующими исправления, являются: недостаток органического вещества и склонность делаться слишком легкими; они исправляются добавлением навоза или других органических удобрений, укатыванием и обработкой тяжелыми орудиями, по преимуществу же выпасом животных на землях, на которых произрастающие культуры служат пастбищем, а также кормлением

<sup>1</sup> Кислотность почвы меньше выражается при влажных условиях, чем при сухих.

<sup>2</sup> См. *Revue de Viticulture*, 1902, 18, 15, а также *Molz Centr. Bakt. Abt.* II, 1907, 19, 475.

<sup>3</sup> P. L. Gile и C. N. Ageton, *Porto Rico Agric. Exp. Sta. Bull.* 16, 1914.

<sup>4</sup> *Journ. Pomology*, 1928, 7, 251—269.

<sup>5</sup> *Ibid.*, 7, 172—183.



скота в загонах привезенным кормом со стороны,—способ, известный под названием «толоки». Как утаптывание, так и удобрение имеют свое значение<sup>1</sup>. Овцы являются наиболее подходящими для этой цели, и с ними неизбежно связано полевое хозяйство в меловых районах. Важность овцеводства в меловых районах доказывается тем фактом, что каждый из таких районов вывел свою породу овец—соут-дауны, хемпширы и пр. Из удобрений, обычно, предпочтительней оказываются калийные, в особенности каинит; суперфосфат требуется для турнепса, а во влажных районах томасов шлак очень полезен для лугов. Хорошая обработка меловой почвы всегда необходима, иначе она высыхает в жесткие глыбы, которые не распадаются. Но в конце концов меловые почвы, несмотря на то, что они исключительно благоприятны для жизни растений и животных, имеют свои недостатки: ни одни почвы не бываюи так склонны подвергаться засорению сорными травами и нападению турнепсовой «блохи» и проволочного червя, как меловые. В настоящее время происходят большие изменения в использовании меловых почв: овцеводство становится экономически невыгодным, и молочный скот вытесняет овец; в дальнейшем высокая агротехника на меловых почвах должна обеспечить успешное их использование, что обычно и достигается, в то время как хозяйства с плохой агротехникой часто не в состоянии удержаться и несколько лет.

Тот факт, что известковая твердая порода залегает в глубине, не является еще доказательством, что и сама почва известковая; напротив, почва может часто совсем не содержать карбоната кальция, либо потому что она декарбонизировалась от высоких осадков, либо потому, что она в действительности представляет некоторое отложение всецело чуждого происхождения.

### Типы гумуса

Типы гумуса могут быть разделены соответственно их реакции на две группы, а именно:

- 1) кислый гумус, или «сырой» гумус,
- 2) «нейтральный» гумус, или мулль (mull).

Эти две группы имеют очень различные свойства.

1. Кислый гумус характеризуется:

- а) бедностью основаниями;
- б) медленным разложением;
- в) присутствием структурных остатков растений.

Обычный кислый гумус встречается в виде определенного, иногда очень толстого слоя на поверхности минеральной почвы. Он тогда известен как сырой гумус. Обычно он происходит от растений и деревьев, выносливых к кислотности, как, например,

<sup>1</sup> Rothamsted Report., 1931.

вереск, черника, ель, сосна, которые содержат в своей золе низкую пропорцию оснований. Бедные песчаные почвы и почвы, происшедшие из кислых горных пород, особенно подвержены покрытию отложениями сырого гумуса, примером чего служат вересковые торфа на граните Дартмура и Корнвелла.

В Германии сырой гумус подразделяется на «Torf» и «Auflage-Humus». Резкого различия между двумя этими типами нет, но термин «Torf» (торф) обычно относится к более плотным типам сырого гумуса, который может разрезаться ножом. «Auflage-Humus» рыхлее и обычно менее кислый и более плодороден, чем «Torf». Сырой гумус очень часто образует горизонт A<sub>0</sub> вересковых и лесных подзолов.

2. Нейтральный гумус, или мулль, характеризуется:

а) присутствием большего или меньшего количества обменного кальция;

б) довольно быстрым разложением;

в) отсутствием структурных остатков растений.

Он всегда смешан с некоторым количеством минерального вещества и нет резкого различия между слоем мулля и верхним слоем минеральной почвы. Термин «нейтральный» гумус несколько неудачен и выходит из употребления. Большей частью мулль имеет определенно кислую реакцию—рН 4,5—6,5, по сравнению с рН 3—5 сырого гумуса. Он образует обычно поверхностные слои бурых лесных почв, на которых характерной растительностью является чернолесье.

Указанные два типа гумуса—сырой гумус и мулль—каждый происходит из особого типа растительности и находится в связи с ним. В самом деле, растительность часто является лучшим показателем качества гумуса, и этот факт был широко использован в Финляндии для оценки лесных почв (Cajander).

Связь между растительностью и типами гумуса была впервые полностью изучена Мюллером<sup>1</sup> (1887) в классическом исследовании почв датских буковых лесов, в которых встречался как сырой гумус (который он называет «торф»), так и мулль.

На мулле характерными растениями были *Asperula odorata*, *Anemone nemorosa*, *Mercurialis perennis*, *Milium effusum*, *Melica uniflora*, *Stellaria nemorum* и другие, мхи же отсутствовали. Сам же мулль был только в несколько дюймов толщиной и под ним находился слой рыхлой почвы, более светлой по цвету, чем мулль, но более бедный по содержанию органического вещества, толщиной от 1 до 5 футов; еще ниже был плотный, но пористый слой почвы. Поверхность почвы была покрыта слоем листьев, ветвей и пр. Дождевые черви повсюду были в большом числе;

<sup>1</sup> Резюме мюллеровской работы см. у L. G. Rommel и S. O. Heiberg, *Ecology*, 1931, 12, 567. Ошибка, указанная на стр. 569 данной работы, была исправлена вышеприведенным утверждением.

их сильное влияние на почву незадолго до того было показано Дарвином (1881).

Торф был совершенно отличен. Характерными растениями были *Trientalis eugorea* в сообществе с *Aira flexuosa* и мох, но поверхностная растительность была не очень обычна. Рыхлый слой листьев отсутствовал, и сам торф был такой твердый и плотный, что дождевая вода не могла сразу проникать. Ниже был слой рыхлого сероватого песка (*Bleisand*)<sup>1</sup>, а еще ниже — слой «красной почвы» (*Roterde*)<sup>2</sup> или местами уплотненный слой (ортштейн). Дождевых червей в торфе почти не встречалось, но было очень много плесеней и грибов; наиболее часто встречающимися были *Cladocporium humifaciens*, *Rostrup* и *Sorocybe Resipiens* Fr.

Мюллер считает, что распределение муллы или торфа определялось главным образом природой живущих организмов в почве. Животные организмы, в особенности земляные черви, давали начало мулле, грибы образовывали торф. В настоящее время считается, что некоторые местные, и вероятно небольшие, различия в сложившихся условиях ведут к увеличению выщелачивания и к большей кислотности почвы. Повсюду, где это встречается, более выносливые к кислотности растения имеют возможность расти, и это дает начало более кислому гумусу, способствуя в дальнейшем развитию растений, выносливых к кислотности, производящих сырой гумус, пока в конце концов не наступит полное изменение в природе растительности, в гумусе и в нижележащем горизонте минеральной почвы. Древесная растительность естественно реагирует гораздо медленнее на изменения в гумусе и почвенных условиях, чем растительность травянистая. Таким образом, может случиться, что бурые лесные почвы с муллой под буковым лесом могут превратиться в подзол с сырым гумусом через изменение травянистой флоры, в то время как бук все еще будет оставаться доминирующим деревом. Однако в конце концов почва настолько истощится оподзоливанием, что бук не будет в состоянии долее выжить и заменится дубом, сосной, вереском или какой-либо другой растительностью, более характерной для подзолов.

#### Типы лесного гумуса

Почвы, которые содержат горизонты муллы и сырого гумуса (т. е. бурые земли и подзолы), являются типичными лесными почвами умеренных районов, и при оценке потенциальной природности почв лесовод главным образом руководствуется природой и свойствами гумуса. Вследствие этого было сделано несколько попыток классифицировать типы лесного гумуса и при-

<sup>1</sup> Теперь называется *Bleichsand*.

<sup>2</sup> Теперь называется *Orterde* или *Eisenhorizont*. Это представляет интерес как первое описание подзола.



дать им лесоводческое значение. Гессельман<sup>1</sup> подразделяет различные типы его следующим образом.

Fögra—не разложившийся листопад и подстилка.

Humus—все органические остатки растений и животных, подверженные разложению.

Humusämnen (гуминовое вещество)—светлый или темно-коричневый материал, происходящий от разложения органического вещества.

Humuslager, humustäcke (гумусный покров)—более или менее рыхлый слой на поверхности почвенного профиля, в котором количество гумуса так велико, что он определяет весь характер слоя.

Förmultningsskikt (слой разложения)—слой гумусного покрова, главным образом состоящего из разлагающихся растительных остатков.

Humusämnescikt (слой гуминового вещества)—слой гумусного покрова, состоящего из аморфного гуминового вещества. Гессельман подчеркивает важность распознавания различия между двумя последними.

Rahumus (сырой гумус)—плотный гумусный слой, связанный вместе гифами, мицелием и высшими растениями, легко отделяемый от минеральной почвы. Слой разложения сплетен и часто толстый; гуминовое вещество слегка смещено с минеральной почвы.

Mar (по-датски—Мор)—подобный сырому гумусу, но менее плотный и обычно довольно тонкий.

Mull—слой гумуса с определенной крошащейся структурой. Слой разложения обычно тонок, всегда рыхлый и часто имеет крошащуюся структуру. Слой гуминового вещества сильно колеблется в толщине, всегда имеет крошащуюся структуру и смешан с значительным количеством минеральной почвы.

Сравнительно недавно Ромелль и Гейберг<sup>2</sup> в США сделали классификацию, основанную как на экологической, так и на физической природе гумусных типов. Они сохранили термин «mull» и ввели термин «duff», приблизительно соответствующий прежнему термину «сырой гумус». Эти исследователи обозначают «humussämnescikt» Гессельмана как слой H и его «förmultningsskikt» как слой F и отличают следующие типы:

А. Муль—пористый более или менее рыхлый гумусный слой с мелкокомковатой или с зернистой структурой с рассыпающейся нижней границей, не сплетенной или только слегка сплетенной.

1. Крошащийся мульт—грубый зернистый мульт, населенный крупными обычно в большом числе дождевыми червями.

<sup>1</sup> Medd. f. Statens Skogsförsök., 1926, 22, 169—552; см. также Hesselmann (1927).

<sup>2</sup> Ecology, 1931, 12, 567—608.



Это—классический прототип группы мулля: его содержание органического вещества обычно бывает около 10—20% или даже ниже, редко свыше 30%. Он имеет богатую травянистую растительность, в которую весенняя флора геофитов, *Corydalis*, *Mercurialis*, *Anemone*, *Arum* (Eu), *Dicentra*, *Dentata*, *Hydrophyllum*, *Claytonia*, *Arisoema* (Am) входит как характерный элемент. Подстилка—из рыхлой листвы или временами почти никакой вследствие быстрого разложения.

2. Зернистый мулль—отличается от крошащегося мулля своей более мелкой зернистой структурой и отсутствием крупных дождевых червей. Флора подобна предыдущей, но большею частью беднее.

3. Двойной мулль—сложный тип гумусного слоя, состоящий из одного верхнего слоя с характерными чертами сплетенного детритного мулля или корневого дуффа (duff) (см. дальше) с нижележащим зернистым или иногда мелкокомковатым муллем. Флора беднее, чем при предыдущих типах, но включает растения мулля.

4. Детритный мулль—мелкий зернистый мулль, богатый органическим веществом (обычно свыше 50%), имеющий вид черных опилок. Флора варьирующая, но всегда включает муллевые растения.

В. Дуф—гумусный слой несмешанного гумуса, сильно сплетенного или уплотненного или включающего и те и другие свойства, определенно отграниченного от минеральной почвы, если только последняя не была зачернена вымыванием в нее органического вещества. В флоре обычно совершенно отсутствуют типичные муллевые растения.

5. Корневой дуф—слой бедно развит, обычно почти отсутствует. Гумус слоя Н мелкозернистый, подобно детритному муллю; при высыхании он может быть почти весь стряхнут с густой сети корней, удерживающей его. Тип растительности главным образом твердодревесный.

6. Листовой дуф—слой F, из слежавшихся листьев, имеет пластинчатое строение; слой Н очень похож на предыдущий. Тип твердодревесных и твердодревесных хвойных лесов.

7. Жирный дуф—слой F обычно относительно мало развит, часто более или менее волокнистый; слой Н толстый (обычно в 1 дюйм или более), плотный, но обычно не очень твердый, частично или всецело черный, подобный торфянистой земле (тиск). Жирный наощупь, когда сырой, сильно сжимается после высыхания.

8. Волокнистый дуф—слой F хорошо развит; весь гумусный слой волокнистый, более или менее твердый, но обычно не очень плотный, мало сжимающийся после просыхания. Флора наиболее типичных форм включает *Hylacomia* или *Ericaceae* (в особенности *Vaccinium*) или и те и другие.

По поводу номенклатуры и классификации гумусных типов до сих пор существует большая путаница. Все больше и больше становится ясным, что окончательная классификация должна быть построена прежде всего на экологическом основании. Весь вопрос в целом обсуждался комиссией, организованной при Интернациональном конгрессе опытных лесных станций в Стокгольме в 1929 г., и торфяной подкомиссией шестой комиссии Интернационального общества почвоведения.

Торф. В районах высокой влажности (т. е. где температура низкая и осадки высокие) склонность к образованию сырого гумуса выражается особенно ярко. Медленно разлагающийся кислый сырой гумус образует плотную, высококоллоидальную массу, которая поглощает большое количество воды, разбухает, как желе, и становится непроницаемой как для воздуха, так и для воды, так что устанавливаются анаэробные, перенасыщенные водой условия, препятствующие дальнейшему разложению гумуса. При этих условиях сырой гумус беспрерывно накапливается, образуя типичные торфяные болота. Различаются три главных типа торфяных болот соответственно их растительности и климатическим и топографическим условиям:

- 1) возвышенные болота (Hochmoor),
- 2) вересковые болота (Heide) и
- 3) низинные болота (Niederungsmoor).

1. Возвышенные болота образуются при условиях высокой влажности. Характерная растительность включает пушицу (*Eriophorum vaginatum*), *Scirpus coespitosus* и мхи, в особенности *Sphagnum* spp. Возвышенные болота очень неплодородны и могут в конце концов вполне зарости сфагнумом—единственным растением, которое выживает при пересыщенных водой и высококислых условиях.

2. Вересковые болота образуются при несколько более сухих условиях. Растительность главным образом состоит из *Ericaceae* (*Calluna*, *Erica*, *Vaccinium*)—ксерофитных растений, которые, по-видимому, приспособлены к более сухим местностям, чем к болотным землям. Однако почти вся влага вересковых болот коллоидально связана вересковым торфом и, таким образом, недоступна растительности, так что существуют условия «физиологической засухи» даже и тогда, когда болота имеют вид насыщенных водой.

3. Низинные болота образуются в низколежащих сырых местах: доминирующие растения включают *Eriophorum*, *Molinia caerulea*, *Nardus stricta*, *Scirpus* spp. и другие. Низинные болота часто получают свою воду, насыщенную растворенными солями, с более высоколежащих местностей; они более плодородны, чем возвышенные болота, и обычно могут быть освоены для лесоводства или земледелия дренажем<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. обсуждение факторов, влияющих на успешное дренирование торфяных болот: С. Malmström «Наши торфяные площади с точки зрения

Общая экологическая классификация торфяных болот, достаточная для большинства практических целей, была составлена Моссом и другими членами Британской ботанической комиссии и была принята Танслеем в «типах британской растительности» (1911).

История торфяных болот была предметом большого изучения в последние годы. Присутствие зерен пыльцы и других растительных остатков, сохранившихся в торфе в течение многих лет, дало возможность ботаникам воссоздать флору различных периодов и привело к некоторым исключительно интересным результатам<sup>1</sup>.

Агрономические и экологические характерные черты торфяных болот следующие.

1. Большая влажность.
2. Недостаточная аэрация: растительность должна быть специально приспособлена к этим условиям.
3. Кислотность.
4. Низкое содержание кальция и других оснований.
5. Отсутствие нитратов и низкая способность нитрификации<sup>2</sup>, так что растения должны обычно добывать свой азот из аммиака или других источников.

Для использования больших торфяных пространств предлагались многочисленные схемы, которые могут быть грубо сгруппированы в два типа.

1. Мелниорирующие вещества (такие, как известь, искусственный навоз и пр.) добавляются и торф культивируется так, как если бы это была нормальная почва. Это возможно только тогда, когда отложения торфа залегают не слишком высоко.

2. Торф удаляется, и, если климат это допускает, нижележащая формация

а) вспахивается, если она глинистая или песчаная,

б) покрывается городскими отбросами и затем обрабатывается, как, например, в Чат Моссе,

в) запосится илом (Warped), т. е. систематически наводняется во время прилива водой, несущей ил, пока не образуется несколько футов почвы; это только возможно в немногих местностях, например, в Линкольншире, лежащем ниже уровня прилива.

Исследования методов обработки почв возвышенных болот (Nochmoor), продолжавшиеся в течение многих лет, производились в Бремене (Moorkulturanstalt); сначала под наблюдением Такке, а теперь под наблюдением Аридта<sup>3</sup>, и низинных болот (Noederung-

лесного дренирования» (Medd. fr. Statens Skogsförsöksanstall, 1928, 24, 251—272).

<sup>1</sup> О последнем изучении и ссылки на прежние работы см. C. G. C. Chesters Journ. Ecology, 1931, 19, 46.

<sup>2</sup> Об изучении нитрификации и другой деятельности бактерий в почвах болотных земель см. E. Gully, Das Nitrifizierungs- und Nitritbildungsvermögen der Moorböden.

<sup>3</sup> Результаты опубликованы Verein f. Forderung der Moorkultur и в Landw. Jahrbücher.



smoor) в Jönköping в Швеции, сначала Фелитценом, а теперь Гуго Освальдом; в последнее время были основаны также станции в Нейгаммерштейне в Померании и на острове Lewis Ogгом и персоналом Маклееского института почвоведения.

Метод удаления торфа и использование его как горючего или для других целей и затем освоение нижележащей почвы принят как в Англии, так и в Голландии.

Удаление торфа в принципе совершенно разумно. Торф является наследием значительной ценности, но он по преимуществу тратящийся актив; он исчезает в значительной степени после дренирования, которое в настоящее время необходимо. При современных условиях торф не может быть сохранен для будущих поколений, и мы, следовательно, вполне правы, применяя его для самих себя, если даже процесс и является несколько расточительным.

Торф может служить для нескольких целей:

- а) для топлива, после того как он был нарезан и высушен;
- б) для подстилки, если он достаточно волокнист;
- в) он может быть разложен при высокой температуре и в результате обработки дает такие ценные продукты, как сульфат аммония, генераторный газ, смолу и пр.<sup>1</sup>;

г) для различных индустриальных целей, изоляции и пр.

Фены. Нейтральные гумусные почвы образуются, когда гумус содержит много обменного кальция, следовательно, растительность этих почв включает известковолюбивые растения так же, как и растения, индифферентные к снабжению кальцием (*Phragmites*, *Cladium*, *Scirpus* и *Carex* в Англии), и дренажные воды здесь нейтральны. Лучшим примером в Великобритании являются фены—низколежащая площадь, примыкающая к реке Ouse и к ее притокам в Норфольке, Кембридже и т. д. Как уже сказано, почвенная вода здесь не кислая и содержит бикарбонат кальция в растворе; растительность типа некислых почв, и культуры не отзываются на известь. Главными характерными чертами этих почв являются их богатство известью и очень высокое содержание азота, которого иногда бывает не менее 3%.

Этот район мало культивировался до большого мелноративного плана XVII века, когда были воздвигнуты большие плотины и устроен дренаж с установкой насосов, что поддерживает землю сухой и удобной.

При дренировании эти почвы оказались необыкновенно плодородными и могли бы быть теперь все под культурами, но часть их была сознательно сохранена, как, например, Вайкен Фен, как заповедник. Их высокое плодородие обуславливается:

<sup>1</sup> См. F. M. Perkin, Recent Progress in the Peat Problem, 1925 (Brit. Assoc. paper, privately published), Sven Oden, «Peat and Peat Problems in Sweden», Fuel and Science and Practice, 1925, 4, 505.



1) высоким содержанием в них органического вещества и ос-  
нований;

2) отсутствием кислотности;

3) присутствием подпочвенного уровня воды вблизи поверхно-  
сти, однако достаточно глубоко, чтобы допустить хорошую аэра-  
цию корней.

Фермеры отличают два типа фен: глинистые фены на запад-  
ной стороне и песчаные фены на восточной стороне района; раз-  
ница, вероятно, зависит от подстилающего материала, так как су-  
ществует мало внешних признаков какой-либо разницы в самих  
фенах. Киммериджская глина на западе залегает приблизительно  
на 5 футов под поверхностью, но местами она выступает и над  
поверхностью и образует бугры (по местному «eyes»), на которых  
только и могли строиться жилища до освоения. В восточной ча-  
сти под фенами залегает песок.

Наиболее подходящими культурами здесь являются овес, пше-  
ница, а главным образом картофель, введение которого лет 30 на-  
зад совершенно и резко изменило характер сельского хозяйства  
фен. В небольших количествах выращиваются кормовая свекла,  
сельдерей, горчица на семена, семенники капусты, райграс на се-  
мена, гречиха и другие семенные культуры. Однако зерновые куль-  
туры не вполне созревают; они хорошо развиваются вначале, но  
не выколашиваются. Там, где внизу залегает глина, полная мели-  
орация заключается в извлечении этой глины и распределении ее  
по поверхности. Это делается приблизительно раз в 20 лет. Почвы  
при высыхании сильно сжимаются, образуя большие трещины,  
опасные для животных и иногда пагубные для колесных повозок.  
Окисление беспрерывно происходит быстрым темпом, и в сравни-  
тельно короткий срок фен оседает на несколько футов; во многих  
случаях ему остается осесть еще только на 5 или 6 футов до пол-  
ного исчезновения (стр. 193).

Феновые почвы не требуют извести или азотистых удобрений,  
как правило—калия. Но они отзываются в заметной степени на  
суперфосфат, как это показано следующими опытами, произведен-  
ными Кембриджским отделом земледелия<sup>1</sup>.

|                                            | Кормовая свекла |                             |                                              | Картофель |                             |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------------------------|-----------|-----------------------------|
|                                            | тонн            | англ.<br>центнеров<br>(cwt) |                                              | тонн      | англ.<br>центнеров<br>(cwt) |
| Без удобрения . . .                        | 11              | 2½                          | Без удобрений . . . .                        | 5         | 12                          |
| 3 англ. центнера су-<br>перфосфата . . . . | 16              | 2                           | 4 англ. центнера супер-<br>фосфата . . . . . | 7         | 15                          |
| 6 англ. центнеров<br>суперфосфата . .      | 21              | 13                          | 8 англ. центнеров су-<br>перфосфата . . . .  | 8         | 10                          |

<sup>1</sup> Cambridge Farmer's Bull. № 6, 1908. Две из почв залегают на глине,  
третья—на гравии.

Костяная мука также дает хорошие результаты, а томасов шлак, повидимому, не эффективен. Наблюдалось, что летний пар имел плохое влияние на феновые почвы.

На практике глинистые феновые почвы после периодического выворачивания на поверхность глины ничего не получают, кроме суперфосфата; они необыкновенно плодородны, обычно давая на акр 10 т картофеля (250 ц/га), 90 бушелей овса (38 ц/га) и 56 бушелей пшеницы (37 ц/га). Песчаные феновые почвы менее плодородны вследствие того, что мелнирация их внесением глины требует слишком больших издержек; главная потребность опять-таки у них в фосфате, но требуется также и калий.

Торфянистые земли (muck) в США, повидимому, принадлежат к тому же типу; под ними залегают сланцевые отложения, содержащие известь, и структуры в органическом веществе нельзя заметить; однако они отзываются на известкование и калийные удобрения.

### Глинистые почвы

Глинистые почвы характеризуются присутствием от 20 до 60% «глины» и сходного количества пыли и мелкой пыли, и вследствие такого избытка мелких частиц размер пор так уменьшен, что ни воздух, ни вода в почве не могут свободно двигаться. Глинистые почвы быстро перенасыщаются водой, а во время засух недостаточно быстро снабжают ею растения. Однако в климатических условиях Англии они обычно остаются влажными или сырыми. Высокое содержание глинистых частиц усиливает коллоидальные свойства: 1) почва сжимается при высыхании и образует большие глубокие трещины, иногда до нескольких дюймов ширины и более фута глубины, что может причинять большой вред корням растений; 2) она поглощает много воды и удерживает большое количество ее даже и тогда, когда почва на вид суха; 3) однако вода передвигается лишь медленно, и нередко можно найти очень резкую демаркационную линию между влажной и сухой почвой и землю с большими трещинами от пересыхания в нескольких футах от канавы, наполненной водой; 4) почва легко вступает в реакции обмена оснований и осаждаст ион фосфата из растворимых фосфатов; она поглощает также много и органических веществ. Зимой камни, луковицы и корни часто выпираются из грунта в результате высокого содержания воды в глин. Расширение, которое происходит около точки замерзания, производит боковое напряжение, которое сгибает поверхностные слои почвы, в особенности, где непрерывность ее нарушается присутствием твердых посторонних тел. вследствие чего последние подвержены вытеснению. Специальными свойствами глины являются пластичность и прилипаемость, когда она сыра, и склонность образовывать очень твердые глыбы, когда она суха. Все эти свойства сильно изменяются при внесении углекислой или гашеной извести. Меловая валунная глина обычно

плодородна, но, с другой стороны, навозная жижа (которая содержит бикарбонат аммония) и натриевая селитра (которая дает начало бикарбонату натрия в почве) могут иметь при некоторых условиях неблагоприятное влияние на физические свойства почвы.

Глинистые почвы в Англии имели довольно пеструю сельскохозяйственную историю. Первоначально покрытые дубовыми лесами и подлеском из брезника, они были давно освоены для целей земледелия с помощью дренирования, известкования<sup>1</sup> и позднее удобрением костяной мукой. Пшеница и бобы были главными культурами на этих почвах в начале прошлого столетия; под совокупным влиянием высоких цен, больших планов по осушению и искусственных стимулов к отрубному землепользованию большие площади были приведены в культурное состояние, так что в настоящее время осталось неосвоенным только небольшое количество глинистых почв, а именно только там, где леса были сохранены для охоты. Культуры росли хорошо, но созревали поздно, и избыток влаги при уборке был страшным бедствием. Раз в четыре года всегда было необходимо оставлять землю под чистым паром, и любой промежуточный год, если он был сырой, мог оказаться потерян из-за трудности подготовки почвы для посева. Когда цены на пшеницу упали (в 80-х годах), многие из этих почв были заброшены и заросли смесью трав и сорняков, которые стравливались скотом, и постепенно почвы ухудшались, так как старые дренажные системы засорялись и почва все более и более насыщалась водой. *Aira caespitosa*, луговица (*Agrostis vulgaris*), ринантус (*Rhinanthus Crista-galli*), а на более сухих местах *Brisa media* и поповник (*Chrysanthemum leucanthemum*) являются наиболее заметными растениями на заброшенных полях; после продолжительной заброшенности появились терн и другие деревья, и земля превратилась в дикую лесную заросль; единственным напоминанием о прошедшем остались наименования полей и высокие валы или «ланды», сделанные много лет назад для облегчения дренирования. Но многие из этих диких земель с тех пор были улучшены и превращены в удобные луговые земли. Дренаж постепенно был восстановлен, улучшенные орудия сделали возможной соответствующую обработку почвы, тогда как известкование и применение фосфатов (в форме томасова шлака) заметно улучшили травостой, благоприятствуя развитию белого клевера (*Trifolium repens*), пастбищных трав, а также чертополоха и заглушая такие сорняки, как *Aira caespitosa*, луговицу (*Agrostis*) и др. Калийные удобрения обычно не требуются. На рисунках 59 и 60 видны образцы дернин с некоторых делянок Робертсона в Horndon on the Hill в Эссексе (лондонская глина). Только в сухих восточных районах сохранились еще старые пахотные земли.

Обычно наблюдается, что растения на глинистых почвах

<sup>1</sup> Например, см. *Enrichment of the Weald of Kent*, by R. J. 1625.



склонны развигать большие листья и образовывать более короткие междоузлия, чем на песчаных почвах. С другой стороны, их корни гораздо менее мочковаты, гораздо менее обильны и имеют тенденцию становиться толще. Механическое сопротивление глины про-



Рис. 59. Бедное пастбище, неудобренного участка, Горндон-Он-де-Хилл, в Эссексе (лондонская глина). G. Scott Robertson).

никновению корней, очевидно, является важным фактором при росте их<sup>1</sup>.

При экологических и агрономических обследованиях необходимо делать различия между пылеватыми и настоящими глинами. Первые очень тяжелы, чем они обязаны присутствию большого количества мелкой пыли, которая по коллоидальным свойствам отличается от глины (стр. 154) и не коагулируется известью, мотрозом и пр. В сущности неизвестно еще способов для улучшения этих почв; их трудно дренировать (стр. 444), и обычно они пред-

<sup>1</sup> О некоторых наблюдениях над *Rhizomes* см. E. J. Salisbury, Structure of Woodlands (Festschrift, Karl Schröter).



ставляют собой довольно бедные пастбища. Настоящие глины часто трудно различить при беглом обследовании, но они ведут себя иначе при обработке и отзываются на дренирование, известкование и на хорошую обработку повсюду, где приходится улучшать их.

### Песчаные почвы

На характерные черты растительности песчаных почв влияет тот факт, что крупный и мелкий песок не обладает коллоидаль-



Рис. 60. Соседний участок, но удобрённый фосфоритом Гафса (тушеский)  
27 февр. 1918 г. Фотографировано в августе 1919 г.

ными свойствами, а также не обладает способностью обмена основаниями или осаждений фосфатов и обладает очень малой вододерживающей силой. Пористая структура этих почв допускает легкое передвижение воды, однако добавление небольшого количества глины или гумуса придает им достаточно коллоидальные свойства и свойства обмена основаниями, что ведет к существенному изменению характера растительности.

Песчаные почвы имеют тенденцию оставаться сухими, рыхлыми и бедными растворимыми веществами или «голодными», как их часто называют. Характер растительности зависит главным образом от местоположения и глубины их, а также от природы подпочвы, так как эти факторы определяют снабжение растений водой.

Отсутствие в почве достаточного количества глины и присутствие большого количества гравия и грубого песка, а также расположение на гравии или крупном песке ведут к неравномерному снабжению водой, что является губительным для роста растений. Обширные площади таких почв находятся в западных частях Норфолка и Суффолка и остаются заброшенными как «неудобные» земли; они были изучены экологически Фарроу<sup>1</sup>. Примеры таких почв встречаются в Surrey, в формациях Багшота и Нижних зеленых песков; местами общая сухость нарушается западинами, образующимися в блюдцеобразных углублениях подстилающей глины, удерживающей воду.

Небольшие видоизменения в составе этих почв—добавочный процент глины и пыли, менее грубый песок, несколько более плотная подпочва или частые дожди (как, например, в Северном Уэльсе)—дают уже возможность культивировать эти почвы. В этих условиях они становятся настолько привлекательными для сельских хозяев, что ни один из таких участков не остается без обработки<sup>2</sup>. Они дают скорее ранние урожаи высокого качества, чем высокие урожаи, так как склонность их к высыханию приводит к раннему созреванию, отсутствие же вязкости делает обработку легкой во всякое время. Часто на них закладываются сады, питомники и выращиваются картофель и овощные культуры, а также ячмень высокого качества. Зимний выпас овец на этих землях до последнего времени считался главным способом удобрения, но посевы должны быть ранними, иначе удобрительный материал будет вымываться неиспользованным, и молодые корни не успеют проникнуть в подпочву до высыхания поверхностного слоя. Интенсивное хозяйство является единственным выгодным способом использования этих почв; всякая небрежность при обработке их ведет к засилью сорняков, таких, как мак, горец (*Polygonum aviculare*), мышишка (*Spergula arvensis*), щавель, хвощ, выюнок (*Convolvulus*), лютик и др. Культуры должны следовать друг за другом в быстром чередовании, и всякий промежуток между ними является периодом потерь; при хорошем уходе можно получить два или даже три урожая овощей в течение года, причем в чисто с.-х. районах всегда следует применять пожнивные культуры. Органические удобрения необходимы для увеличения водоудерживающей способности, следовательно, кормление овец в загонах и

<sup>1</sup> Plant Life on East Anglian Heaths, Camb. Univ. Press., 1925.

<sup>2</sup> Более полные сведения относительно с.-х. истории этих и других почв см. E. J. Russell, Fertility of the Soil, Cam. Univ. Press, 1913.

зеленое удобрение здесь очень желательны. Необходимо частое повторение удобрения, так как органическое вещество быстро исчезает. Часто бывает необходимым и карбонат кальция, который лучше вносить в форме мела или известняка, чем в форме извести. Полезны также калийные соли для некоторых культур и хлористый натрий; селитра часто дает замечательные результаты, но фосфаты не всегда требуются, так как почвенные условия и без внесения их уже способствуют хорошему развитию корней. Одновременно должны вноситься только небольшие количества удобрений, так как почва обладает слабой поглотительной способностью. Помимо всего остального не следует рекомендовать схему удобрений, связанную с большими затратами, до тех пор, пока предварительные опыты не покажут ее пользы.

При освоении или укреплении песчаных дюн первым шагом является посев трав, например, марамской травы (*Maram grass*)—*Psamma agenaria* или *Ammophila arundinaceae*. Эта трава стабилизирует грунт почвы и затем позволяет перейти к более разнообразной растительности, например, к травам, связывающим пески (*Carex agenaria*, *Festuca rubra*, var. *agenaria*), и однолетним—для стабилизации поверхности, подготавливая, таким образом, почву к образованию дерна или при других условиях—к развитию вереска и кустарников<sup>1</sup>.

Почва, подстилаемая неглубоко от поверхности слоем гравия, пластом горной породы или орштейном, подвержена спеканию в плотную массу либо перенасыщению водой, и общее снабжение ее водой обычно бывает настолько неудовлетворительно, что обработка такой почвы становится нерентабельной. Земля превращается в вересковую пустошь, покрытую ксерофитной растительностью, состоящей из вереска, крестовника (*Senecia*), ракитника (*Gytisus*). Из деревьев встречаются береза и хвойные; в настоящее время часто практикуется и искусственная посадка последних. Никакого метода культивирования этих почв до сих пор не найдено, и большинство из них остается голыми пустошами, не поддаваясь освоению. Лишь в двух случаях они поддаются обработке:

1) когда пласт горной породы или орштейна тонкий и в свою очередь лежит на довольно мелкозернистом песке, то удаление его восстанавливает непрерывность почвенной массы и, таким образом, ведет к улучшению водного режима;

2) там, где гравий или твердая порода не очень близки от поверхности, систематическое зеленое удобрение из люпина и других культур, удобренных калийными солями и карбонатом кальция, часто настолько улучшает почву, что обработка ее становится вы-

<sup>1</sup> См. F. W. Oliver and E. J. Salisbury «Topography and Vegetation of Blakeney Point», Trans. Norfolk and Norwich Nat. Soc., 1913, 9, 485.—543. W. Leach указал на важность некоторых мхов как пионеров на неустойчивых почвах (Journ. Ecology, 1931, 19, 98).



тодной. Примеры этого даются Шульцем в Люпице, в Германии<sup>1</sup> и д-ром Эдвардом в опытах в Capel St. Andrews в Суффолке и в Метвольде. При благоприятных условиях можно прибегать к внесению глины (как на фенах) или наносу ила (как в Линкольншире).

Бесплодные земли получают также в условиях, когда вследствие тонкой прослойки глины или низкого залегания ее вода не может стекать и накапливается, образуя болото. В таких случаях освоение возможно, как только будет найден выход для воды<sup>2</sup>.

### Суглинки

По мере того, как пропорции глины и мелкой пыли в почве увеличиваются, и по мере того, как пропорция грубого материала падает, устанавливается постепенное изменение в характере почвы, пока в конце концов, но без какого-либо резкого перехода, не получится новый тип, называемый суглинком. Увеличение количества мелкого материала несколько замедляет движение как воздуха, так и воды, так что суглинки характеризуются более однородным содержанием воды во всей своей массе, чем пески. С другой стороны, суглинки менее склонны перенасыщаться водой, и растения на них меньше страдают от жары в сухую погоду, чем на глинах. Процессы разложения в почве происходят нормально, с быстрым образованием питательных веществ и с малой склонностью почвы к закислению, по крайней мере пока имеется достаточное количество карбоната кальция. В результате на сугликах может расти большинство растений, включая и некоторые из тех, которые свойственны лишь некоторым специальным почвенным типам. Так, например, на стыке меловых и суглинистых почв нередко можно встретить мелолюбивые растения, такие, как, например, ломонос (*Clematis vitalba*), калину и другие, переходящие на суглинок, и в этом случае по виду растительности гораздо труднее установить пограничную черту почвы, чем в случае, когда мел примыкает к песку или к глине. По этой же причине суглинки допускают большой выбор в системах полеводства, и так как при хорошем уходе они становятся очень плодородными, то в Англии все они культивируются. Более внимательное и детальное наблюдение над отдельными площадями показывает, однако, что некоторые классы суглинков более подходят для одних культур и менее для других; экологи различают подразделения в растительных ассоциациях в связи с почвой, равно как земледелец-практик делает различия между почвами картофельными, ячменными, пшеничными и т. д.; эти различия несомненно зависят от условий

<sup>1</sup> Описано у Schulz—Lupitz (1881).

<sup>2</sup> Более полное обсуждение вопросов освоения земель см. E. J. Russell, Journ. Roy. Agric. Soc., 1919, 80, 112—133.



водного и воздушного режимов почвы, которые в свою очередь определяются разницей в сложных частицах почвы. Эти сложные отношения мало изучались в полевых условиях, но конечные частицы почвы определяются механическим анализом. В таблице 118 даются примеры механического анализа почв, свойственных разным культурам.

Таблица 118

*Механический анализ почв, особенно пригодных для некоторых культур в Кенте, Суррее и Суссексе, пределы колебаний. Холл и Расселл, 1911 г.*

|                 | Картофель | Ячмень   | Плодовые деревья | Хмель   | Пшеница | Пустошь      |
|-----------------|-----------|----------|------------------|---------|---------|--------------|
| Мелкий гравий . | 0,1—3     | 0,2—2,5  | 0,3—2,3          | 0,3—2,3 | 0,4—6   | 1—7          |
| Крупный песок . | 2—47      | 1—53     | 0,8—9,5          | 0,7—9,5 | 0—13    | 16—69        |
| Мелкий » .      | 23—68     | 20—45    | 30—55            | 25—39   | 15—31   | 18—64        |
| Пыль . . . . .  | 3,5—21,4  | 5—33     | 13—44            | 20—45   | 11—35,5 | 2—7          |
| Мелкая пыль . . | 5—9       | 3,5—16,4 | 6—11             | 6—11    | 9,5—24  | 2            |
| Глина . . . . . | 5,5—12,6  | 4—19     | 10,5—14,6        | 11,5—15 | 13—24   | 1 или меньше |

Низкое содержание глины и мелкой пыли и высокое—крупного песка всюду, где содержание глины приближается к 12%, характеризует картофельную почву; эти почвы являются наиболее пористыми из всей серии почв, допуская свободное дренирование и аэрацию. Ячмень выносит более тяжелые и менее глубокие почвы. Плодовые деревья и хмель требуют более глубоких почв и, по видимому, лучше всего чувствуют себя только на ограниченном классе почв; садовые почвы обычно содержат гораздо больше песка и меньше пыли, чем хмелевые почвы. Но садовые почвы различаются между собою; питомники, дающие лучший посадочный материал, закладываются на почвах картофельного типа, где условия по некоторым невыясненным причинам очень благоприятны для развития мочковатых корней; земляника предпочитает более легкие, а яблони—более тяжелые из садовых почв<sup>1</sup>. Даже различные сорта одного и того же растения определенно предпочитают один класс почвы другому. Лучшие сорта хмеля встречаются только на типичных хмелевых почвах; если же требуется выращивать хмель на более тяжелых почвах, то приходится лучшие сорта заменять более грубыми. Общераспространенные культуры—овес, ячмень, пшеница и пр.—предпочитают также определенные почвенные условия; к сожалению, это узнается только прямыми полевыми опытами, и даже в этом случае результаты могут быть обобщены только, когда в остальном преобладают сходные условия; при других условиях (климата, сезона) результаты могут оказаться совершенно обратными.

<sup>1</sup> Подробнее о садовых почвах см. Ministry of Agriculture, Researche Monograph № 6, 1929.

Между более легкими и более тяжелыми суглинками разница состоит отчасти в балансе между снабжением воздухом и водой, так как по мере того, как суглинки становятся тяжелее, снабжение водой увеличивается и снабжение воздухом соответственно уменьшается. Следовательно, растения, требующие для развития корней много кислорода и только умеренного количества воды, с меньшей вероятностью будут успешно развиваться на более тяжелых суглинках, чем растения, требующие меньшего количества кислорода, но отзывчивые на излишнее количество воды. Примеры из дикой растительности приводятся Кенноном (1925). Вязкость более тяжелых почв и их большее сопротивление проникновению корней растения также в значительной степени влияют на рост растения. В Англии можно найти некоторые интересные агротехнические примеры, которые, однако, пока еще, не вполне проанализированы. В Ротамстеде ранний рост растений находится в обратном соотношении с плотностью почвы, измеряемой силой тяги, необходимой для продвижения плуга (стр. 408). Пшеница, растущая на вполне подходящем для нее суглинке, чувствует себя хорошо, дает крепкую солому и полные колосья, так что урожай в 50—60 бушелей на акр может быть получен легко; на почве же, отличающейся по типу, и в особенности при несколько иных климатических условиях, может быть получено только от 30 до 40 бушелей, так как колосья получаются не столь плотные, а солома—слишком слабой, чтобы выдержать высокий урожай, и полегают, как только делается попытка позреть урожай внесением удобрений. Отсутствуют ли какие-либо питательные вещества в этих почвах или ненормально протекают процессы снабжения воздухом и водой—неизвестно, но снижение урожая, происходящее в связи с неблагоприятными условиями таких почв, представляет серьезный вопрос.

Изменяется не только урожай общей растительной массы, но также и состав ее. Ячмень, растущий на некоторых почвах, дает гораздо лучший солод, чем на других<sup>1</sup>. Картофель, выращиваемый в районе Дэнбар, замечателен по своим качествам; он выдерживает варку и последующее разогревание, не чернея. Те же сорта картофеля, выращиваемые таким же способом на фенах при той же обработке, сильно чернеют и, следовательно, ниже расцениваются на рынке.

Почвенные условия сильно влияют на травы.

В болотах Ромней обычно встречаются пастбища, на которых растет райграс и белый клевер с гребенчатой травой (*Cynosurus cristatus*) и полевицей (*Agrostis*), на которых хорошо откармливаются овцы в течение лета без всякого другого корма. Вокруг этих пастбищ имеются другие пастбища, тип растительности ко-

<sup>1</sup> Более полное изложение см. E. J. Russell, Journ. Inst. Brewing, 1924, 30, 818—837.

торых такой же, но трава на них растет медленнее, дает больше стеблей и меньше листьев и менее питательна, и на них откармливаться овцы не могут. И это несмотря на то, что, при некоторых лишь небольших обнаруженных различиях, эти почвы совершенно сходны с первыми как по механическому составу, так и по водному и температурному режимам<sup>1</sup>. Некоторые из трав, растущих на пастбищах Нижнего Лиаа в Сомерсетшире и в Уорвикшире, вызывают острый понос у крупного рогатого скота, между тем как травы на примыкающих аллювиальных пастбищах не вызывают его<sup>2</sup>. Вредное влияние совершенно другого рода замечается на некоторых швейцарских пастбищах<sup>3</sup>. Мы уже указывали на вредное влияние кислотности почвы и недостатка фосфатов.

Агротехника в обработке суглинков, как уже было указано, допускает значительные вариации. По старому способу вносилось большое количество навоза каждые три или четыре года и меньшее количество в промежуточные годы; выращивался также клевер (каждые четыре года), а на легких суглинках урожай корнеплодов скармливался скоту в поле. Через длительные промежутки применялось известкование и иногда костяная мука. Современное движение в пользу специализации выражается в том, что каждый фермер старается производить у себя те культуры, которые у него лучше всего удаются, ухаживая за ними тем способом, который он находит наиболее выгодным. Но эта система обычно требует значительных количеств привозных кормов, скармливаемых овцам и крупному рогатому скоту либо в поле, либо на дворах, с использованием на удобрение навоза и покупных удобрений натриевой селитры и сульфата аммония, а также отбросов промышленности (обычно происходящих от переработки привозных животных и растительных продуктов) в целях усиления снабжения азотом, с покупкой также импортированных фосфатов и калийных солей. Таким образом, стремятся повышение плодородия почв в странах с высоким уровнем сельского хозяйства, как, например, в Англии, производить за счет новых стран, экспортирующих большое количество животных и растительных продуктов. Но экспорт этот ведет к чрезвычайной расточительности; огромные потери происходят в девственных странах вследствие непрерывной культуры, а в Англии—при производстве навоза (стр. 322) и особенно вследствие наших методов городской канализации. Представляется неизбежным, что эти потери дадут себя почувствовать когда-либо, если только не будет организовано движение в пользу сохранения естественных ресурсов, в которых заинтересованы все страны.

<sup>1</sup> A. D. Hall and E. J. Russell, 1912. Journ. Agric. Sci., 4, 339—370.

<sup>2</sup> C. T. Gimingham, Journ. Agric., 1910, 17, 529—541, and Journ. Agric. Sci., 1914, 6, 328—336.

<sup>3</sup> Jahrb. Schweiz., 1898, 104—105.



# Соотношение между данными механического и химического анализа и агротехническими и экологическими свойствами почв \*

В этом разделе приводятся примеры из обследований Кента, Суррея и Суссекса Холлом и Расселем в 1911 г., показывающие соотношение между аналитическими данными и агротехническими и экологическими свойствами почв.

Таблица 119 иллюстрирует разницу в механическом составе песков, суглинков и глины.

Таблица 119

Механический анализ почв. Hall u. Russell (1911)

| Формации                              | Пески                   |          |                    |        | Суглинки           |       | Глины                   |                          |         |
|---------------------------------------|-------------------------|----------|--------------------|--------|--------------------|-------|-------------------------|--------------------------|---------|
|                                       | Отложения<br>Фолькстона |          | Отложения<br>Танет |        | Кирпичная<br>глина |       | Лон-<br>донск.<br>глина | Вель-<br>денск.<br>глина | Аллювий |
| Местность                             | Chilworth               | Ssalford | Goldstone          | Barton | Ickham             | Oving | Totworth                | Shadd-<br>oxhurst        | Ewhurst |
| Гравий . . . . .                      | 1,2                     | 2,5      | 0,2                | 0,2    | 0,3                | 0,9   | 0,4                     | 0,2                      | 0,7     |
| Грубый песок . . . . .                | 65,9                    | 52,6     | 15,3               | 2,3    | 0,7                | 1,3   | 12,8                    | 1,5                      | 1,0     |
| Тонкий » . . . . .                    | 23,7                    | 26,2     | 41,9               | 34,7   | 24,7               | 16,0  | 25,5                    | 14,0                     | 19,8    |
| Пыль . . . . .                        | 2,4                     | 4,8      | 17,3               | 36,2   | 44,8               | 35,5  | 11,3                    | 19,6                     | 28,4    |
| Тонкая пыль . . . . .                 | 2,0                     | 3,5      | 6,3                | 6,3    | 8,6                | 13,3  | 11,1                    | 25,8                     | 12,1    |
| Глина . . . . .                       | 0,9                     | 3,8      | 8,9                | 11,5   | 14,7               | 5,9   | 23,7                    | 22,1                     | 19,7    |
| Углекислый<br>кальций . . . . .       | —                       | 0,3      | 0,08               | 0,18   | 0,4                | 0,75  | 2,0                     | 0,16                     | 0,05    |
| Потери от прова-<br>ливания . . . . . | 2,6                     | 3,3      | 3,1                | 4,3    | 4,6                | 6,5   | 5,6                     | 9,8                      | 10,2    |

Почва Чильворта содержит так мало глины и так много крупного песка, что обладает очень слабой влагоемкостью. Так как она залегает слишком высоко, чтобы получать приток почвенной воды из соседних пластов, то она всецело зависит от непосредственного выпадения дождей и поэтому не культивируется, оставаясь вересковой пустошью. Благодаря плохой структуре и высокому положению, ее не удастся никакими известными методами сделать пригодной для культуры.

Почва Шальфорда, лежит ниже и имеет лучшее снабжение водой, содержит меньше крупного песка и более глины и тонкой пыли. Но ее влагоемкость низкая, равно как и способность удерживать удобрение; минеральные удобрения здесь менее пригодны, чем органические, и лучшим использованием земли служит выращивание растений на зеленый корм для овец. Почва эта больше подходит для специальных целей, например, для выращивания



пивоваренного ячменя или огородных культур, чем для обыкновенных полевых культур.

Почва Гольдстона содержит больше глины и тонкой пыли и поэтому обладает лучшей способностью удерживать воду и удобрения; она более продуктивна и вообще более пригодна для культуры. Но так как грубый песок доминирует над известью, она все же остается легкой; эта почва лучше отзывается на органические, чем на минеральные, удобрения, и страдает в сухую погоду, несмотря на близость болот. Содержание 45 % тонкого песка обуславливает склонность к образованию корки на поверхности после дождей и фольших глыб, когда она сухая. При надлежащем уходе она, однако, дает хорошие урожаи и одинаково пригодна для ряда с.-х. культур, в том числе для картофеля и плодовоовощных культур<sup>1</sup>.

Следующие три почвы являются иллюстрацией лучших суглинков во всех трех районах. Пыль составляет наибольшую фракцию, и поэтому почва обладает достаточной, хотя и не очень большой, способностью к удержанию воды. Содержание мелкой пыли в ней всегда ниже, чем глины; содержание последней колеблется между 12 и 16 %, что является вполне удовлетворительным, если количество осадков не слишком обильно. Так как в этих почвах находится значительное количество мелкого песка и они не страдают большим избытком тонкой пыли и глины, то отсутствие грубого песка не является недостатком их.

Почва Тольворта продуктивна, но слишком тяжелая; она может быть приведена в хорошее состояние только при помощи известкования и уваживания, но благодаря низкому содержанию в ней крупного песка ее чаще запускают под травы.

Почва Шеддоксхерста плохая. Она содержит много глины и еще больше тонкой пыли, и структура ее не улучшается от известкования, как можно было бы ожидать. В ней почти нет грубого песка и мало тонкого песка для того, чтобы придать рыхлость. Данная почва более пригодна как пастбищная; после дренажа и удобрения томасовым шлаком она может быть приведена в культурное состояние, но никогда не будет хорошей.

Обе почвы Юхерста находятся под пастбищем, так как они слишком тяжелые для полевой культуры благодаря высокому содержанию глины и низкому содержанию грубого песка. Первая из них имеет лучшее строение; характерной чертой ее является преобладание пыли, содержание же глины и мелкой пыли в ней не особенно велико. Она имеет все признаки хорошей тяжелой почвы и отличается своими прекрасными пастбищными свойствами. Вто-

<sup>1</sup> По сообщению Т. Уоллес из Лонг Аштона на западе Англии, некоторые из хороших садовых почв (например, кейперские и милфордские края) содержат около 50 % мелкого песка. Почвы, содержащие 50 % крупного песка, менее пригодны для садоводства.

рая почва содержит слишком много глины и тонкой пыли и слишком мало пыли и крупного песка и не имеет большой сельскохозяйственной ценности.

### Факторы, изменяющие влияние механического состава почвы на ее свойства

**Содержание органического вещества.** Органическое вещество в надлежащем состоянии разложения обладает свойством связывать рыхлые почвы и делать более легкими тяжелые; таким образом, оно смягчает разницу между легким песком и тяжелой глиной, приближая то и другое к суглинку. Когда в почве находится от 10 до 15 % органического вещества, то это оказывает столь сильное влияние на свойства почвы, что состав по механическому анализу в значительной степени теряет свое значение.

Однако очень существенным является, чтобы органическое вещество находилось в надлежащем состоянии разложения.

Песчаные пустоши нередко содержат от 5 до 10 и даже до 15 % органического вещества, но большая часть его представляет собою высохшие остатки папоротников или другой растительности, которые не только не имеют никакой ценности для улучшения физических свойств почвы, но скорее наоборот. Если дренаж плохой, то может образоваться торф.

**Содержание углекислой извести.** Углекислая известь может сильно изменить свойства глины, придавая значительную рыхлость почве, которая иначе была бы непригодна для обработки. Когда содержание углекислого кальция поднимается выше 5 %, механический анализ почвы теряет свое значение так же, как в присутствии слишком большого количества органического вещества.

**Дожди.** При больших осадках грубые фракции почвы в значительной мере теряют свои недостатки. Более же тонкие фракции много теряют в своей ценности, так как их способность удерживать воду становится излишней, а свойства вязкости усиливаются; к счастью, большой процент глины встречается только в сухих, но не во влажных районах. Например, почва Стедем (табл. 120) не столько легче, чем почва Сванли, и однако благодаря избытку дождей она более пригодна для целей земледелия<sup>1</sup>. В самом деле, почва Сванли является по существу огородной почвой, требующей применения в больших количествах навоза. Почва Норд-Чепля по физическим свойствам так же хороша, как почва Ист-Фарлей, но по с.-х. качествам гораздо ниже; благодаря высоким осадкам она становится слишком вязкой для полевой культуры и представляет собою плохое угодье при засеве ее травами; сходная с ней почва Ист-Фарлей взята из высокоплодородного хмельника.

<sup>1</sup> Пример дается Робинсоном, Journ. Agric. Sci., 917, 8, 307.

**Умеренность климата.** Почвы, содержащие настолько много грубого или тонкого песка, что культуры на них легко выгорают в теплых районах, могут оказаться весьма пригодными для земледелия в более прохладных районах, при более слабом испарении. Картофель растет лучше всего на почвах легких, прохладных и влажных. Почва Нутфильд (табл. 120) находится на склоне к северу, невысоко над рекой, и вследствие этого не легко пересыхает, являясь, таким образом, очень хорошей для культуры картофеля. С другой стороны, почва Тольворт хотя имеет сходный состав, но расположена так, что быстро сохнет и имеет гораздо меньшую ценность. Обе они сходны с известными картофельными почвами Дэнбара, где климат прохладнее.

Таблица 120

*Снабжение водой в связи с механическим составом*

|                                            | Swanley | Stedham | North-Chapel | East Far-leigh | Tolworth | Nuffield | Dunbar |      |
|--------------------------------------------|---------|---------|--------------|----------------|----------|----------|--------|------|
| Мелкий гравий . . . . .                    | 1,2     | 1,4     | 0,9          | 2,3            | 0,6      | 2,9      | 3,0    | 1,0  |
| Грубый песок. . . . .                      | 10,2    | 9,3     | 11,4         | 9,5            | 37,8     | 46,6     | 33,8   | 23,7 |
| Тонкий » . . . . .                         | 58,6    | 68,5    | 43,2         | 30,6           | 33,1     | 22,9     | 28,0   | 38,2 |
| Пыль . . . . .                             | 13,3    | 3,6     | 13,0         | 19,7           | 7,7      | 3,5      | 5,5    | 6,8  |
| Тонкая пыль . . . . .                      | 5,1     | 5,6     | 10,2         | 11,1           | 4,7      | 8,8      | 10,8   | 11,8 |
| Глина . . . . .                            | 5,5     | 5,5     | 10,9         | 13,3           | 7,6      | 6,9      | 6,6    | 9,5  |
| Потеря от прокаливания . . . . .           | 2,9     | 3,4     | 5,1          | 5,6            | 3,6      | 3,6      | 6,9    | 6,2  |
| Карбонат кальция . . . . .                 | 0,02    | 0,03    | 0,8          | 1,0            | 0,27     | 0,21     | 0,15   | 0,31 |
| Осадки в дюймах (приблизительно) . . . . . | 24      | 33      | 30           | 24             | 28       | 27,5     | 25     | 25   |

**Влияние грунтовых вод.** Когда грунтовые воды находятся близко к поверхности, но все же достаточно глубоко, чтобы позволить корням нормально развиваться, глина и тонкий ил становятся менее необходимыми. Под почвой Уейбридж (табл. 121) около 3 футов ниже поверхности находится ток подземной воды, и вследствие этого почва дает прекрасные урожаи пшеницы. Пески Багшота, хотя и сходны по физическому типу, не имеют такого снабжения водой и являются бесплодными, так как они страдают недостатком глины, которая при этих обстоятельствах могла бы удерживать влагу от одного дождя до другого.

Почва Шелфорда—легкая песчаная с слабой влагоемкостью и поэтому является луговым угодьем, за исключением мест, близ-

Таблица 121  
Подземные воды и механический состав почв

|                         | Weybridge | Bagshot Beds | Shalford | Lydd |
|-------------------------|-----------|--------------|----------|------|
| Мелкий гравий . . . . . | 1,3       | 1 до 6       | 2,5      | 0,1  |
| Грубый песок . . . . .  | 38,4      | 20 » 30      | 52,6     | 0,9  |
| Тонкий » . . . . .      | 39,9      | 45 » 65      | 26,2     | 66,7 |
| Пыль . . . . .          | 5,6       | 5 » 10       | 4,8      | 7,2  |
| Тонкая пыль . . . . .   | 5,1       | 5 » 10       | 3,5      | 11,4 |
| Глина . . . . .         | 3,8       | 3 » 7        | 3,8      | 3,9  |

ких к ручьям. Почва Лидд является одним из лучших пастбищ в болотах Ромни. Она имеет, однако, постоянное снабжение водой, в трех или четырех футах ниже поверхности, в то время как в Шелфорде уровень воды гораздо ниже.

Подземные потоки являются одним из факторов плодородия долин. Почвы, лежащие на склонах по направлению к долине, получают не только дождевую влагу, но также постоянный ток воды вниз по направлению к реке или болоту, находящимся на дне долины, и это преимущество еще усиливается постоянным перенесением почвы, растворимых веществ, оснований и т. д.

**Влияние подпочвы.** Подпочва бывает вообще более тяжелой по типу, чем почва, в особенности в случае глинистых почв; при-

Таблица 122

Природа подпочвы

|                         | Lodding-ton |          | Harting |          | Dicker |          | Shopwyke |          | Wye   |          |
|-------------------------|-------------|----------|---------|----------|--------|----------|----------|----------|-------|----------|
|                         | Почва       | Подпочва | Почва   | Подпочва | Почва  | Подпочва | Почва    | Подпочва | Почва | Подпочва |
| Мелкий гравий . . . . . | 3,5         | 2,6      | 0,6     | 0,2      | 1,0    | 0,6      | 0,6      | 0,1      | 1,0   | 0,2      |
| Грубый песок . . . . .  | 10,2        | 9,8      | 3,3     | 3,2      | 2,0    | 1,1      | 0,8      | 0,4      | 3,0   | 1,9      |
| Тонкий » . . . . .      | 33,5        | 30,2     | 31,6    | 33,9     | 26,2   | 23,2     | 25,0     | 21,9     | 27,2  | 25,3     |
| Пыль . . . . .          | 14,6        | 17,5     | 17,3    | 21,3     | 23,0   | 15,1     | 27,3     | 38,0     | 40,9  | 41,4     |
| Тонкая пыль . . . . .   | 14,9        | 15,5     | 14,5    | 13,4     | 17,8   | 21,9     | 16,4     | 15,2     | 18,9  | 9,6      |
| Глина . . . . .         | 12,2        | 15,3     | 12,3    | 16,0     | 17,9   | 25,7     | 11,1     | 15,7     | 11,2  | 14,5     |



меры даны в таблице 122. Исключения из этого правила могут возникнуть при периодических затоплениях водой, содержащей много глины во взвешенном состоянии, или в случае, когда под поверхностью находятся пески.

Вредный эффект от слоя непроницаемого материала близ поверхности виден на почве Лоддингтона (табл. 122), типичной для плодородного района около Мейдстона (Кокс-Хит), большая часть которой была пустошной землей. Бесплодие ее происходило от тонкого слоя каменной горной породы, лежащей близ поверхности; когда последний был удален, почва стала пригодной для высокой культуры. Почва Диккер не плохая по своей природе, но подстилается глубоким слоем плотной глины, которая поддерживает ее мокрой зимою и запекается летом.

Почва Шопвайка страдает от избытка дренажа, так как она лежит на мощном слое гравия на глубине всего 9 дюймов или около фута под поверхностью—образец подпочвы мог быть взят только в одном или двух местах. Вследствие этого эта почва сильно пересыхает летом и не особенно отзывчива на удобрения.

Почва Уай иллюстрирует более плодородные условия. Она становится скорее более тяжелой по мере углубления, в результате чего движение воды несколько замедляется, но не останавливается. Таким образом, подпочва здесь служит резервом воды для почвы, хотя не слишком много задерживает ее даже в сырую погоду.

### Плодородие и истощение почвы

Мы можем теперь суммировать различные свойства, которые создают почвенное плодородие.

1. В почве должно присутствовать достаточно воды, воздуха и питательных веществ для того, чтобы обеспечить наиболее полный рост, допускаемый температурой.

Воздух и вода взаимно дополняют друг друга; они проникают в пористые пространства почвы, и всякое увеличение одного автоматически сокращает другое. Количество пористого пространства определяется размером и распределением почвенных частиц. Вода удерживается вблизи поверхности почвенными коллоидами.

2. Далее, растения должны добывать воздух, воду и питательные вещества достаточно быстро, чтобы иметь возможность расти непрерывно без остановок.

3. Весьма важным является свободный рост корней. Для большинства растений это вызывает необходимость иметь достаточно воздуха и, следовательно, не слишком много коллоидов в почве, но и не слишком мало, иначе снабжение влагой может быть недостаточным. Состояние коллоидов также важно; декоагулированное состояние является не столь благоприятным для роста корней, как надлежащее коагулированное состояние.

4. Из всех глин известковая глина наиболее удовлетворяет росту растений; в природе встречаются магниевые, натриевые и кислые глины, которые хотя и допускают рост растений, но, за некоторыми исключениями, этот рост является слабым. Это ставит кальций в исключительное положение среди химических элементов при определении почвенного плодородия.

5. Остатки отмерших растений, падающие на почву и уносимые в нее земляными червями, муравьями и пр., вносят в почву некоторое количество органического вещества, содержащего запасы энергии, и растительные питательные вещества. Эти остатки дают возможность развиваться большому населению микроорганизмов, которые, получая свою энергию, превращают органические соединения в простые неорганические, в особенности в анионы —  $\text{HCO}_3$ , —  $\text{SO}_4$  —  $\text{NO}_3$ , —  $\text{PO}_4$ . Микроорганизмы различаются по своей активности в различные сезоны и даже из дня в день. Анионы вносят эквивалентное количество катионов в раствор. Таким образом, количество и состав растительных питательных веществ в почве и почвенный раствор колеблются, вероятно, непрерывно. Некоторые из питательных веществ ассимилируются или разлагаются микроорганизмами. В плодородной почве темп образования усвояемых растениями питательных веществ вполне удовлетворяет их потребностям.

6. Дождевая вода, падая на поверхность, вытесняет почвенный раствор и растворяет свежий материал; просачиваясь через почву, она уносит значительное количество оснований растительных питательных веществ и органического вещества, и действие это усиливается, когда пропорция кальция низко падает, что способствует понижению плодородия. С другой стороны, корни растений выносят питательные вещества, основания и пр. из более глубоких слоев почвы, откладывают их в листьях и стеблях и в конце концов возвращают их поверхности почвы. Таким образом, существует постоянная циркуляция оснований и питательных веществ, дождь вымывает их из поверхности и растения возвращают их обратно. В условиях сильного выщелачивания возврат не бывает полным, и почва, подверженная сильным дождям и находящаяся на вершине склона или на проницаемой подпочве, допускающей свободный дренаж, может потерять так много оснований и питательных веществ, что превращается в кислую и неплодородную, тогда как почва, расположенная ниже, выигрывает в плодородии. В плодородных почвах существует либо поступление с более высоко расположенных почв, либо чистые потери так малы, что возмещаются деятельностью микроорганизмов.

При этом возникают четыре ряда условий.

1. Расход превышает приход: почва постепенно теряет свои основания, становится кислой и приобретает все более и более свойства подзола. При тропических условиях потеря веществ бы-

вает другая и может произойти латеризация, если состав материала для этого будет подходящим.

2. Потери приблизительно уравниваются поступлениями от растений и от выветривания материала твердых пород. Таково положение вещей в большинстве почв Англии и в других странах на бурых или серых лесных почвах, так как динамическое равновесие превалирует, делая эти почвы относительно стабильными, и они являются плодородными или могут быть превращены в плодородные.

3. Влияние дождевых осадков столь незначительно, что не причиняет потерь, за исключением только очень растворимых солей, однако оно достаточно для роста трав и для накопления гумуса до известного предела. Таковы черноземы, очень стабильные и плодородные.

4. Дождевых осадков для полного роста растений недостаточно; при этом условия растительность скудная, остатки ее уничтожаются муравьями и другими насекомыми, и образуется мало гумуса; таковы засоленные почвы, плодородные, когда снабжаются водой, но дающие после осуществления ирригации разные осложнения благодаря взаимодействию с солями.

Бесплодие почв в общем легче исследовать, чем плодородие, так как оно обычно имеет специфические особенности. Бесплодие возникает, когда некоторые существенные условия не вполне удовлетворяются; оно может произойти от недостатка воздуха, воды, питательных веществ, в особенности азота, фосфора, калия и кальция. Недостаток кальция имеет широко распространенное действие и ведет к развиту кислотности в почве, которая усугубляет неблагоприятные эффекты, уже имеющиеся в почве. Часто тот или другой из отрицательных факторов доминирует в своем действии, и является необходимым вскрыть его и затем применить те или иные методы мелиорации, культуры или системы хозяйства, соответствующие наличным условиям.

В местностях влажного умеренного климата земледельцы для улучшения продуктивности почв обычно принимают один или другой из следующих методов.

1. Увеличение снабжения водой через увеличение количества коллоидального материала, через углубление почвы, т. е. разрушением орштейна, через обогащение нижнего слоя или с помощью других приемов; увеличение притока воздуха дренажем.

2. Создание сложных частиц должной культивацией, добавлением органического вещества (например, навоза, зеленого удобрения и т. д.) и углекислого кальция.

3. Добавление достаточного количества углекислого кальция, чтобы обеспечить реакцию, подходящую для культуры и микроорганизмов.

4. Увеличение в почве количества усвояемых питательных



веществ внесением удобрений, запахиванием зеленых бобовых культур, кормлением скота в поле и т. д.

Сокращение плодородия, вызванное распахкой почвы и снятием урожаев, называется «истощением» почвы. Оно является результатом того, что питательные вещества и основания, вынесенные из почвы растениями, не возвращаются ей обратно, но отчуждаются более или менее полно, и восстановительная часть цикла нарушается. В местностях влажного климата истощение почвы ограничивается выносом кальция, других питательных веществ и некоторыми потерями органического вещества, а также разрушением структуры и самих сложных частиц почвы. При этом большая пропорция минеральных частиц остается нетронутой. Следовательно, можно различать временное плодородие, которое может контролироваться земледельцем, и «природное» плодородие, которое зависит от неподдающихся изменению первичных частиц почвы. Это различие очень неопределенно и на практике всецело эмпирично. До сих пор действенных методов для такого определения не выработано.

Истощение почвы чаще всего бывает фосфатным. Причиной его являлось отсутствие возможности покрыть потребность почвы в фосфатах в прежние времена, а также и то, что первоначальное наличие их в почве, как правило, было невелико; в результате фосфатное истощение сделалось очень острым. В связи с этим, начиная с конца XVIII века, в Англии стали применять добавление к почве фосфатов, широко практикуемое и до сих пор и дающее замечательные улучшения почв. Начались все увеличивающиеся поиски мировых запасов фосфатов. В начале в качестве источника фосфатов разыскивались кости и, если верить некоторым рассказам, даже старые поля битв не были обойдены; позднее (в 1842 г.) Хенслоу открыл большие отложения фосфорита, на которые все больше и больше обращалось внимания. Использование мировых запасов фосфатов является вопросом большой исторической важности\*.

Скопление населения в городах и сильное удешевление транспортных тарифов привели в течение XIX века к применению в новых странах, в особенности в Северной Америке, более опустошительных методов ведения сельского хозяйства: непрерывности полевых культур без чередования бобовых и злаковых трав\*\*. Органическое вещество при этом быстро окисля-

\* На Международном геологическом конгрессе в Брюсселе в 1919 г. проф. Я. В. Самойловым (Москва) было сделано предложение учета мировых запасов фосфатов, подобно тому, как еще ранее были учтены запасы каменного угля и железа. Прим. перев.

\*\* Эти хищнические приемы, приведшие к истощению больших земельных площадей, уже встречают энергичные возражения опытных станций в США, инициатором чего был покойный проф. Хопкинс в Иллинойсе, выдвигавший свою систему поддержания постоянного плодородия почвы. Но в условиях капиталистического хозяйства спекулятивные интересы



лось, выщелачивание и эрозия с удалением растительного покрова значительно увеличились, между тем как сложные почвенные частицы, которые медленно образовывались в течение столетий, скоро распались. Ничего не возвращалось в почву, зерно и другие продукты, могущие перевозиться, продавались, а солома сжигалась. В результате степень истощения почвы достигла пределов, не известных в старых странах, и исправления почвы для фермера оказались непосильными. Он бросал землю и уходил. Превосходные экспериментальные изучения Хопкинса (1910) на Иллинойской опытной станции, Витсона в Висконсине<sup>1</sup> и других американских исследователей показали, что добавление извести, фосфатов и иногда калийных солей с введением севооборотов, включающих травы и бобовые культуры, а также надлежащая обработка почвы постепенно приводят к очень заметному улучшению.

В районах, подверженных ураганым дождям, могут иметь место смывы почв, что является уже гораздо более серьезным.

### Химический анализ

Для быстрого сравнения почв является полезным определение потерь главным образом органического вещества и азота от прокаливания. Необходимо при этом делать отметки, является ли органическое вещество хорошо разложившимся или оно сохраняет еще в значительной степени определенную структуру. В юго-восточных районах Англии содержание азота составляет около 3% от общих потерь при прокаливании, за исключением пустошей, где оно ниже. Высокое содержание азота не является непременно признаком высокого плодородия: некоторые из лучших суглинков содержат мало азота, а некоторые пустоши, наоборот, много (табл. 123).

Почвы, содержащие много углекислого кальция, обычно как в верхних, так и в более низких слоях богаче азотом, чем другие минеральные почвы.

Присутствие углекислого кальция указывает на отсутствие кислотности в почве. Тяжелые пахотные почвы, содержащие 0,25% или даже 0,5% углекислого кальция, могут все же отзываться на дальнейшее известкование, что связано с его значением для коагуляции; земли, покрытые травой, менее отзывчивы, а легкие почвы могут нуждаться лишь в незначительных количествах его.

Существует разного рода зависимость между содержанием глины и некоторых оснований, извлекаемых крепкой HCl, а также между взаимным соотношением некоторых из этих оснований

не ограничиваются законодательством, и хищническое хозяйство продолжается. Прим. перев.

<sup>1</sup> Wisconsin Bulls 174, 202, 204, 205, 1909—1911.

Таблица 123

Азот в почве и потери от прокаливания

|                                             | Плодородные пахотные почвы |       |       |       | Бедные пахотные почвы |       |       |       | Голая пустошь |      |       |
|---------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|---------------|------|-------|
| Потери от прокаливания в почве (в %) . . .  | 4,65                       | 6,58  | 3,70  | 4,65  | 4,13                  | 6,23  | 3,60  | 5,14  | 5,94          | 7,00 | 5,81  |
| Азот в почве (в %) . . .                    | 0,120                      | 0,220 | 1,133 | 0,141 | 0,128                 | 0,143 | 9,192 | 0,152 | 0,13          | 0,19 | 0,16  |
| Потери от прокаливания в подпочве (в %) . . | 3,00                       | 4,94  | 2,81  | 3,29  | 3,74                  | 5,50  | 2,58  | 4,14  | —             | —    | 2,70  |
| Азот в подпочве (в %) . . . . .             | 0,078                      | 0,139 | 0,081 | 0,097 | 0,112                 | 0,104 | 0,161 | 0,096 | —             | —    | 0,058 |

и почвенной кислотностью. В сильно выветрившихся почвах южной Англии содержание глинозема составляет приблизительно  $\frac{1}{3}$  от фракций глины (за исключением случаев присутствия большого количества мелкой пыли, когда оно бывает ниже); окись железа не обнаруживает, однако, подобной зависимости. Содержание калия, растворимого в крепкой HCl, составляет около  $\frac{1}{10}$  от глинозема или  $\frac{1}{30}$  от глины.

Мало полезных указаний могут дать величины общего содержания фосфорной кислоты в почве. В отличие от калия оно не связано ни с какой определенной фракцией и не обнаруживает никакого отношения к плодородию почвы. Величины «усвояемой» фосфорной кислоты и калия представляют некоторую ценность при сравнении почв, в случае, если это сравнение производится со стандартной почвой, на которой велись полевые опыты. Улучшение снабжения водой уменьшает отзывчивость урожаев на калий, а с возрастанием легкости почвы может уменьшиться ее отзывчивость на фосфаты.

## ГЛАВА IX

### МЕТОДЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ

#### ПОЧВЕННЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ПОЧВЕННЫЕ КАРТЫ

Почвенные обследования производятся для двух целей: для изучения отдельных образцов почвы и для составления почвенных карт.

В течение многих лет исследователи почв ограничивались первой целью, их методы были чисто химические, основанные «на минеральной гипотезе» Либиха (стр. 23) и на теории, что кислые выделения из корней растений растворяют калий и фосфаты в почве (стр. 413). Эти методы потеряли большую часть своей ценности, когда сама идея, на которой они были построены, оказалась несостоятельной. Позднее был выдвинут Миллтоном Уитни механический анализ, который оказался очень полезным для характеристики физических свойств почвы и удержался до сих пор.

В сравнительно недавнее время были изобретены новые химические методы, включающие оценку количества и состава коллоидального вещества и обменных оснований, реакцию почвы, концентрацию водородных ионов в ней и потребность в извести.

Производятся обследования почв и составляются почвенные карты с целью выделения площадей сходных почв. Однако прежде всего необходимо установить основания для классификации.

Для больших почвенных групп удовлетворительное основание классификации было выработано пятой комиссией Интернационального общества почвоведения и оно использовано при составлении почвенной карты Европы Стремом (1929). Группировка следует русскому методу и определяется общими характерными чертами почвенного профиля, который в свою очередь определяется как материнской породой, так и климатом. Таким образом, почвенная карта тесно связана как с геологической, так и с климатической картой; в некоторых случаях доминирующее влияние имеет геология, в других климат.

Однако группы этой классификации очень велики: так, например, большая часть почв Англии охватывается лишь одной

из них. Необходимы более мелкие группировки с различиями в деталях внутри этих больших групп почв.

Были приняты два метода классификации:

1) по геологическому происхождению и 2) по механическому составу.

Геологическая основа имеет то преимущество, что она обычно находится в связи с топографией и что в старых странах геологическое обследование уже сделано. Первый пример пользы этого метода был дан Топлеем (1872) при описании нижнего мела (неокома) Тента, Суррей и Суссекса; он был принят Холлом и Расселем (1911) при почвенном обследовании этих районов, и метод удался, так как почвы обычно происходили из нижележащих горных пород и лишь немного было ледниковых наносов, которые осложняют картину на севере Англии. Однако данный метод обычно находит применение только на относительно небольших площадях. Он имеет тот недостаток, что группирует вместе почвы слишком различного физического состава и оказывается несостоятельным в районах с большими количествами осадков.

С другой стороны, и механический состав почвы всегда может быть принят как основание для почвенного обследования. В своем простейшем виде он применялся уже давно. Почвенные карты по механическому составу, с подразделением почв районов на песчаные, суглинистые, глинистые, меловые и другие, были составлены для большей части всей Великобритании первым Департаментом (Board) земледелия и опубликованы между 1800 г. и 1812 г., с полным описанием с.-х. свойств почв и их использования. Современные методы достаточно полно были разработаны в США; подробности приводятся в инструкции Марбута для персонала почвенных экспедиций<sup>1</sup>. При начале обследования на каждой данной территории отыскивается нормальная почва на возвышенных равнинах с волнистым (но не «плоским») рельефом, по крайней мере на 6 футов над уровнем постоянной грунтовой воды. Выкапывается разрез, чтобы можно было видеть профиль почвы и характер горизонтов А, В и С (стр. 225).

Обследователь прежде всего определяет механический состав почвы, что он производит с помощью пальцев руки; после некоторой практики развивается навык верного определения на ощупь. В США горизонт А обычно является относительно легким по механическому составу, горизонт В тяжелее, тогда как горизонт С часто бывает легче и рыхлее. Горизонт В обычно отличается от С большей степенью разложения и окисления, от чего зависит заметное изменение его цвета. «Профиль цвета» определяется отметкой окраски отдельных слоев в каждом из трех го-

<sup>1</sup> Я многим обязан д-ру С. F. Marbut за помощь в этом разделе. Более полные отчеты даются в его Reports of the International Society of Soil Science, примеры же можно найти в новейших почвенных съемках в США.



ризонтов. Цвет должен наблюдаться, когда почвы совершенно сухие, так как в сыром состоянии цвета теряют свою отчетливость. Обычно в девственных почвах горизонт А имеет два окрашенных слоя—А<sub>1</sub> и А<sub>2</sub> (материал, лежащий сверху почвы, не принимается в расчет). «Структурный профиль» также записывается; почва должна быть умеренно сухой и обследоваться либо на естественном обнажении или в массе, отделенной лопатой или киркой; образцы, взятые буром, неудовлетворительны, культурная же почва для этих целей совершенно непригодна. Различается несколько структур.

1. Раздельно-зернистая пылеватая или «мучнистая» структура с частицами, совершенно не соединенными в группы.

2. Зернистая структура, с зернами грубо сферическими и мелкими, размером в ружейную дробь или более крупными размерами, почти с мелкий орех.

3. Ореховатая структура (Buck—shot), при которой почва при высыхании распадается на угловатые фрагменты; это можно наблюдать на тяжелых глинах, содержащих большой процент извести.

4. Пластинчатая структура, горизонтальные пластинки которой обычно бывают заметны в обнажениях, но иногда они видны только после того, как почва выкопана и распадается вследствие легкого встряхивания.

5. Столбчатая структура, встречаемая в некоторых районах, например, в западных штатах США; верхняя часть почвенного профиля после обнажения распадается на вертикальные колонны.

«Химический профиль» изучается определением содержания углекислого кальция (часто находимого в «горизонте накопления» в местностях с осадками менее 17 дюймов в год в умеренном климате или 30 дюймов в жарком климате), сернокислого кальция, окиси железа, щелочей и т. д. «Профиль реакции» определяется с помощью приборов для испытания почвы, как, например, В. D. Н., Soiltex или с помощью других простых способов (стр. 491). «Профиль консистенции» относится к способности крошиться, к пластичности, вязкости, компактности, цементации и т. д.

Горизонты С группируются по их геологическим формациям. Естественный дренаж и топография также регистрируются и могут послужить к установлению новых подразделений.

После подробного изучения стандартного профиля изучение остальных профилей может быть произведено на образцах, выкопанных или взятых буром. Почвы со сходными профилями (о чем судят на основании этих испытаний) группируются вместе и обозначаются на карте условными знаками—цифрами, штриховкой или окраской. Почвы несходных профилей обозначаются на карте особо, даже в том случае, если поверхностные слои являются сходными; соотношения их с другими почвами должны быть указаны в примечаниях.

В целях упрощения составляемой карты необходимо соединение в общие группы значительного числа отдельных подразделений почв.

Почвы, сходные по геологическому происхождению, по процессам почвообразования, по топографии, по условиям естественного дренажа и по общему характеру профиля, группируются в одну почвенную серию.

Внутри каждой почвенной серии почвы различного механического состава группируются в классы.

Затем берутся образцы из различных горизонтов типичных профилей для детального химического и физического анализов.

Описанный метод оказался очень полезным в США; Лее ввел его в Великобритании и применял при обследованиях почв в юго-восточных районах<sup>1</sup>. Наиболее удобной основной картой для обследований в Англии является военно-топографическая карта, масштабом одна миля в 1, 6 или 25 дюймах, в зависимости от требующейся детализации. Почвенная карта должна быть сверена с геологической картой крупного масштаба и с данными объяснительной записки к ней.

При почвенных обследованиях должны собираться сведения о характере растительности. На необработанных площадях отмечается дикая растительность и экологические сообщества; на обрабатываемых почвах желательны общие агрономические данные. Также должны собираться полные местные сведения о с.-х. ценности земли, о наиболее подходящих культурах и удобрениях, об их поведении в засушливые и влажные периоды, о сорняках и, в частности, о наиболее злостных из них и т. д., а равно о всех других особенностях, наблюдаемых при обработке почвы. Окончательная почвенная карта не обязательно должна содержать все эти подробности. Для полной интерпретации необходима также карта осадков; топографические детали и колебания в кислотности, слишком небольшие для установления новых почвенных классов, могут тем не менее сильно влиять на рост растений. С помощью этих дополнительных сведений опытный специалист будет иметь возможность понять главные характерные черты растительности. И обратно, специалист в новой стране, зная местные растительные сообщества, осадки и контуры распределения их, будет иметь возможность составить себе представление, довольно близкое к почвенной карте, хотя он и не будет в состоянии дать полную характеристику почв, наносимых на карту таким упрощенным способом.

Почвенная карта имеет значительную практическую ценность, так как она способствует пониманию характерной растительности и дает возможность специалисту получить новые сведения с помощью полевых опытов, с значительной уверенностью в успехе.

<sup>1</sup> Wye College Journal, 1931, 65.

## ПОЧВЕННАЯ СЪЕМКА

Понименуваннне ннже работн явлнются тнпнчнмын для почвенных обследованнй н местного нзучення почв, пронзведенных в Англнн. В настоящее время методы почвенной съемкн подвергаются критическому пересмотру в целях составлення схемн, более совершенной н понятной при ее интерпретации.

Bedford. — Rigg, Th. The Soils and Crops of the Market garden District of Biggleswade, Journ. Agric. Sci., 1916, 7, 335 — 431.

Berkshire. — Pizer, N. H. A Survey of the Soil of Berkshire, Univ. Reading Bull. 39, 1931.

Buckinghamshire. — Temple, M. S. A Survey of the Soils of Buckinghamshire. Univ. Reading Bull. 38, 1929.

Dorset. — Gilchrist, D. A. and Luxmoore, C. M. The Soils of Dorset. Reading Coll. Dorset, C. Council, 1907.

Kent, Surrey и Sussex. — Hall A. D. and Russell E. J. Agriculture and Soils of Kent, Surrey and Sussex. Bd. Agriculture and Fisheries, 1911.

Shropshire. — Robinson, G. W. A Survey of the Soils and Agriculture of Shropshire. County of Salop Higher Education Com. n. d.

West Midlands. — Wallace, T., Spinks, G. T. and Ballu E. The Fruit-growing Areas on the Old Red Sandstone in the West Midlands: A Survey of the Soils and Fruit. Min. Agric. Bull. 15, 1931.

Scotland. — Berry, R. A., Melville, E. M. and Loudon, C. The Soils of North Ayrshire in the Geology of North Ayrshire. Memoirs of the Geological Survey of Scotland, 1930, 347—385.

Henrick, James and Ogg, W. G. Studies of a Scottish Drift Soil Journ. Agric. Sci., 1916, 7, 458, 1920, 10, 333.

Hart, C. Studies in the Geology and Mineralogy of Soils, Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 90, 802.

Wales. — Robinson, G. W. Studies on the Paleozoic Soils of North Wales. Journ. Agric. Sci., 1917, 8, 333. Robinson, G. W. and Hill, C. F. Further Studies on the Soils of North Wales. Journ. Agric. Sci., 1919, 9, 259. Robinson, G. W. The Development of the Soil Profile in North Wales as Illustrated by the Character of the Clay Fraction. Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 618.

Ireland. — Kilroe, J. R. Soil Geology of Ireland. Dept. Agric. and Tech. Instruction for Ireland, 1907.

Интернациональное общество почвоведения издало в 1927 г.<sup>1</sup> генеральную почвенную карту Европы в масштабе 1:10 000 000, составленную Стреммом, который в настоящее время получил предложение составить карту масштабом в четыре раза крупнее, чем эта карта. В США организовано обширное обследование почв Департаментом земледелия совместно с сельскохозяйственными колледжами и опытными станциями. Крише<sup>2</sup> собрал многие из генеральных почвенных карт уже опубликованных.

<sup>1</sup> Английский перевод текста сделан W. G. Ogg. Aberdeen. 1929.

<sup>2</sup> P. Krichke, Bodenkarten und andere kartographische Darstellungen der Faktoren der landwirtschaftlichen Production verschiedener Länder. P. Parey, Berlin, 1928.



## МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПОЧВЫ

## Взятие образцов почвы

Метод взятия образцов почвы для анализа зависит от той цели, которая имеется в виду. В течение долгого времени обычно следовали приему Лооза и Гильберта, а именно брались образцы почвы на глубину от 0 до 9 дюймов и образцы подпочвы на глубину от 9 до 18 дюймов, однако в настоящее время выяснено, что мало пользы взятия образцов на произвольных глубинах, в особенности в случаях, когда в составе и внешнем виде почвы на различных глубинах существуют заметные различия. Там, где требуется изучить процесс образования почвы, лучше всего брать образцы из свежевырытой ямы, делая разделения в точках, соответствующих явным изменениям во внешнем виде и составе почвы.

В других случаях достаточно брать отдельные образцы из пахотного слоя и образцы грубого материала ниже его. Иногда, как, например, при предварительном обследовании почв новой страны, где образцы берутся по определенной системе неопытными работниками или на некоторых орошаемых площадях, где нет резких характерных черт профиля, обычно берется по образцу от каждого последующего фута.

Для получения характерного смешанного образца, предназначенного для анализа в целях определения потребности в удобрении отдельных полей, отдельные образцы должны браться с большого числа точек.

Для практических советов по удобрениям обычно бывает лучше пользоваться данными топографии и характера растительности для выделения площадей, с которых должны браться образцы для отдельных анализов. При изучении кислотности полевой почвы ясно, что не имеет смысла смешивать заведомо кислые образцы с другими, могущими содержать запасы углекислого кальция.

Обычным инвентарем для взятия образцов являются лопата, садовый совок и т. д.; в других случаях удобен стальной цилиндр с продольным разрезом для облегчения выемки образца, а для исследования подпочвы лучше применять почвенный бур.



### Лабораторные приемы

Почва взятых образцов в лаборатории рассыпается для просушивания при комнатной температуре, после чего раздавливается деревянным пестиком и пропускается через сито в 2 мм. Камни и мелкая земля взвешиваются отдельно. Все аналитические операции производятся над мелкой почвой.

**Влажность.** Образец сушится при 100° или лучше при 105° C до постоянного веса.

**Органическое вещество.** Точного метода для определения его еще не было выработано. Для некоторых целей, например, когда имеют дело с песчаными гумусными почвами, иногда бывает достаточно рассматривать потери при прокаливании (после внесения поправок на влажность и угольную кислоту карбонатов) как грубый метод измерения органического вещества. Однако в общем уже одной связанной воды, глины и пыли бывает достаточно, чтобы привести к серьезной ошибке. Определение потерь при прокаливании почвы является полезным как интегральное измерение органического вещества и части неорганических коллоидов, но результаты должны всегда формулироваться как таковые и не обозначаться термином «органическое вещество». Полезно непосредственное определение содержания углерода сухим или влажным окислением. Робинсон, Мак-Лин и Вильямс разработали для этой цели удобный метод, при котором углерод определяется изменением методом Кьельдаля, а двуокись серы, выделяемая при восстановлении серной кислоты, собирается в подном растворе и титруется.

### ОБЩИЙ АЗОТ

Применяется почти исключительно метод Кьельдаля. Около 25—30 г почвы тонко растирается в железной ступке; 10 г нагреваются в колбе Кьельдаля с 20—25 см<sup>3</sup> крепкой серной кислоты  $\frac{3}{4}$  часа, прибавляется 5 г сернокислого калия и потом кристаллы медного купороса. Нагревание продолжается до тех пор, пока не исчезнет темный цвет. После этого охлаждают, разбавляют водой, переносят жидкую часть в колбу для перегонки, оставляя как можно больше песка в колбе Кьельдаля и вымывая из нее всю приставшую жидкость. Прибавляют насыщенного раствора едкого натра до сильно щелочной реакции, перегоняют и собирают аммиак в титрованную кислоту.

**Аммиак и нитраты.** Их необходимо определять в образце, взятом прямо с поля, немедленно экстрагируя его водой, или, если это невозможно, высушить без замедления при 55° C. Метод Карстена Ольсена<sup>1</sup> является одним из наиболее удовлетворительных, в особенности, когда надо определять как аммиак, так и нитраты.

<sup>1</sup> Carsten Olsen, Comptes Rend., Carlsberg, 1929, 17, № 15.

**Аммиак.** 100 г свежей почвы встряхивается в течение одного часа со 100 см<sup>3</sup> 2 N хлористого калия и 100 см<sup>3</sup> воды, содержащей достаточно хлористо-водородной кислоты, чтобы придать суспензии величину pH, равную приблизительно 1. Необходимое количество хлористо-водородной кислоты может быть найдено по предыдущим испытаниям, но на практике может быть применен следующий более простой метод. Сначала прибавляется 100 см<sup>3</sup> 2 N раствора хлористого калия вместе с 50 см<sup>3</sup> воды и затем во время встряхивания добавляется N хлористо-водородная кислота из бюретки до тех пор, пока не получится желаемое pH, которое не изменяется после стояния в течение 5 минут. Затем добавляется вода, пока объем экстрагируемой среды не будет равен 200 см<sup>3</sup>. После встряхивания 100 см<sup>3</sup> фильтрованной жидкости разбавляется водой и перегоняется с 3—4 г магнезии в титрованную кислоту (N/50).

**Нитраты.** Содержимое колбы после отгонки аммиака разбавляется водою; добавляется 2—3 г мелко измельченного сплава Даварда, и перегонка продолжается в свежую приемную колбу.

Определения производятся обычным методом с применением реактивов. Далее определяется содержание влаги в почве во время экстрагирования, и количество нитратов и аммиака выражается в пересчете на сухую почву.

**Карбонаты.** Определяются обработкой навески почвы, разведенной серной кислотой с определением выделившейся углекислоты газометрическим или волюметрическим методом. Удовлетворительным инструментом является кальциметр Коллина<sup>1</sup>.

**Потребность в извести.** Метод Хэтчинсона и Мак-Леннана<sup>2</sup> для определения потребности почвы в извести заключается в следующем: 20 г воздушно-сухой почвы пропускается через 2 мм сито и помещается в литровую бутылку для встряхивания с 200 см<sup>3</sup> 0,02 N бикарбоната кальция (концентрация его должна быть в пределах 0,019 и 0,021 N). Воздух в бутылке вытесняется током углекислоты и бутылка помещается на 3 часа в встряхивающий аппарат. Параллельно делается чистое определение числа куб. сантиметров N/10 кислоты, требующейся для нейтрализации 100 см<sup>3</sup> первоначального бикарбонатного раствора до точки красной окраски с метилоранжем. После добавления всей кислоты в холодном состоянии раствор кипятится и окончательная точка записывается, когда оранжевый цвет сохраняется после кипячения в течение одной минуты. Содержимое встряхивавшихся колб фильтруется и 100 см<sup>3</sup> фильтрата титруется подобным же образом. Потребность в извести вычисляется из коэффициентов: 1 см<sup>3</sup> 0,1 N кислоты = 0,005 г CaCO<sub>3</sub> и перечисляется на 1 га (или 1 акр).

<sup>1</sup> Journ. Soc. Chem. Ind. 1906, 25, 518.

<sup>2</sup> H. B. Hutchinson and K. Mac Lennan. Journ. Agric. Sci., 1915, 7, 75.

почвы, считая, что при условной глубине в 9 дюймов (22,5 см) слой почвы весит 1 000 англ. тонн/акр, или 2 500 метр. тонн/га.

Описание этого метода см. E. M. Crowther и W. S. Martin, Journ. Agric. Sci., 1925, 15, 237.

**Концентрация водородных ионов, т. е. величина pH, или реакция почвы<sup>1</sup>**

Имеется обыкновение производить определение по суспензии 1 части почвы в 2½ частях воды. Часто бывает полезно определить в дополнение величину pH суспензии в 1 N. KCl, так как на эту величину меньше воздействуют изменения биологических и метеорологических условий, и таким образом определяются более постоянные и характерные черты почвы. Водные суспензии должны, конечно, применяться при изучении сезонных и подобных колебаний.

Специальный аппарат водородного электрода для измерений реакции почвы был описан Краудером<sup>2</sup>. Однако можно применять и аппараты более простой формы, и многие работники нашли достаточным употреблять в качестве электродного сосуда грубо-зернистый пористый (Sintered) стеклянный тигель иенского стекла и пропускать быструю струю водорода через стеклянную мембрану и почвенную суспензию. Электрод должен быть покрыт очень тонким платиновым или палладиевым слоем и должен доходить только на несколько миллиметров ниже поверхности суспензии. При щелочных почвах удаление угольной кислоты вносит ошибку, и лучше применять сосуд типа Кларка. Метод хингидронного электрода имеет большие преимущества в скорости и удобстве работы для почв с величинами pH ниже 8,5. Он подвержен серьезным ошибкам в почвах, содержащих двуокись марганца. К счастью, эти почвы могут быть узнаны быстрым предварительным испытанием. Почва и вода встряхиваются вместе в течение 1 минуты, добавляется хингидрон и смесь вновь сильно встряхивается не более 2 секунд. Вводится электрод и мостик с KCl, и потенциал измеряется через 10, 30 и 60 секунд после прибавления хингидрона. Если увеличение кажущегося pH в течение времени от 10 до 60 секунд составляет менее чем 0,2, почва может считаться подходящей для хингидронного метода, но определение должно быть повторено и с менее быстрой манипуляцией. Почва с водой встряхивается в течение 1 минуты, но, после добавления хингидрона, смесь встряхивается еще в течение 10 секунд и потенциал измеряется по истечении 60 секунд. Если увеличение кажущейся величины pH при предварительном определении было больше, чем 0,2, то почва является неподходящей для хингидронного метода, и лучше употреблять другой метод. Однако

<sup>1</sup> См. отчет Интернационального общества почвоведения, Комитет по измерению реакции почвы. Soil Research, 1930, 2, 77, 140.

<sup>2</sup> E. M. Crowther, Journ. Agric. Sci. 1925, 15, 201.



приблизительные величины рН могут быть получены и хингид-  
фонным методом, если предварительное определение повторить на  
новом образце почвы и отсчеты сделать через 10 секунд. При за-  
писи таких приблизительных величин должно быть с полной  
ясностью указано, что это «десятисекундные величины».

Хотя колориметрический метод широко применяется при по-  
левых работах и может дать удовлетворительные результаты при  
большой тщательности в лаборатории, однако он в настоящее  
время не может считаться простым. Выбор индикатора имеет  
огромную важность. Существенно, чтобы индикаторы, такие, как  
метилоранж, которые абсорбируются почвой, не применялись в  
почвенных суспензиях. Метод Кюна<sup>1</sup> осветления смеси почвы,  
раствора индикатора и воды добавлением соответствующего ко-  
личества сульфата бария (Merck's pro Röntgen) дал хорошие ре-  
зультаты.

Среди других качественных испытаний для кислых почв  
тиоцианатный метод Комбера<sup>2</sup> является, быть может, наиболее  
практичным. 2 или 3 г воздушно-сухой почвы сильно взбалты-  
ваются с 5 см<sup>3</sup> насыщенного спиртового раствора тиоцианата ка-  
лия. Если почва кислая, то либо сразу, либо после отстаивания  
появляется розовый или красный цвет. Интенсивность цвета яв-  
ляется показателем степени кислотности, хотя и несколько  
грубым.

**Минеральные вещества.** Полный анализ почвы на общее со-  
держание какого-либо минерального вещества требует сплавления  
с углекислым натрием и методов, подобных методам петрографи-  
ческого анализа. Робинсон<sup>3</sup> дает детальные методы, признанные  
удовлетворительными в работах Американского бюро почв. Взамен  
полного анализа раньше было принято определять только веще-  
ства, извлекаемые из почвы кипящей соляной кислотой. В Анг-  
лии результаты такого анализа обычно обозначались в таблицах  
как «общее количество К<sub>2</sub>О или Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>». Соляная кислота раство-  
ряет большую часть (хотя и не всю) фосфорной кислоты. Но она  
оставляет неизвлеченной значительную фракцию калия. В по-  
пытке разделения выветрившегося и невыветрившегося материала  
остаток после солянокислой вытяжки подвергается щелочной  
экстракции для растворения кремнекислоты.

До последнего времени в Англии применялся метод Холла—  
кипячение почвы с кислотой в течение 48 часов, но Ассоциация  
с.-х. образования недавно (Agricultural Progress, 1931, 8, 134)  
приняла временно следующий более удобный метод для соляно-  
кислого экстрагирования почвы: 20 г воздушно-сухой почвы, про-  
пущенные через 2 мм сито, помещаются в высокий стакан, ем-

<sup>1</sup> Zeit. f. Pflanz. Düng., 1929, A., 15, 13.

<sup>2</sup> Journ. Agric. Sci., 1920, 10, 420.

<sup>3</sup> W. O. Robinson, U. S. Dept. Agric., 1930, Circular 139.



костью 500—600 см<sup>3</sup>, и добавляется 200 см<sup>3</sup> соляной кислоты, имеющей постоянную точку кипения 110° С. стакан покрывается часовым стеклом, и его содержимое кипятится в течение одного часа. Кислая жидкость охлаждается и фильтруется, а фильтрат с промытым осадком доводится до соответственного объема. Затем определяются калий и фосфорная кислота.

**Калий.** От 50 до 100 см<sup>3</sup> раствора выпаривается досуха, с предварительным прибавлением 0,5 г чистого CaCO<sub>3</sub>, если первоначальная почва не давала вскипания от HCl.

Прибавить 10 см<sup>3</sup> 5% раствора барита, выпарить досуха, осторожно прокалить на бунзеновской горелке до полного обугливания и потом экстрагировать водой, пока весь хлористый калий растворится (метод Нейбауера)<sup>1</sup>. Прибавить 2,5 см<sup>3</sup> хлорной кислоты (Acid perchloric) (удельный вес 1,12), концентрировать, пока выделяются густые пары, развести водой, прибавить еще несколько лишних капель хлорной кислоты, снова сконцентрировать, дать схладиться, прибавить 20 см<sup>3</sup> 95% алкоголя и встряхнуть. Декантировать светлый алкоголь, прибавить 40 см<sup>3</sup> алкоголя, содержащего 0,2% хлорной кислоты, перенести во взвешенный тигель Гуча, отсосать кислый алкоголь, промыть от 50 до 100 см<sup>3</sup> 95% алкоголя, насыщенного KClO<sub>4</sub>, пока фильтрат не будет более кислым, высушить при 100° и взвесить, как KClO<sub>4</sub><sup>2</sup>.

Кремнекислота может появиться как муть при растворении после первого выпаривания с хлорной кислотой и должна быть отфильтрована после стояния в течение ночи, перед тем как приступить к вторичному выпариванию с хлорной кислотой.

Кобальт-нитритный метод описан у G. Milne<sup>3</sup>.

**Фосфорная кислота.** Обугленный остаток, из которого был удален хлористый калий, подогревается с 5 см<sup>3</sup> крепкой соляной кислоты и 30—40 см<sup>3</sup> воды в течение 20 минут и фильтруется. Фильтрат содержит фосфорную кислоту и кроме того некоторое количество кремнекислоты, достаточное все же, чтобы помешать определению фосфорной кислоты; поэтому фильтрат снова выпаривается и высушивается при 120—150° С на песчаной бане. Осадок затем в течение 1/2 часа настаивается с 50 см<sup>3</sup> 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и фильтруется; фильтрат обрабатывается 25 см<sup>3</sup> раствором NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и подогревается до 55° С. Прибавляется 25 см<sup>3</sup> молибдата аммония, предварительно подогретого до 55° С, и все оставляется стоять в течение ночи. Фильтруется через тигель Гуча, промывается 1% азотной кислотой и осторожно прокаливается (внутри другого тигля, выложенного на дне асбестовой бумагой) до синевато-черного фосфорно-молибденового ангидрида 24 MoO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (содержащего 3,946% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и взвешивается.

<sup>1</sup> Landw. Versuch—Stat., 1905, 63, 141.

<sup>2</sup> См. H. J. Pageü, Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 133.

<sup>3</sup> Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 541.

**Реактивы:**

1. Раствор азотнокислого аммония. 500 г растворяются в воде и доводятся до 1 л.

2. Раствор молибдата аммония. Растворяется 150 г молибдата аммония в 1 л воды и добавляется до 1 л  $\text{HNO}_3$  (удельный вес 1,2).

**Лимонно-растворимые калий и фосфорная кислота.** Дайер дает следующие указания к этому методу: 200 г почвы помещаются в винчестерскую бутылку с 2 л дистиллированной воды, в которой растворено 200 г чистой лимонной кислоты. Почве дают оставаться в контакте с раствором при обыкновенной температуре в течение 7 дней, и она ежедневно встряхивается по нескольку раз. Затем раствор фильтруется и для каждого определения берется его по 500 см<sup>3</sup>. Выпаривается досуха и осторожно прокаливается при низкой температуре. Осадок растворяется серной кислотой, выпаривается досуха и осторожно прокаливается, экстрагируется с водою и фильтруется. Калий определяется в фильтрате. Для определения фосфорной кислоты осадок обрабатывается совершенно так же, как было описано выше.

В настоящее время более принято взбалтывать почву с лимонной кислотой в течение 24 часов во вращающейся мешалке, и если присутствует карбонат кальция, прибавлять добавочное количество лимонной кислоты, эквивалентное содержанию карбоната кальция в почве.

Waggen и Pugh<sup>1</sup> описали удобный колориметрический метод с молибденовой синей окраской, при котором лимонная кислота разрушается марганцевоокислым натрием, а железо удаляется, чтобы устранить его влияние на ход изменений цвета. Метод этот применим также для солянокислых вытяжек.

**Обменные основания.** Метод Хиссинка (Intern. Mitt. Bodenkunde, 1922, 12, 81). К 25 г воздушно-сухой почвы прибавить 100 см<sup>3</sup> нормального раствора соли, нагревать на песчаной бане приблизительно до 80° С в течение одного часа, встряхивая время от времени. Охладить и оставить стоять в течение ночи, декантировать отстоявшуюся жидкость через бумажный фильтр, затем перенести почву на фильтр струей соляного раствора. Промывать тем же раствором, пока получится требуемый объем. Выщелачивать до 500 см<sup>3</sup> раствором хлористого аммония для всех определений, за исключением замещаемого кальция в почвах, содержащих карбонат кальция; для последних хлористый аммоний не пригоден, благодаря его растворяющему действию на карбонат кальция; вместо него применяется нормальный хлористый натрий. Выщелачивание продолжается до получения двух последовательных литров экстракта. Разница между содержанием кальция в первом и во втором литрах представляет количество замещаемого кальция.

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1930, 20, 532.

После доведения экстракта до необходимой концентрации обычными методами определяются кальций, магний, калий и натрий (если нужно—железо, алюминий и кремневая кислота). Волюметрический метод для кальция (титрование перманганатом после растворения осажденного оксалата кальция в серной кислоте) очень точен и устраняет необходимость удаления гидратов оксидов железа и алюминия и кремневой кислоты из осадка оксалата кальция. Обыкновенно для магния требуется двойное осаждение, иначе часть его теряется в осадке оксалата кальция. Если почва кисла, то некоторое количество кремневой кислоты может остаться в растворе и после удаления кальция, и она должна быть удалена до осаждения магния.

Очень удобный метод описан Райсом Вильямсом<sup>1</sup>, который показал, что для известковых почв результаты, полученные экстрагированием с 0,5 Нуксусной кислоты, близки к результатам по методу Хиссинка. Общие основания в экстракте уксусной кислоты определяются выпариванием раствора до сухости и превращением ацетатов в карбонаты с помощью прокаливании. После этого карбонаты титруются.

По желанию может применяться нормальный ацетат аммония. Как метод уксусной кислоты, так и метод ацетата аммония очень удобны для определения калия кобальтнитритным методом, а натрия цинко-урано-ацетатным методом как в кислых, так и в известковых почвах.

Для дальнейшего разбора химических анализов почв—см. К. К. Гедройц, «Химический анализ почв».

**Механический анализ.** Целью его является получение данных о величине конечных частиц, из которых состоит почва. Для этого комплексные частицы разбиваются обработкой соляной кислотой, а затем аммиаком. Прямое измерение окончательных частиц признано практически невыполнимым; приняты косвенные методы, основанные на времени, необходимом для падения через столб воды определенной высоты. Когда тело падает в безвоздушном пространстве, то время падения не зависит от его размера и веса, но если присутствует воздух или жидкость, случай является более сложным, и Стоксом было найдено, что математические отношения для падения сферических частиц могут быть выражены формулой:

$$v = \frac{2ga^2(\sigma - \rho)}{9\eta}$$

где  $v$  — скорость падения частицы;  $\sigma$  — плотность ее;  $a$  — радиус ее;  $\rho$  — плотность среды;  $\eta$  — коэффициент вязкости среды (Trans Camb. Phill., Soc. 1851, 9, 8).

<sup>1</sup> Journ. Agric. Sci., 1929, 19, 589.



Количественные величины при  $16^{\circ}\text{C}$ :

$$g = 981; \sigma = 2,7; \rho = 1; \eta = 0,011$$

и отсюда уравнение сводится к  $v = a^2 \times 33\,690$ , или

$$a = \frac{\sqrt{v}}{184} \text{ см.}$$

Вычисленные и наблюдаемые величины совпадают вполне хорошо для фракции песка и пыли, причем отклонения зависят от того, что частицы не являются истинно шарообразными, а также благодаря местным токам жидкости, вызываемым переменной температуры. Эффект от колебания температуры рассматривается Робинсоном в *Journ. Agric. Sci.*, 1914, 7, 142.

Уравнение, однако, перестает удовлетворять своей цели при фракции мельчайшей глины, где коллоидальная оболочка и броуновское движение вызывают осложнения.

Метод, принятый Ассоциацией сельскохозяйственного образования (*Journ. Agric. Sci.*, 1928, 18, 834 и *Agric. Progress*, 1928, 5) и, с небольшой разницей, также Интернациональным обществом почвоведения, приводится ниже. Он состоит в предварительной обработке перекисью водорода и взятии образцов пипеткой по способу Робинсона<sup>1</sup>.

По получении в лаборатории почва рассыпается тонким слоем для просушивания при комнатной температуре и затем пропускается через сито с круглыми отверстиями в 2 мм, причем комки предварительно осторожно растираются в ступке деревянным пестиком. Остаток на сите, состоящий из камней и мелкого гравия, прежде чем отбросить, взвешивается и выражается в процентах от общего веса воздушно-сухой почвы. Прошедший через сито материал является массовым образцом, из которого тщательно берутся однородные пробы для следующих анализов:

I. Разделение на фракции.

II. Определение карбонатов (стр. 489).

III. Содержание влаги и потери при прокаливании (стр. 488).

### Разделение на фракции

Этот анализ состоит из двух различных операций: а) определение дисперсии и б) собственно механический анализ.

а) **Метод дисперсии.** Отвесить 20 г воздушно-сухой почвы в высокий стакан в 600 см<sup>3</sup>. Прибавить около 60 см<sup>3</sup> перекиси водорода (свободной от бария, хлоридов, фосфатов и сульфатов) и поместить в кипящую водяную баню на горячую пластинку или на горелку с сеткой. Скоро начинается энергичная реакция с органическим веществом. Содержимое время от времени встряхи-

<sup>1</sup> *Journ. Agric. Sci.*, 1922, 12, 287—291, 306—321.



вают, наблюдая, чтобы не было выплескивания. Когда реакция успокоится, прибавляется новое количество перекиси водорода и стакан продолжают нагревать. Обыкновенно при втором прибавлении перекиси водорода не бывает большого вскипания, если почва не содержит слишком много органического вещества, в случае чего необходимо сделать новое прибавление перекиси водорода<sup>1</sup>. Гуминовые органические вещества становятся растворимыми или разрушаются перекисью водорода, и почва теряет свой темный перегнойный цвет. По охлаждении прибавляется достаточно воды и соляной кислоты, чтобы дать избыток от 150 до 200 см<sup>3</sup> N/5 HCl, учитывая кислоту, необходимую для разложения карбонатов. Содержимое оставляют стоять при частом взбалтывании приблизительно в течение одного часа (или оставляют на ночь) и затем пропускают через фильтр в 18 см из плотной бумаги. Если применяется бумага Ватмана № 1, то первые порции получаются мутные, но при пропускании их обратно через фильтр можно получить уже вполне чистый фильтрат. После этого почва три раза промывается на фильтре, каждый раз 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Нет надобности стараться смыть всю почву на дно фильтра, так как при этом не только значительно замедляется быстрота фильтрования, но кроме того могут проходить мелкие частицы. Если это промывание еще не сделало почву практически свободной от электролитов, то оно должно быть продолжено. После достаточно полного промывания фильтровальная бумага расстилается на большом часовом стекле и почва смывается струей горячей воды на проволочное сито с квадратными отверстиями 0,2 мм шириной (I. M. M. № 70, часто называемые ситом 100 меш), помещенное над отверстием стакана. Когда уже не осталось почвы, которую нужно смыть, бумага свертывается в рыхлый комок, совершенно насыщенный водой, и выжимается, как губка. Этот процесс повторяется до тех пор, пока получается еще сколько-нибудь мутная жидкость. Материал, который не может быть удален этим путем, не превышает 0,2—0,4% от всего образца.

Фильтрат, собранный после обработки перекисью водорода и HCl, содержит кроме кальция из карбоната кальция небольшое количество растворимых материалов, количество которых доходит обычно до 2—3% общего веса почвы, и содержащих главным образом смесь полуторных окисей и небольшого количества кремневой кислоты. Для целей массовых и стандартных анализов достаточно определять эту потерю почвой полуторных окисей и кремневой кислоты, взвешивая, после легкого прокаливании, оста-

<sup>1</sup> Почвы, содержащие двуокись марганца, сильно разлагают перекись водорода. Троэль применял бромноватистокислый натрий, как альтернативный окисляющий агент и показал, что он упрощает анализ (Journ. Agric. Sci., 1931, 21, 476—483).

док, полученный от прибавления к фильтрату аммиака и хлористого аммония. Эту потерю отмечают, как «потерю от растворения».

б) **Механический анализ дисперсированного образца методом пипетки.** Материал, оставшийся на сите 100 меш, растирается резиновым пестиком или пальцами под струей воды до тех пор, пока через сито не будет ничего проходить. Остаток на сите составляет фракцию «крупного песка», который сушится и взвешивается.

Материал, прошедший через сито, переносится в литровую бутылку и доводится приблизительно до 500 см<sup>3</sup> дистиллированной водой, к которой затем прибавляется 50 см<sup>3</sup> разведенного (10%) аммиака<sup>1</sup>, приготовленного разведением аммиака уд. в. 0,88 двойным объемом дистиллированной воды. Содержимое взбалтывается в ротаторе со скоростью 30—40 об/мин. Для песчаных почв достаточно взбалтывания в течение одной ночи; очень тяжелые почвы могут потребовать до 40 часов. По окончании взбалтывания суспензия доводится водой в мерном цилиндре до 1 л. Содержимое тщательно взбалтывается несколькими поворотами цилиндра кверху дном и обратно в течение около 1 минуты, чтобы удостовериться, что осадок, осевший на дно, будет тщательно смешан с жидкостью. Цилиндр с суспензией (эквивалентный 2% суспензии первоначально взятой почвы) оставляется после этого в покое.

Взятие образцов может производиться или специальной пипеткой или с помощью обыкновенной пипетки в 20 см<sup>3</sup>, укрепленной в пробке таким образом, что когда пробка опирается на верхний край цилиндра, то конец пипетки, опущенный в жидкость, будет находиться как раз на требуемом расстоянии от поверхности суспензии. Первый образец берется на глубине 10 см, когда хорошо встряхнутая суспензия отстоялась в течение 4 мин. 48 сек. Пипетку, с закрытым пальцем верхним отверстием, осторожно опускают в требуемое положение (эта операция начинается приблизительно за 20 секунд до истечения времени) и втягивают 20 см<sup>3</sup> суспензии, причем необходимо избегать слишком быстрого втягивания жидкости, вызывающего водоворот в общей массе суспензии.

Содержимое быстро устанавливается на черте и переносится в подходящую тарированную чашечку. Мы пользовались и рекомендуем обычный тип чашечки в 72 мм диаметром, обычно применяемый при определении сухого вещества в молоке. Содержимое чашечки выпаривается досуха на водяной бане, досушивается при 105° С и, после охлаждения в эксикаторе, взвешивается. Вес материала, умноженный на 5, дает концентрацию суспензии в точке, из которой взят образец. Назовем этот вес «Х». Тогда, если

<sup>1</sup> Некоторыми работниками предпочитается нормальный раствор едкого натра (4 см<sup>3</sup>), так как он дает более полную дисперсию.

первоначальная концентрация была 2%, то процент материала, имевшего скорость осаждения меньше, чем  $10/287 = 0,0347$  см/сек., получится  $100 \times X/2$ . Практически, калькуляция, приведенная здесь полностью, сводится к делению числа миллиграммов материала, высушенного в воздушной бане, на 4. Это составит процент суммы глины и пыли.

Содержимое цилиндра вновь взбалтывается в течение около 1 минуты и из него берется образец описанным образом, на глубине 10 см после периода отстаивания в течение 8 часов. Из этого образца определяется количество глины. Таким образом, мы получили процентное содержание:

пыль + глина,  
                    глина,

и отсюда при вычитании получается процент пыли.

Остающаяся фракция, мелкий песок, может быть вычислена по разности, но предпочтительнее прямое определение ее, как контроль для других определений. Для этого после взятия образца для глины почти вся масса жидкости сливается, и оставшийся на дне цилиндра осадок переносится в стакан емкостью в 400 см<sup>3</sup>, который наполняется водой до высоты 10 см выше дна. Содержимое стакана хорошо перемешивается и оставляется оседать в течение 4 мин. 48 сек., после чего мутная суспензия сливается. Стакан вновь наполняется водой до той же черты, и этот процесс повторяется, пока в жидкости по истечении указанного срока не будет оставаться никакой мути. Остаток представляет мелкий песок, который собирается, высушивается и взвешивается, как описано выше.

**Метод учета результатов.** Результаты обычно выражаются в процентах материала, содержащего частицы данной величины (стр. 151 и таблицы в главе VIII). Одén пользуется кривыми распределения массы, как более целесообразными для исследований. Робинсон (Journ. Agric. Sci., 1924, 14, 626) рекомендует сопоставлять вес фракций с логарифмами скоростей осаждения в сантиметрах в секунду. Эти кривые чисто экспериментальные и не подчиняются закону Стокса.

**Бактериологическое исследование.** Метод, применяемый в Ротамстеде для подсчета бактерий в почве, заключается в следующем.

Свежевзятый образец почвы просеивается через сито в 3 мм и тщательно перемешивается (применение асептиков в этой стадии работы требуется только в том случае, если предполагается делать количественное исследование видов). 10 г почвы переносятся в 250 см<sup>3</sup> стерильного соляного раствора (5 г NaCl, 1 г MgSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O, 1 л H<sub>2</sub>O) и бутылка встряхивается в течение 4 минут, причем тампон из ваты заменяется стерилизованной пробкой. 1 см<sup>3</sup> полученной суспензии переносится с помощью стерильной пипетки в 99 см<sup>3</sup> стерильного соляного раствора и встряхивается.



в течение 1 минуты. 1 см<sup>3</sup> этой суспензии подобным же образом переносится в новые 99 см<sup>3</sup> соляного раствора и встряхивается в течение 1 минуты (при выполнении этих переносов лучше всего делать однократное промывание пипетки раствором, к которому только что была прибавлена суспензия, чтобы довести до минимума потери организмов, которые могут произойти от прилипания к стенкам пипетки). Берется 5 стерильных чашечек Петри и в каждую из них переносится стерильной пипеткой по 1 см<sup>3</sup> окончательной суспензии (что соответствует 1/250000 г почвы). Перед каждым перенесением бутылку необходимо встряхивать, чтобы обеспечить однородность суспензии.

После этого в каждую чашечку вливается около 10 см<sup>3</sup> стерильной среды, служащей для подсчетов (см. ниже), предварительно расплавленной и охлажденной до 42° С, и чашечка сейчас же наклоняется осторожно в разные стороны, чтобы хорошо смешать среду с почвенной суспензией и получить однородную смесь, прежде чем среда застынет. Чашечки оставляют в спокойном положении до тех пор, пока среда совершенно затвердеет, после чего они ставятся в термостат в перевернутом положении, при 20° С, на 10 дней\*. На каждой пластинке чашечки подсчитывается число колоний (требуется некоторый практический навык, чтобы отличать колонии бактерий от колоний плесеней и актиномицетов), и среднее из пяти пластинок, деленное на 4, даст в миллионах на грамм число бактерий в свежей почве, которые могли развиваться в данной среде. Общая численность организмов определена быть не может, так как никакая среда не позволяет развиваться всем бактериям, но все же вышеописанным методом получаются величины сравнимые.

Среда с агаром для подсчета (Thornton. Ann. Applied Biology, 1922, 9, 241): K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>—1 г, MgSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O—0,2 г, CaCl<sub>2</sub>—0,1 г, NaCl—0,1 г, KNO<sub>3</sub>—0,5 г, FeCl<sub>3</sub>—0,002 г, аспарагина—0,5 г, маннита—1 г, агара—15 г, воды до 1 000 см<sup>3</sup>. Сначала вносятся фосфаты, нитраты и аспарагин, после чего прибавляются другие соли, предварительно растворенные в воде, и в заключение—агар. Вода нагревается на паровой бане, пока агар не распустится, и затем фильтруется в паровой же бане при 100° С с двукратным пропусканием через слой гигроскопической ваты в полдюйма толщины (1,25 см). К фильтрату прибавляется маннит, и реакция среды устанавливается с помощью едкого натра на pH 7,3 (см. простой метод установления pH Gillespie, Soil Sci., 1920, 9, 115).

Приготовленный раствор вливается в пробирки, по 10 см<sup>3</sup> в каждую, и стерилизуется в автоклаве при давлении 15 фунтов на кв. дюйм в течение 15 минут.

\* В практике наших лабораторий (например, в ВИУАА) считается достаточной инкубация в термостате в течение 3—4 дней. П р и м. п е р е в.



## Прямой метод определения числа бактерий в почве с помощью окрашивания пленок

Описание метода приготовления пленок по Торнтону

### А. Требующиеся материалы

1. Чистые предметные пластинки для микроскопа, размером  $3 \times 1$  дюйм. Они чистятся в кислом растворе бихромата и держатся готовыми в абсолютном спирите, содержащем несколько капель аммиака. Для употребления их готовят высушиванием в чистой струе воздуха и основательно прогревают, проводя до 24 раз через самую горячую часть пламени бунзеновской горелки, после чего их кладут нагретой стороной кверху и оставляют стывать. Необходимые надписи на них делают алмазным карандашом.

2. Чистый порошкообразный индиготин. Стандартные суспензии его готовятся следующим образом: 0,4 г чистого индиготина прибавляются к 400 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, и к суспензии прибавляются около 30 г мелкого бисера и все вместе взбалтывается в течение около 4 минут. После этого суспензия фильтруется через фильтровальную бумагу № 4 (Ватмана), которую необходимо часто менять. Через каждую бумагу фильтруется около 100 см<sup>3</sup> или меньше; фильтрование не должно быть слишком медленным, чтобы не задержать сколько-нибудь значительного количества мелких частиц. Было найдено, что суспензия такой концентрации может быть разведена равным объемом дистиллированной воды. Чтобы препятствовать развитию микроорганизмов, необходимо прибавить несколько капель HgCl2. Суспензия тщательно взбалтывается, и число частиц индиготина находится путем подсчета с помощью гемоцитометра, имеющего 400 клеток на мм<sup>2</sup> и 0,02 мм глубины. Подсчитывается число частиц в нескольких взятых наудачу полях зрения, в серии 4 или 5 наудачу взятых капель суспензии, что достаточно, чтобы дать в сумме от 750 до 1000. Необходимо пользоваться очень сильным объективом, так как значительное количество частиц имеет диаметр меньше 1μ; было найдено удобным вести счет с помощью объектива водной иммерсии Рейхерта, имея в окуляре сетку с квадратами со сторонами в 3 мм. После приведения в фокус линзы иммерсии квадраты в окуляре будут совпадать с квадратами гемоцитометра. Применяется бинокулярный микроскоп. Суспензия должна содержать около 2000 млн. частиц на куб. сантиметр.

3. Раствор агара. Стерилизованный, 0,01%.

4. Пипетки на 25 см<sup>3</sup>.

5. Колбы—Эрленмейера, емкостью около 250 см<sup>3</sup>, с резиновыми пробками.

6. Маленькие пробирки около 5 см длины на 15 мм в диаметре (или иного подходящего размера).

7. Перья для надписей.

8. Влажная камера. Состоит из увлажненной на пару фильтровальной бумаги, обернутой вокруг стеклянной пластинки, помещенной в крышке чашечки Петри.

9. Растворы для окрашивания:

а) карболовый эритрозин, приготовляемый растворением 5 г фенола и 1,5 г эритрозина в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, с последующим фильтрованием;

б) водный раствор эритрозина, приготовляемый растворением 2,5 эритрозина в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, с последующим фильтрованием.

### Б. Приготовление почвенных пленок

5 г почвы встряхиваются в течение 3 минут с 20 см<sup>3</sup> стандартной суспензии индиго (2) и еще в течение 1 минуты после прибавления 25 см<sup>3</sup> раствора агара (3). Эти количества могут варьировать в зависимости от употребляемой почвы. Не допуская почву до осаждения, в одну из маленьких пробирок (6) вливается на высоту около 2,5 см от верхнего края несколько куб. сантиметров этой жидкости. С помощью чистого пера (7) на стеклянную пластинку наносится ряд из 4 или 5 маленьких капель около 1 мм или меньше в диаметре, причем почва в пробирке встряхивается после нанесения каждой капли. Немедленно после того, как нанесена последняя капля, пластинка вдвигается во влажную камеру (8); остальные пластинки всей серии приготовляются таким же образом. Из каждого образца необходимо приготовить от 3 до 5 пластинок. Через 10 минут после пребывания под крышкой пластинкам дают высохнуть при комнатной температуре и затем окрашивают. Без всякой иной предварительной обработки пластинки помещаются на 10 минут в баню карболо-эритрозина (9-а), слегка промываются в ванне с дистиллированной водой, затем окрашиваются в течение 10 минут в ванне с водным эритрозином (9-б) и окончательно промываются в ванне с дистиллированной водой (или водопроводной воде, после чего следует окончательная промывка в дистиллированной воде).

Определение числа бактерий в пленках. После высыхания пленки исследуются с помощью объектива с масляной иммерзией в  $\frac{1}{12}$  дюйма с окулярами силы 8× биноклярного микроскопа. Для определения числа бактерий необходимо подсчитать как частицы индиготина, так и окрашенные клетки, попадающие наудачу в поле зрения в каждой капле. После подсчета индиго и бактерий в четырех или большем числе наудачу взятых полей зрения в каждой капле находят соотношение между этими двумя компонентами во всей серии капель и пластинок. Число бактерий на грамм почвы вычисляется умножением числа частиц индиго, прибавленных к 1 г почвы, на отношение бактерий к индиго.

# ИЗБРАННАЯ БИБЛИОГРАФИЯ

Страницы  
текста, на ко-  
торые дела-  
ется ссылка

- Aarnio B. (1915). «Ueber die Ausfällung des Eisenoxys u. d. Tonerde in finländischen Sand- u. Grusböden», Geolog. Komm. Finland, Geotekniska Medd. 16. Также см. «Почвоведение» (на рус. языке), 1915, 17, part 2, 1—50 . . . . . 225
- Adeney W. E. (1908). Appendix VI to Fifth Report of Royal Commission on Sewage Disposal, 13—20 . . . . . 290, 322, 326
- Afanasyev J. N. (1927). «The classification problem in Russian soil science», Russian Pedological Investigations, 5, Acad. Sci., Leningrad.
- Alway F. J. (1913). «Studies on the relation of the nonavailable water of the soil to the hygroscopic coefficient», Nebraska Research Bull. № 3. . . . . 395
- Anderson M. S. and Mattson S. (1926). «Properties of the colloidal soil material», U. S. Dept. of Agric. Bull. 1452, pp. 46. . . . . 165
- Arrhenius, Olaf (1926). «Kalkfrage, Bodenreaktion u. Pflanzenwachstum», Akad. Verlag. Leipzig . . . . . 181, 421, 429
- Bacon, Francis (1627). Sylva Sylvarum . . . . . 10
- Barthel Ch. (1919). «Cultures de bactéries sur terre stérilisée», Meddel. K. Vet. akad. Nobelinstitut, Stockholm, 5 . . . . . 309
- Baule B. (1918). «Zu Mitscherlichs Gesetz der physiologischen Beziehungen», Landw. Jahrb., 51, 363; ibid., 1920, 54, 493—505 . . . . . 122
- Beijerinck, Martinus W. (1888). «Die Bacterien der Papilionaceenknöllchen», Botn. Ztg. 46, 725—735, 741—750, 757—771, etc.; «Künstliche Infection von Vicia Faba mit Bacillus radicicola, Ernährungsbedingungen dieser Bacterie», ibid., 1890, 48, 837—843 . . . . . 303
- Beijerinck, Martinus W. (1900). «Ueber Chinonbildung durch Streptothrix chromogena und Lebensweise dieses Mikroben», Centr. Bakt. Par. Abt. II, 6, 2—12 . . . . . 341
- Beijerinck, Martinus W. (1901). «Ueber oligonitrophile Mikroben», Centr. Bakt. Par. Abt., 11, 7, 561—582 . . . . . 296
- Beijerinck, Martinus W. and van Delden A. (1902). «Ueber die Assimilation des freien Stickstoffs durch Bakterien», ibid., 9, 3—43 . . . . . 296, 298, 302
- Beijerinck, Martinus W. (1908). «Fixation of free atmospheric nitrogen by azobacter in pure culture, distribution of this bacterium», Proc. k. Akad. Wetensch, Amsterdam, 11, 67—74 . . . . . 296

<sup>1</sup> Большинство работ и книг, поименованных здесь, имеется в библиотеке Ротамстедской опытной станции или в Patent Office Library, London, и в библиотеке Министерства земледелия, Лондон.



- Bemmelen, Jakob M. van (1877 et seq.). «Das Absorptionsvermögen der Ackererde», Landw. Versuchs-Stat., 1877, 21, 135—191; 1878, 23, 265—303; 1888, 35, 69—136 . . . . .
- (Работы ван Беммелена по коллоидам собраны и опубликованы Штейнкопфом в Дрездене в «Die Absorption», стр. 548; той же фирмой издана «Gedenkenbuch»).
- Bennet H. J. and Allison, Robert V. (1928). «The soils of Cuba», Washington . . . . . 145, 201
- Berthelot, Marcellin (1885). «Fixation directe de l'azote atmosphérique libre par certains terrains argileux», Compt. Rend., 101, 775—784 . . . . . 31, 294
- Berthelot, Marcellin (1886). «Sur le dosage du carbone organique, contenu dans les sols qui fixent l'azote libre», ibid., 102, 951—954 . . . . . 32
- Berthelot, Marcellin (1888). «Sur quelques conditions générales de la fixation de l'azote par la terre végétale», ibid., 106, 569—574 . . . . . 32
- Berthelot, Marcellin (1890). «Recherches nouvelles sur la fixation de l'azote par la terre végétale et les plantes et sur l'influence de l'électricité sur ce phénomène», Ann. Chim. Phys., VI, 19, 434—492 . . . . . 294
- Bertrand, Gabriel (1903). «Les engrais complémentaires», Internat. Congress of Applied Chem., Berlin, Bericht III, 839—840 . . . . . 60
- Bewley W. F. and Hutchinson H. B. (1920). «On the changes through which the nodule organism (*Ps. radicola*) passes under cultural conditions», Journ. Agric. Sci. 10, 144—162 (Roth. Mem. 2) . . . . . 304
- Blackman F. F. (1905). «Optima and limiting factors», Annals of Botany, 19, 281—295 . . . . . 33, 129
- Blackman V. H. (1919). «The compound interest law and plant growth», Annals of Botany, 33, 353—360 . . . . . 33, 129
- Boerhaave H. (1727). «A new method of chemistry», trans. by P. Shaw and E. Chalmers . . . . . 12
- Bonazzi A. (1923). «On nitrification», Journ. Bact., 8, 343—363 . . . . . 292
- Boussingault J. B. (1838). «Recherches chimiques sur la végétation entreprises dans le but d'examiner si les plantes prennent de l'azote à l'atmosphère», Ann. Chim. Phys. (II), 67, 5—54; 1838, 69, 353—367; 1856 (III), 46, 5—41 . . . . . 27
- (1841). «De la discussion de la valeur relative des assolements par les résultats de l'analyse élémentaire», ibid. (III), 1, 208—246 (1851). «Economie rurale considérée dans ses Rapports avec la Chimie, la Physique, et la Météorologie», 2nd ed., Paris (contains a summary of his work up to that time) . . . . . 19
- Boussingault J. B. and Léwy (1853). «Sur la composition de l'air confiné dans la terre végétale», Ann. Chim. Phys. 37, 5—50 . . . . . 20—22
- Boussingault J. B. (1873). «Sur la nitrification de la terre arable», Compt. Rend., 76, 22—29; Annales de Chimie, 1873, 29, 186—206 (Полное собрание работ Буссенго было издано в 8 томах в 1891 г.) . . . . . 274, 386
- Bouyoucos G. J. (1913 et seq.). «Soil temperature», Michigan Tech. Bull. № 17, 1913; No 26, 1916, «The effect of temperature on some of the most important physical processes in soils» ibid., No 22, 1916 . . . . . 311
- Boyle, Robert (1661). «The sceptical chymist», Part. II. . . . . 403
- Bradfield R. (1923) «The chemical nature of a colloidal



- clay», *Missouri Res. Bull.*, 60; *Journ. Amer. Soc. Argon*, 1925, 253—270. «Some chemical reactions of colloidal clay», *Ann. Phys., Chem.* (1931) 35, 360—363 . . . . . 169, 179
- Brenchley, Winifred E. (1910). «The influence of copper sulphate and manganese sulphate upon the growth of barley», *Annals of Botany*, 24, 571—583 (Roth. Mem. 8) . . . . . 95
- (1914), «On the action of certain compounds of zinc, arsenic and boron the growth of plants», *ibid.*, 28, 283—301 (Roth. Mem. 8) . . . . . 112
- (1914), «Inorganic plant poisons and stimulants». Camb. Univ. Press. (A review of the extensive literature of the subject)
- Brenchley W. E. and Thornton H. G. (1925). «The relation between the development, structure and functioning of the nodules of *Vicia Fabae*», *Proc. Roy. Soc.* 98, B. 373—399 (Roth. Mem. 12) . . . . . 102, 307
- Briggs L. J. (1897). «The mechanics of soil moisture», U. S. Dept. of Agric. Bureau of Soils, Bull. № 10 . . . . . 391
- Briggs L. J. and McLane J. W. (1907). «The moisture equivalent of soils», U. S. Dept. of Agric., Bureau of Soils, Bull. No. 45 . . . . . 392, 395
- Briggs L. J. and Shantz H. L. (1912). «The wilting coefficient for different plants and its indirect determination», U. S. Dept. of Agric. Bureau of Plant Industry, Bull. No 230 . . . . . 43, 392
- (1914), «Relative water requirement of plants», *Journ. Agric. Res.* 3, 1—64 . . . . . 43
- Bristol B. Muriel (now Bristol-Roach) (1920). «On the alga flora of some desiccated English soils: an important factor in soil biology», *Annals of Botany*, 34, 35—80 . . . . . 332
- (1927), «On the algae of some normal English soils», *Journ. Agric. Sci.* 1927, 17, 563—588 (Roth. Mem. 13) . . . . . 332
- Brown, Percy E. and Kellogg E. H. (1914). «Sulfification in soils», *Iowa Res. Bull.* No 18 . . . . . 309
- Brown, Percy E. and Johnson H. W. (1916). «Studies in sulfification», *Soil Sci.* 1, 339—362 . . . . . 339, 362
- Burd, John S. (1919). «Rate of absorption of soil constituents at successive stages of plant growth», *Journ. Agric. Res.* 18, 51 . . . . . 436
- Burd J. S. and Martin J. C. (1923). «Water displacement of soils and the soil solution», *Journ. Agr. Sci.*, 13, 265—295 (1924), «Secular and seasonal changes in the soil solution», *Soil Sci.*, 18, 151—167 *Hilgardia*, 1931, 5, 455—509 . . . . . 416
- Cameron, Frank K. (1910). «An introduction to the study of soil solution», *Journ. Phys. Chem.* 14, 320—372, 393 . . . . . 433
- (1911), «The soil solutions, or the nutrient medium for plant growth» (Chemical. Publishing Co, Easton, Pa . . . . . 433
- Cannon W. A. (1925). «Physiological features of roots, with special reference to the relation of roots to aeration of the soil», *Carnegie Inst. Pub.* 368, Washington . . . . . 50, 469
- Christensen, Harald R. (1915). «Studien über den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf das Bakterienleben und den Stoffumsatz im Erdboden», *Centr. Bakt. Abt.*, 11, 43, 1 (Report of the Danish paper of 1914)
- (1923), «Untersuchungen über einige neuere Methoden zur Bestimmung der Reaction und des Kalkbedürfnisses des Erdbodens», *Int. Mitt. für Bodenkunde*, 13, 116—146
- (1923), «Influence of soil conditions on bacterial life and changes in soil substance: II. Ability of soil to break down mannite», *Soil Sci.*, 15, 329—360 . . . . . 379
- Christensen, Harald R. and Tovberg-Jensen S. (1926). «On the quantitative determination of the lime

- requirement of the soil», *Trans. Comm. II Internat. Soc. Soil Sci.* (Groningen) A. 94, 115 182
- Clark W. M. (1928). «Determination of hydrogen ions, 3rd ed. Baltimore 177
- Cole J. S. and Matthews O. R. (1923). «Use of water by spring wheat», *U. S. Dept. of Agric., Bull. No 1004*, p. 33 38
- Conn H. J. (1917). «Soil flora studies, I. General Introduction», *Journ. Bact.* 2, 35—45; (1917). «V. Actinomycetes in soil», *N. Y. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull. No 60* 341
- (1918), «The microscopic study of bacteria and fungi in soil», *N. Y. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull., No 64* 345
- (1919), «Ammonification of manure in soils», *N. Y. Tech. Bull. No 67* 288
- Crowther, Charles and Ruston, Arthur G. (1911). «The nature, distribution and effects upon vegetation of atmospheric impurities in and near an industrial town», *Journ. Agric. Sci.*, 4, 25—55; *ibid.* 1914, 6, 387—405. 111
- Crowther E. M. (1925). «Studies on soil reaction, III—V», *Journ. Agric. Sci.*, 15, 201—236 206, 428
- Also with Martin, W. S. VI, *ibid.*, 15, 237—255 (Roth. Mem. 12) 181
- (1930), «The relationship of climatic and geological factors to the composition of soil clay and the distribution of soil types», *Proc. Poy. Soc. B.*, 107, 1—30 (Roth. Mem. 15) 142, 164, 223, 253, 391
- Cutler D. W. (1919). «Observations on soil protozoa», *Journ. Agric. Sci.*, 9, 430—444 375
- (1920), «A method for estimating the number of active protozoa in the soil», *Journ. Agric. Sci.*, 10, 135—143 (Roth. Mem. 10) 343
- (1923), «The Action of protozoa on bacteria when inoculated into sterile soil», *Ann. App. Biol.* 1923, 10, 137, 141 (Roth. Mem. 11) 369
- Cutler D. W., Crump L. M. and Sandon H. (1922). «Quantitative investigation of the bacterial and protozoan population of the soil, with an account of the protozoan fauna», *Phil. Trans. Roy. Soc. B.* 211, 317—350 343, 355
- Cutler D. W. and Mukerji B. K. (1931). «Nitrite formation by soil bacteria other than *Nitrosomonas*», *Proc. Roy. Soc. B.* 108, 384—394. 291
- Daikuhara G. and Imaseki T. (1907). «On the behaviour of nitrate in paddy soil», *Bul. Imp. Central. Agric. Expt. Sta. Japan*, 1, No 2, 7—36 324
- Daikuhara G. (1914). «Ueber saure Mineralböden», *Bull. Imp. Central Agric. Expt. Sta. Tokyo*, 2, No. 1, 1—40
- Darwin C. (1881). «Earthworms and vegetable mould», *London, Trans. Geolog. Soc.*, 1837, 5, 505 454
- Darwin, Erasmus (1800). «*Phytologia, or the philosophy of agriculture and gardening*» . . . . . 15
- Daubeny C. G. B. (1845). «On the rotation of crops and on the quantity of inorganic matters abstracted from the soil by various plants under different circumstances», *Phil. Trans.*, 179—253 142, 431
- Davy, Humphry (1813). «*Elements of agricultural chemistry*», London. 18
- Dawson, Maria (1900). «*Notragin* and the nodule of leguminous plants», *Phil. Trans. m.* 192, B, 1—28; «*Further observations on the nature and functions of the nodules of leguminous plants*», *ibid.* 193, B, 51—67 306
- Dehéraïn P. P. (1892). «*Traité de chimie agricole*» . . . . . 440
- Delage A. and Lagatu H. (1904). «*Constitution de la terre arable*», *Trav. Ecole. Bat. d'agric. Montpellier* 147, 148
- (1905), «*Sur les résultats obtenus par l'observation des terres arabes en plaques minces*», *ibid* 147, 148

- (1905), «La terre de Ségala de Druelle et sa roche d'origine», *ibid.* 147, 148  
 (1907), «Etude analytique des Terres Arables», *ibid.* . . . . . 147, 148  
 Докучаев В. (1883). Чернозем европейской России, Петербург . . . . . 243  
 Doryland C. J. T. (1916). «The influence of energy material upon the relation of soil microorganism; to soluble plant food», *N. Dakota Agric. Expt. Sta. Bull. No 116* . . . . . 287  
 Dumas and Bous singault (1841). «Essai de statique chimique des êtres organisés». Paris, 3rd, ed. 1844 . . . . . 20, 27  
 Dumont J. (1903). «Les enduits de revêtement des particules terreuses», *Compt. Rend.* 149, 1037—1039 . . . . . 171  
 (1095), «Sur l'analyse minérologique des terres arables», *ibid.* 140, 1111—1113.  
 Dundonald, the Earl of (1795). «A treatise showing the intimate connection that subsists between agriculture and chemistry, etc». London . . . . . 14  
 Du Toit M. M. S. and Page H. J. (1930). «Studies on the carbon and nitrogen cycles in the soil: III. The formation of natural humic matter», *Journ. Agric. Sci.* 20, 478—488, See also Page, H. J. . . . . 190, 278  
 Dyer, Bernard (1894). «On the analytical determination of probably available mineral plant food in soils», *Trans. Chem. Soc.* 65, 115—167 . . . . . 411, 413  
 (1901), «A chemical study of the phosphoric acid and potash contents of the wheat soils of Broadbalk Field, Rothamsted», *Phil. Trans.* 194, B. 235—290 . . . . . 411, 413  
 Eden T. and Maskell E. J. (1928). «The influence of soil heterogeneity on the growth and yield of successive crops», *Journ. Agric. Sci.* 18, 163—185 . . . . . 403  
 Ehrenberg P. (1904). «Die bakterielle Untersuchungen in ihrer Bedeutung für die Feststellung der Bodenfruchtbarkeit», *Landw. Jahrbuch.* 33, 1—139 . . . . . 330  
 (1907), «Die Bewegung des Ammoniakstickstoff in der Natur», *Mitt. Landw. Inst. Breslau*, 4, 47—300 . . . . .  
 (1910), «Wirkungen des Zinks bei Vegetationsversuchen», *Landw. Versuchsstat.* 73, 15—142 . . . . . 112  
 Engberding D. (1903). «Vergleichende Untersuchungen über die Bakterienzahl im Ackerboden in ihrer Abhängigkeit von äusseren Einflüssen», *Centr. Bakt. Abt. II*, 23, 569—642 . . . . . 349  
 Esmarch F. (1910). «Beitrag zur Cyanophyceen-Fora unserer Kolonien», *Jahrbuch der Hamburgischen wissenschaft. Anstalten*, 28, 3 Beiheft, 62—82. (1924) «Untersuchungen über die Verbreitung der Cyanophyceen auf und in verschiedenen Böden», *Hedwigia*, Band 55, Heft 4—5, Sept. . . . . 332  
 Evelyn J. (1674). «Terra, a philosophical discourse of earth». 14  
 Failyer G. H., Smith J. G. and Wade H. R. (1908). «The mineral composition of soil particles», *U. S. Dept. of Agric. Bureau of Soils, Bull. № 54* . . . . . 150  
 Von Feilitzen H. (1900—1920). «Reports on moor culture in Svenska Mosskulturföreningens Tidskrift», *Jönköping, vols.* 14—34 . . . . . 455  
 Fischer F. and Schrader H. (1921). «Ueber die Entstehung und die chemische Struktur der Kohle», *Brennstoff-Chemie*, 2, No 3. 37—45 . . . . . 189, 280  
 Fisher R. A., Thornton H. G. and Mackenzie W. A. (1922). «The accuracy of the plating method of estimating the density of bacterial populations», *Ann. App. Biol.* 9, 325—359 (Roth. Mem. 11) . . . . . 343  
 Fischer R. A. (1924). «The influence of rainfall on the yield



- of wheat at Rothamsted», Phil. Trans. Roy. Soc., B. 213, 89—142 39
- (1921), «Studies in crop variation: an examination of the yield of dressed grain from Broadbalk», Jour. Agric. Sci. m. 11, 107—135 (Roth. Mem. 11) . . . . . 131
- Frosterus B. (1914). «Zur Frage nach der Einteilung der Böden in Nordwest-Europas Moränengebieten. V.», Geolog. Komm. Finland, Geotekn. Medd. No 14 . . . . . 225, 229
- Gayon Z. and Dupetit G. (1882). «Sur la fermentation des nitrates», Compt. Rend., 95, 644—646, «Sur la transformation des nitrates en nitrites», ibid, 1365—1367. «Recherches sur la réduction des nitrates par les infiniment petits», Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 1886, 107 pp. in reprint . . . . . 293
- Гедройц К. К. (1912). «Коллоидальная химия в отношении к почвоведению. I. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование углекислого аммония в почве. Щелочные и засоленные почвы», Журн. оп. агрономии, 13, 363, 420 . . . . . 259
- (1915), «Действие электролитов на суспензии глины». Департамент землеустройства и земледелия, вып. 24, Петроград . . . . . 162
- (1916), «Поглотительная способность почвы и цеолитные основания в почве». Журн. оп. агрономии, 17, 472—527. . . . . 146
- (1918), «К вопросу наших знаний о поглотительной способности почвы». Журн. оп. агрономии, 1918, 19, 269—292. Журн. оп. агрономии, 1919—20, 31—58. См. также отдельный выпуск, изданный НКЗ в 1922 г. Петроград, 56 стр. Эта брошюра дает превосходный обзор всех работ по обмену оснований в почве до 1918 г. (Рукописи переводов работ Гедройца по 1922 г. С. А. Ваксмана, изданные Деп. земледелия США, имеются в библиотеке Ротамстедской оп. станции) . . . . . 168
- (1924), «Ультрамеханический состав почв и зависимость его от природы катионов, присутствующих в почве в поглощенном состоянии». Журн. оп. агрономии 22, 29. (Резюме этих работ было сведено Пейджем в Trans. 2nd Comm. Intern. Soc. Soil. Sci. Groningen, 1926, V. A. 208—231) Носовская оп. стан- 159, 172
- (1926), «О превращении почв в солоди.» Носовская оп. стан- 238, 240
- ция. Агрохим. отдел, вып. 44 . . . . .
- (1927). «Поглощающий комплекс почвы и почвенные катионы как основа почвенной классификации». Носовская оп. станция. Агрохим. отдел, вып. 47. Перевод на нем. язык Н. Kuron d. Kolloidchem. Beih., 1929, 29, 149—260 . . . . . 149, 228
- (1929). Химический анализ почвы, 2-е изд. стр. 599. Первое издание переведено на нем. язык. Chemische Bodenanalyse (1926), Berlin, L. Frey . . . . . 182
- (1931), «Die Lehre vom Absorptionsvermögen der Böden», Kolloidchem. Beih., 33, 317—448. Translated by H. Kuron from the second Russian edition (1929). 367
- Gillespie L. J. (1916). «The reaction of soil and measurements of hydrogen ion concentration», Journ. Wash. Acad. Sci, 6, 7—16.
- (1920), «Reduction potentials of bacterial cultures and waterlogged soils», Soil. Sci. 9, 199—216 (1936). «Des Deutschlands Wohlfart» (Erster Teil), das dritte Capitel, De concentrations Vegetabilium, Miraculum Mundi, 1656 . . . . . 11
- Глинка К. Д. (1927). «Идеи Докучаева о развитии почвоведения и соприкасающихся наук», Русские исследования по почвоведению, I, Академия наук, Ленинград . . . . . 482
- (1931), «Почвоведение», 4-е посм. издание, Госиздат, Ленинград.



- Первое издание переведено на немецкий язык и потом на английский . . . . . 233
- G o l a g. (1910). «Saggio di una teoria osmotica dell'edafismo», *Annali di Bot.* 8, 275—548, «Osservazioni sopra i liquidi circolanti nel terreno agrario», *Ann. d. R. Accad. Agric. Torino*, 1911, 54, 37 . . . . . 415
- (A good summary of these papers is given by Cavers in *Journ. Ecology*, 1914, 2, 209).
- G o o d e y T. (1911). «A contribution to our knowledge of the protozoa of the soil», *Proc. Roy. Soc.* 84, B, 165—180, Investigations on protozoa in relation to the factor limiting bacterial activity in soil, *ibid*, 1915, 88, B, 437—456; 1916, 89, B, 297, 314 . . . . . 351
- G r a n d e a u M. L. (1872). «Recherches sur le rôle des matières organiques du sol dans les phénomènes de la nutrition des végétaux», *Compt. Rend.* 74, 988—991 (issued more fully as Publication de la Station Agronomique de l'est, 1872) . . . . . 22, 414
- G r a y P. H. H. and C h a l m e r s C. H. (1924). «On the stimulating action of certain organic compounds on cellulose decomposition by means of a new aerobic microorganism that attacks both cellulose and agar», *Ann. Appl. Biol.* 11 324—338 (*Roth. Mem.* 12) . . . . . 283
- G r e a v e s J. E. (1916). «The influence of salts on the bacterial activities of the soil», *Soil Sci.* 2, 443—480; *Bot. Gaz.* 1922, 73, 161—180 . . . . . 374
- G r e a v e s J. E., C a r t e r E. G. and G o l d t h o r p H. C. (1919). «Influence of salts on the nitric-nitrogen accumulation in the soil», *Journ. Agric. Res.* 16, 107—135;
- G r e a v e s, J. E. «Azofication», *Soil Sci.* 1918, 6, 163—217; also 1922, 13, 481—499 . . . . . 375
- G r e a v e s J. E. and C a r t e r E. G. (1923). «The influence of irrigation water on the composition of grains and the relationship to nutrition», *Journ. Biol. Chem.* 58, 531—541; also G r e a v e s and N e l s o n, *Journ. Agric. Res.*, 1925, 31, 183—189 . . . . . 47
- G r e g o r y F. G. (1921). «Studies in the energy relations of plants: I. The increase in area of leaves and leaf surface of *Cucumis sativus*», *Ann. Bot.* 35, 93—123. The effect of climatic conditions on the growth of barley», *ibid*, 1926, 40, 1—26 . . . . . 133
- G r e g o r y F. G. and R i c h a r d s F. J. (1929). «Physiological studies in plant nutrition: 1. The effect of manurial deficiency on the respiration and assimilation rate in barley», *Ann. Bot.* 43, 119—161 . . . . . 80
- H a i n e s W. B. (1925). «Studies in the physical properties of soils. I. Mechanical properties concerned in cultivation», *Journ. Agric. Sci.* 15, 178—200 (*Roth. Mem.* 12) . . . . . 407
- H a l e s, S t e p h e n (1731—1733). *Statistical essays, containing: I. Vegetable staticks, etc; II. Hamastaticks, etc.* London . . . . . 12
- H a l l A. D., B r e c h l e y W. E. and U n d e r w o o d L. M. (1913). «The soil solution and the mineral constituents of the soil», *Phil. Trans.* 204, B, 179—200 (*Roth. Mem.* 9) . . . . . 51
- H a l l A. D. and M i l l e r N. H. J. (1905). «The effect of plant growth and of manures upon the retention of bases by the soil», *Proc. Roy. Soc.*, 77, B, 1—32 (*Roth. Mem.* 8) . . . . . 259, 437
- H a l l A. D. and P l y m e n E. J. (1902). «The determination of available plant food in soils by the use of weak acid solvents», Part I, *Trans. Chem. Soc.* 81, 117—144, Part II, Hall, A. D. and A m o s A., *ibid* 1906, 89, 205—222 (*Roth. Mem.* 8) . . . . . 412
- H a l l A. D. and R u s s e l l E. J. (1911). «Agriculture and soils of Kent, Surrey, and Sussex» (Board of Agriculture) . . . . . 141, 468, 471, 483

- (1911), «Soil surveys and soil analysis». Journ. Agric. Sci, 4, 182—223 (Roth. Mem. 8) . . . . . 141, 468
- Harrison W. H. and Aiyer J. (1913). «Gases of swamp rice soils», Dept. Agric. India, Mem. Chem. Series 3, 65—106, and 1914, 4, 1—17 . . . . . 323, 334
- Hartwell B. L. and Damon S. C. (1914). «The comparative effect on different kinds of plants of liming an acid soil», Rhode Island Expt. Sta. Bull. 160 . . . . . 422
- Hartwell B. L. and Pember F. R. (1918). «Aluminium as a factor influencing the effect of acid soils on different crops», Journ. Amer. Soc. Agron. 10, 45 . . . . . 429
- Hellriegel H. (1883). Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen Ackerbaus. Braunschweig . . . . . 36
- (1898), «Die Methode der Sandkulturen», Arb. Deut. Landw. Gesell., Heft 34 . . . . . 73, 74, 86, 90
- Hellriegel H. and Wilfarth H. (1888). «Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen», Zeitsch. des Vereins f. d. Rübenzucker-Industrie . . . 30, 31, 63, 117
- Hellriegel H. Wilfarth H., Römer und Wimmer (1898). «Vegetationsversuche über den Kalibedarf einiger Pflanzen», Arb. Deut. Landw. Gesell., Heft 34 . . . . . 86
- Helmont Johann Baptista, van (1577—1644). «Opera omnia Complexionum atque mistionum elementalium figmentum» . . . . . 10
- Hendrick J and Ogg W. G. (1916). «Studies of a Scottish drift soil: 1. The composition of the soil and the mineral particles which compose it», Journ. Agric. Sci, 7, 458—469; 1920, 10, 333—357 . . . . . 141—148
- Hendrick J. and Welsh H. D. (1927). «The substances removed by the drainage from a Scottish soil», Proc. and Papers First Internat. Cong. Soil Sci. Washington, 358—366 . . . 222
- Hendricks S. B. and Fry W. H. (1930). «The results of X-ray and microscopical examinations of soil colloids», Soil Sci, 29, 457—479 . . . . . 157
- Hesselman H. (1927). «Studier över barrträdsplantans utveckling i rahumus», Medd. fr. Statens Skogsföröksanstalt, 23, 337—432 (German summary) . . . . . 454
- Hilgard E. W. (1906). «Soils, their formation, properties, composition and relations to climate and plant growth in the humid and arid regions. New-York . . . . . 263, 395
- Hiltner L (1900). «Ueber die Ursachen, welche die Grösse, Zahl, Stellung und Wirkung der Wurzelknöllchen der Leguminosen bedingen». Arb. Biol. Abt. für Land- u. Forstwirtschaft am d. Kais. Gesundh. Amt. I, 177—222 . . . . . 307, 309
- (1907), «Ueber neue Ergebnisse und Probleme auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Bakteriologie», Jahresber. Verein. für Angew. Bot., 200 . . . . . 349
- Hiltner L. and Stömer K. (1903). «Neue Untersuchungen über die Wurzelknöllchen der Leguminosen und deren Erger», Arb. Biol. Abt. für Land- u. Forst, am d. Kais. Gesundh. Amt. 3. . . . . 307, 309, 341, 381
- (1903), «Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens, mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens nach einer Behandlung mit Schwefelkohlenstoff und nach Brache», ibid, 3, Heft 5 . . . . . 349
- Hissink D. J. (1922). «Beitrag zur Kenntnis der Adsorptionsvorgänge im Boden». Internat. Mitt. Bodenkunde, 12, 148, 149, 81—172 . . . . . 214, 493
- (1925), «Base exchange in soils», Trans. Far. Soc. 20, 551—566 . 148, 168, 183

- Первое издание переведено на немецкий язык и потом на английский . . . . . 233
- G o l l a g. (1910). «Saggio di una teoria osmotica dell'edafismo», *Annali di Bot.* 8, 275—548, «Osservazioni sopra i liquidi circolanti nel terreno agrario», *Ann. d. R. Accad. Agric. Torino*, 1911, 54, 37 . . . . . 415  
(A good summary of these papers is given by Cavers in *Journ. Ecology*, 1914, 2, 209).
- G o o d e y T. (1911). «A contribution to our knowledge of the protozoa of the soil», *Proc. Roy. Soc.* 84, B, 165—180, Investigations on protozoa in relation to the factor limiting bacterial activity in soil, *ibid.*, 1915, 88, B, 437—456; 1916, 89, B, 297, 314 . . . . . 351
- G r a n d e a u M. L. (1872). «Recherches sur le rôle des matières organiques du sol dans les phénomènes de la nutrition des végétaux», *Compt. Rend.* 74, 988—991 (issued more fully as Publication de la Station Agronomique de l'est, 1872) . . . . . 22, 414
- G r a y P. H. H. and C h a l m e r s C. H. (1924). «On the stimulating action of certain organic compounds on cellulose decomposition by means of a new aerobic microorganism that attacks both cellulose and agar», *Ann. Appl. Biol.* 11 324—338 (Roth. Mem. 12) . . . . . 283
- G r e a v e s J. E. (1916). «The influence of salts on the bacterial activities of the soil», *Soil Sci.* 2, 443—480; *Bot. Gaz.* 1922, 73, 161—180 . . . . . 374
- G r e a v e s J. E., C a r t e r E. G. and G o l d t h o r p H. C. (1919). «Influence of salts on the nitric-nitrogen accumulation in the soil», *Journ. Agric. Res.* 16, 107—135;
- G r e a v e s, J. E. «Azofication», *Soil Sci.* 1918, 6, 163—217; also 1922, 13, 481—499 . . . . . 375
- G r e a v e s J. E. and C a r t e r E. G. (1923). «The influence of irrigation water on the composition of grains and the relationship to nutrition», *Journ. Biol. Chem.* 58, 531—541; also G r e a v e s and N e l s o n, *Journ. Agric. Res.*, 1925, 31, 183—189 . . . . . 47
- G r e g o r y F. G. (1921). «Studies in the energy relations of plants: I. The increase in area of leaves and leaf surface of *Cucumis sativus*», *Ann. Bot.* 35, 93—123. The effect of climatic conditions on the growth of barley», *ibid.*, 1926, 40, 1—26 . . . . . 133
- G r e g o r y F. G. and R i c h a r d s F. J. (1929). «Physiological studies in plant nutrition: 1. The effect of manurial deficiency on the respiration and assimilation rate in barley», *Ann. Bot.* 43, 119—161 . . . . . 80
- H a i n e s W. B. (1925). «Studies in the physical properties of soils. I. Mechanical properties concerned in cultivation», *Journ. Agric. Sci.* 15, 178—200 (Roth. Mem. 12) . . . . . 407
- H a l e s, S t e p h e n (1731—1733). Statical essays, containing: I. Vegetable statics, etc; II. Hamastatics, etc. London . . . . . 12
- H a l l A. D., B r e c h l e y W. E. and U n d e r w o o d L. M. (1913). «The soil solution and the mineral constituents of the soil», *Phil. Trans.* 204, B, 179—200 (Roth. Mem. 9) . . . . . 51
- H a l l A. D. and M i l l e r N. H. J. (1905). «The effect of plant growth and of manures upon the retention of bases by the soil», *Proc. Roy. Soc.*, 77, B, 1—32 (Roth. Mem. 8) . . . . . 259, 437
- H a l l A. D. and P l y m e n E. J. (1902). «The determination of available plant food in soils by the use of weak acid solvents», Part I, *Trans. Chem. Soc.* 81, 117—144, Part II, Hall, A. D. and A m o s A., *ibid.* 1906, 89, 205—222 (Roth. Mem. 8) . . . . . 412
- H a l l A. D. and R u s s e l l E. J. (1911). «Agriculture and soils of Kent, Surrey, and Sussex» (Board of Agriculture) . . . . . 141, 466, 471, 483



- (1911), «Soil surveys and soil analysis». Journ. Agric. Sci, 4, 182—223 (Roth. Mem. 8) . . . . . 141, 468
- Harrison W. H. and Aiyer J. (1913). «Gases of swamp rice soils», Dept. Agric. India, Mem. Chem. Series 3, 65—106, and 1914, 4, 1—17 . . . . . 323, 334
- Hartwell B. L. and Damon S. C. (1914). «The comparative effect on different kinds of plants of liming an acid soil», Rhode Island Expt. Sta. Bull. 160 . . . . . 422
- Hartwell B. L. and Pember F. R. (1918). «Aluminium as a factor influencing the effect of acid soils on different crops», Journ. Amer. Soc. Agron. 10, 45 . . . . . 429
- Hellriegel H. (1883). Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen Ackerbaus. Braunschweig . . . . . 36
- (1898), «Die Methode der Sandkulturen», Arb. Deut. Landw. Gesell., Heft 34 . . . . . 73, 74, 86, 90
- Hellriegel H. and Wilfarth H. (1888). «Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen», Zeitsch. des Vereins f. d. Rübenzucker-Industrie . . . . . 30, 31, 63, 117
- Hellriegel H. Wilfarth H., Römer und Wimmer (1898). «Vegetationsversuche über den Kalibedarf einiger Pflanzen», Arb. Deut. Landw. Gesell., Heft 34 . . . . . 86
- Helmont Johann Baptist, van (1577—1644). «Opera omnia Complexionum atque mistionum elementalium figmentum» . . . . . 10
- Hendrick J. and Ogg W. G. (1916). «Studies of a Scottish drift soil: 1. The composition of the soil and the mineral particles which compose it», Journ. Agric. Sci, 7, 458—469; 1920, 10, 333—357 . . . . . 141—148
- Hendrick J. and Welsh H. D. (1927). «The substances removed by the drainage from a Scottish soil», Proc. and Papers First Internat. Cong. Soil Sci. Washington, 358—366 . . . . . 222
- Hendricks S. B. and Fry W. H. (1930). «The results of X-ray and microscopical examinations of soil colloids», Soil Sci, 29, 457—479 . . . . . 157
- Hesselman H. (1927). «Studier öfver barrträdsplantans utveckling i rahumus», Medd. fr. Statens Skogsförsöksanstalt, 23, 337—432 (German summary) . . . . . 454
- Hilgard E. W. (1906). «Soils, their formation, properties, composition and relations to climate and plant growth in the humid and arid regions. New-York . . . . . 263, 395
- Hiltner L. (1900). «Ueber die Ursachen, welche die Grösse, Zahl, Stellung und Wirkung der Wurzelknöllchen der Leguminosen bedingen». Arb. Biol. Abt. für Land- u. Forstwirtschaft am d. Kais. Gesundh. Amt. I, 177—222 . . . . . 307, 309
- (1907), «Ueber neue Ergebnisse und Probleme auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Bakteriologie», Jahresber. Verein. für Angew. Bot., 200 . . . . . 349
- Hiltner L. and Stömer K. (1903). «Neue Untersuchungen über die Wurzelknöllchen der Leguminosen und deren Erreger», Arb. Biol. Abt. für Land- u. Forst, am d. Kais. Gesundh. Amt. 3. . . . . 307, 309, 341, 381
- (1903), «Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens, mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens nach einer Behandlung mit Schwefelkohlenstoff und nach Brache», ibid, 3, Heft 5 . . . . . 349
- Hissink D. J. (1922). «Beitrag zur Kenntnis der Adsorptionsvorgänge im Boden». Internat. Mitt. Bodenkunde, 12, 148, 149, 81—172 . . . . . 214, 493
- (1925), «Base exchange in soils», Trans. Far. Soc. 20, 551—566 . 148, 168, 183



- Hoagland D. R. (1917). «The effect of hydrogen and hydro-  
lyon concentration on the growth of barley seedlings», *Soil*  
*Sci.* 3, 547—560 109
- (1925). «Physiological aspects of soil solution investigations», *Hil-*  
*gardia*, 1, 227—257 (A discussion of the work of the Californian  
investigators) 415, 418
- Home Francis (1757). «The principles of agriculture and ve-  
getation». 14
- Hopkins C. G. (1910). *Soil fertility and permanent agriculture*,  
Boston 480
- Howard A. and Howard G. L. C. (1916). *Bull.* No 61, *Agric.*  
*Res. Inst. Pusa*. «Crop. production in India», 1924, Oxford Univ.  
Press 52
- (1929). «The application of science to crop production. Oxford Univ.  
Press. pp. 81.
- Hutchinson H. B. (1918). «The influence of plant residues  
on nitrogen fixation and on losses of nitrate in the soil», *Journ.*  
*Agric. Sci.* 9, 92—111 (Roth. Mem. 10) 301, 302
- Hutchinson H. B. and Clayton J. (1919). «On the decom-  
position of cellulose by an aerobic organism» (*Spirochoeta*  
*cytophaga*, n. sp.) *Journ. Agric. Sci.* 9, 143—173 (Roth. Mem. 10) 282
- Hutchinson H. B. and MacLennan K. (1915). «Stu-  
dies on the lime requirements of certain soils», *Journ. Agric. Sci.*,  
7, 75—105 (Roth. Mem. 9) 424
- Hutchinson H. B. and Richards E. H. (1921). *Artificial*  
*farmyard manure*, *Journ. Min. Agric.* 28. 398—411, 482
- Ingen-Housz Jan (1779). *Experiments upon vegetables*,  
discovering their great power of purifying common air in the sun-  
shine and of injuring in the shade and at night. London 16
- (1796). «Essay on the food of plants and the renovation of soils»,  
Bd. of *Agric. Repts.* London 16
- Irtson C. van (1904). «Die Zersetzung von Cellulose durch  
aerobe Mikroorganismen», *Centr. Bakt. Par. Abt.* II, II 689—698 281
- Jensen H. L. (1929). «On the influence of the carbon nitroge-  
rations of organic material on the mineralisation of nitrogen»  
*Journ. Agric. Sci.* 19, 71—82 (Roth. Mem. 14) 277, 278
- (1931a) «The fungus flora of the soil», *Soil Sci.* 31, 123—158 (Roth. Mem. 15) 280, 281, 282, 335, 336, 337
- (1931b). «The microbiology of farmyard manure decomposition  
in soil», *Changes in the microflora, and their relations to nitrifi-*  
*cation*, *Journ. Agric. Sci.* 21, 38—80. «Decomposition of  
cellulose», *ibid.* 81—100, (Roth. Mem. 15) 123—158
- Jones L. R., Johnson S. and Dickson J. G. (1926). «Wi-  
sconsin studies upon the relation of soil temperature to plant  
diseases», *Wisconsin Univ. Agric. Exper. Sta. Res. Bull.* No 71,  
pp. 144 55
- Kalnis A. (1930). «Aerobic soil bacteria that decompose cel-  
lulose», *Latvijas Univ. Raksti. Lauks. Fak.* I, II, (Roth. Mem. 15) 283
- Kappen H. (1929). «Die Bodenazidität», Berlin 177
- Keen B. A. (1914). «The evaporation of water from soil», *Journ.*  
*Agric. Sci.*, 6, 456—475; Part. II, *ibid.* 1921, II, 432, 440; Part  
III. with Crowther, E. N. and Coutts, J. R. H., *ibid.* 1926, 16,  
105, 122 (Roth. Mem. 9, 11 and 13) 393
- Keen B. A. (1931). «The physical properties of soils» (Rotham-  
sted Monographs on Agricultural Science Series), Longmans,  
Green & Co, London 166, 246,  
450, 472
- Keen B. A. and Kaines W. B. (1925). «Studies in soil culti-  
vation», I—III, *Journ. Agric. Sci.* 15, 375—406 (Roth. Mem. 12) 277, 278, 407

- Keen B. A. and Russel E. J. (1921). The factors determining soil temperature, *ibid.*, 11, 211—239 (Roth. Mem. 11) . . . 401, 403
- Kelley W. P. and Thomas E. E. (1928). «Reclamation of the Fresno type of black-alkali soil», Univ. of California Coll. of Agric. Expt. Sta. Bull. 455, pp. 37 . . . 264
- Kelley W. P., Dore W. H. and Brown S. M. (1931). «The nature of the base-exchange material of bentonite, soils and zeolites, as revealed by chemical investigation and X-ray analysis». *Soil Sci.* 31, 23—55 . . . 157, 166, 167
- Kidd F. (1914). «The controlling influence of carbon dioxide in the maturation, dormancy and germination of seeds», *Proc. Roy. Soc.* 87, B, 408—421, 609, 625, and 1916, 89, B, 136—156; seeds of *Brassica alba* following treatment with carbon dioxide and the relation of this phenomenon to the question of Stimuli in growth processes», *Ann. of Botany*, 1917, 31, 457—487 . . . 51
- King F. H. (1889). «Annual reports of the Wisconsin Experiment Station», 6th Report and onwards. *The Soil*, 1899 (Macmillan); *Physics of Agriculture*, Madison, USA . . . 33
- Kirwan Richard (1796). «The manures most advantageously applicable to the various sorts of soils and the cause of their beneficial effects in each particular instance», 4th ed. London . . . 14
- Knop (1868). «Lehrbuch der Agrikultur Chemie», Leipzig . . . 410
- (1871), «Die Bonitirung der Ackererde». . . 145
- Koch Alfred (1899). «Untersuchungen über die Ursachen der Rebenmüdigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Schwefelkohlenstoffbehandlung», *Arb. Deut. Landw. Gesell.*, Heft 40 . . . 434
- Koch Alfred, Litzendorff J., Krull F. and Alves A. (1907). «Die Stickstoffanreicherung des Bodens durch freilebende Bakterien und ihre Bedeutung für die Pflanzenernährung», *Journ. f. Landw.* 55, 355—416 . . . 300, 301
- Kolk J. L., C. Schröder van der (1906). Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung der Mineralien nach ihrem Brechungsindex. Wiesbaden . . . 148
- Kraus Gregor (1911). «Boden und Klima auf kleinstem Raum», Jena . . . 450
- Krause M. (1931). «Russische Forschungen auf dem Gebiete der Bodenstruktur», *Landw. Jahrb.* 73, 602—690 . . . 404
- Kreusler U. (1875). «Studien über der Aufrahmungsprozess», *Landw. Jahrb.* 4, 240—350 (A series of papers continuing up to 1885) . . . 132
- Lachmann J. (1858). *Mitt. d. Idw. Lehranstalt Poppelsdorf*, Vol. 1 (reprinted in *Zentr. Agrik. Chem.* 1891, 20, 837) . . . 27, 31
- Lagatan H. (1921). «Sur le rôle respectif des trois bases: potasse, chaux, magnésie, dans les plantes cultivées», *Compt. Rend.* 172, 129—131 . . . 79, 104
- Lagatu H. and Maume L. (1924). «Evolution remarquable régulière de certains rapports physiologiques (chaux, magnésie, potasse) dans les feuilles de la vigne bien alimentée», *Compt. Rend.* 179, 782—785 . . . 79, 104
- «Etude, par l'analyse périodique des feuilles, de l'influence des engrais de chaux, de magnésie et de potasse sur la vigne», *ibid.*, 179, 932—934 . . . 104
- (1925), «Relation linéaire entre les quantités successives d'acide phosphorique et d'azote contenues dans la feuille de la vigne bien alimentée», *ibid.*, 180, 1179—1181 . . . 104
- (1927), *Compt. Rend. Acad. Agric. France*, 13, 437—455 . . . 104
- (1928), *ibid.*, 14, 762—778 . . . 104
- Laurent Emil (1886). «Les microbes du sol. Recherches

- experimentales sur leur utilité pour la croissance des végétaux supérieurs», Bull. Acad. Roy. Belgique, 2, 128—143 . . . . . 32
- Lawes J. B. (1850). «Experimental investigation into the amount of water given off by plants during their growth». Journ. Hort. Soc., 5, 38—62 (Roth. Mem. 1, No 3) . . . . . 42
- Lawes J. B. and Gilbert J. J. (1847). «On agricultural chemistry». Journ. Roy. Agric. Soc., 8, 226—260; (1851), 12, 1—40; (1855), 16, 411—502 (Roth. Mem. 1, No 1) . . . . . 24
- (1884). «On the composition of the ash of wheat grain and wheat straw grown at Rothamsted in different seasons and by different manures» Trans. Chem. Soc., 45, 305—407 (Roth. Mem. 6, No 2). . . . . 24
- (1899), «Agricultural, botanical and chemical results of experiments on the mixed herbage of permanent grassland, conducted for many years in succession on the same land: III. The chemical results. Section I» Phil. Trans. Roy. Soc. B. 192, 139—210 (Roth. Mem. 4to. 2) . . . . . 206
- Lawes J. B., Gilbert J. H. and Pugh E. (1861). «On the source of the nitrogen of vegetation, with special reference to the question whether plants assimilate free or uncombined nitrogen». Phil. Trans. 151, 431—577 (see also *ibid.* 1889), A, 180, 1—107, and Journ. Roy. Agric. Soc. 1891, Series, 3, 2, 657—702 (Roth. Mem. 4to. 1, No 1) . . . . . 413
- Lawes J. B., Gilbert J. H., and Warrington R. (1881). «On the amount and composition of the rain and drainage waters collected at Rothamsted», Journ. Roy. Soc. 42, 241, 1882, 43, 1 (Roth. Mem. 5, No 18). . . . . 26, 27
- Leather J. W. (1912). «Records of drainage in India». Memoirs Dept. of Agric. India, Chemical Series, 2, 63, 140 . . . . . 377, 440
- (1915), «Soil gases», *Ibid.*, 4, 85—134 . . . . . 390
- Lehmann Otto (1907). «Untersuchungen über einige Ernährungsunterschiede der Leguminosen und Gramineen und ihre wahrscheinliche Ursache», Landw. Versuchs-Stat. 67, 207—251 . . . . . 110, 413
- Liebig Justus (1840 and 1841). «Chemistry in its application to agriculture and physiology», 1st and 2nd eds; 3rd and 4th eds. (1843 and 1847) . . . . . 20—22
- (1851), «Familiar letters on chemistry», 3rd ed. . . . . 24
- (1855), «Principles of agricultural chemistry with special reference to the late researches made in England» . . . . . 28
- (1863), «Natural laws of husbandry» . . . . . 33, 118
- Linhart G. A. (1920). «The free energy of biological processes», Journ. Gen. Physiol. 2, 247—251 . . . . . 299, 367
- Lipman C. B. (1912). «Toxic effects of alkali salts in soils on soil bacteria», Centr. Bakt. Par. Abt. II, 32, 58—64; 33, 305—313; 35, 647—655. . . . . 373
- Lipman J. G. (1903). «Experiments on the transformation and fixation of nitrogen by bacteria», N. Jersey Expt. Sta., 24th Ann. Rept., 217—285. . . . . 289
- Lipman J. G., Brown Percy E. and Owen Irving L. (1912). «The availability of nitrogenous materials as measured by ammonification», Centr. Bakt. Par. Abt. II 31, 49—85
- Lipman J. G. and Blair A. W. (1916). «Investigations relative to the use of nitrogenous plant-foods, 1898—1912». New Jersey Bull., No 288, 1916. . . . . 322, 329
- (1918), «Twenty years work on the availability of nitrogen in nitrate of soda, ammonium sulfate, dried blood, and farm manures», Soil Sci., 5, 291—300 . . . . . 322, 329



- (1921), «Nitrogen losses under intensive cropping», *Soil Sci.* 12, 1—16 322, 329
- Livingston, Burton Edward (1906). «The relation of desert plants to soil moisture and evaporation. Carnegie Institution of Washington, No 50
- Livingston B. E. and Free E. E. (1917). Contributions to plant physiology, Johns Hopkins Univ. 182: «The effects of deficient soil oxygen on the roots of higher plants» 50
- Löhnis, F. (1904). «Zur Methodik der bakteriologischen Bodenuntersuchung», *Centr. Bakt. Part. Abt. II*, 12, 262—267; (1905), 14, 1—9 329
- Löhnis F. and Parr A. E. (1907), *ibid*, 17, 518—528 329
- Löhnis F. and Pillai N. K. (1908). «Ueber stickstofffixierende Bakterien», *III*, *ibid*, 20, 781—799 299
- Löhnis F. and Smith N. P. (1916). «Life cycles of the bacteria», *Journ., Agric. Res.* 6, 675—702 296
- Lundblad K. (1924). «Ett bidrag till kännedom om brunjordseller mulljordstypens egenskaper och degeneration i södra Sverige», *Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanstalt*, 21, 1—48 246
- Lundegårdh H. (1925). «Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben», *Jena, G. Fischer*. English trans. from 2nd German ed., *Environment and plant development*. Eric Ashby, 1931, London (An excellent summary of our present knowledge of soils). 274, 403
- (1924), «Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur», *Jena*.
- (1927), «Carbon dioxide evolution of soil and crop growth», *Soil Sci.* 23, 417—453 (See also *Medd. Centralanstalt, försöksväs. jordbruk.* 1928, No 331) 51
- Lyon T., Lyttleton, Bizzel, James A. and Wilson B. D. (1923). «Depressive influence of certain higher plants on the accumulation of nitrates in the soil», *Journ. Amer. Soc. Agron.* 15, 457—467; also *ibid*, 1918, 10, 313—322. 277, 440
- Lyon T. L. and Wilson B. D. (1928). «Some relations of green manures to the nitrogen of a soil», *N. York, Cornell Univ. Agric. Expt. Sta. Memoir* 115 318
- McHargze J. S. (1919). «Effect of certain compounds of barium and strontium on the growth of plants», *Journ. Agric. Res.* 16, 183—194 93
- (1923), «Effect of different concentrations of manganese sulphate on the growth of plants in acid and neutral soils and the necessity of manganese as a plant nutrient», *Journ. Agric. Res.*, 24, 781—794 95
- (1925), «The occurrence of copper, manganese, zinc, nickel and cobalt in soils, plants and animals, and their possible function as vital factors», *ibid*, 30, 193—196 95
- Maillard L. C. (1912). «Formation d'humus et de combustibles minéraux sans intervention de l'oxygene atmospherique, des microorganismes, des hautes températures, ou des fortes pressions», *Compt. Rend.* 155, 1554—1556 (See also *ibid*, 1913, 156, 1159—1160, and *Ann. Chim.* 1917 (IX) 7, 113—152 190
- Marchal Emile (1893). «Sur la production de l'ammoniaque dans le sol par les microbes», *Bull. Acad. Roy. Belgique*, 25, 727—771 286
- Marshall C. E. (1930a). «A new method of determining the distribution curve of polydisperse colloidal systems», *Proc. Roy. Soc. A.*, 126, 427—439 158
- Marshall C. E. (1930b). «The orientation of anisotropic particles in an electric field», *Trans. Far. Soc.* 26, 173—189 156, 159



- Martin C. H. and Lewin K. R. (1914). «Some notes on oil protozoa», *Phil. Trans.*, 205, B. 77—94 (1915). «Notes on some methods for the examination of soil protozoa», *Journ. Agric. Sci.* 7. 106—119 351, 353
- Maskell E. J. (1927). «Field observations on starch production in the leaves of the potato», *Ann. Bot.* 41, 327—344 (*Roth. Mem.* 13) 84
- Maskell E. J. (1928). «Experimental researches on vegetable assimilation and respiration, XVIII», *Proc. Roy. Soc. B.* 102, 488—533 129
- Mattson S. E. (1922). «Die Beziehung zwischen Ausflockung, Adsorption und Teilchenladung, mit besonderer Berücksichtigung der Hydroxylionen», *Kolloidchem.* 14, 227—313 154, 161
- Mattson S. E. (1929). «Laws of soil colloidal behaviour: I», *Soil Sci.* 28, 179—220; «II, Cataphoresis, flocculation, and dispersion», *ibid.* 28, 373—409; III, IV, «Isoelectric precipitates», *ibid.* (1930), 30, 459—495; (1931), 31, 57—77; V. «Ion adsorption and Exchange», *ibid.* (1931) 31, 311—331
- Mayow John (1907). «Tractatus quinque medico physici», 1674 (*Alembic Club Reprint, Edinburgh*) 11
- Maximov N. A. (1920). *The plant in relation to water.* Allen A. Unwin, pp. 451 35, 42
- Mazé P. (1898). «L'assimilation de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal par les végétaux supérieurs», *Compt. Rend.* 127, 1031—1033; (1900) «Recherches sur l'influence de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal sur le développement du maïs», *Ann. Inst. Pasteur*, 14, 26 63
- (1919), «Recherche d'une solution purement minérale capable d'assurer l'évolution complète du maïs cultivée à l'abri des microbes», *Ann. Inst. Pasteur*, 33, 139 137, 450
- Miller N. H. (1906). «The amount and composition of the drainage through unmanured and uncropped land, Barnfield, Rothamsted», *Journ. Agric. Sci.* 377—399 (*Roth. Mem.* 8) 313
- Mitscherlich E. A. (1909). «Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages», *Landw. Jahrb.*, 38, 537—552; and many subsequent papers 121
- (1923) He discusses his work fully in: *Bodenkunde für Land und Forstwirte*, 4th ed.; a very suggestive book on soils 388
- (1925), «Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens», *Berlin, Paul Parey* 412
- Mondesir Paul de (1888). «Sur le rôle du pouvoir absorbant des terres dans la formation des carbonates de soude naturels», *Compt. Rend.* 106, 459—462 259
- Mooers C. A., MacIntire W. H. and Young J. B. (1927). «The recovery of soil nitrogen under various conditions as measured by lysimeters of different depths», *Tenn. Univ. Agric. Expt. Sta. Bull.* 138, pp. 30
- Müller P. E. (1887) *Studien über die natürlichen Humusformen* Berlin (Julius Springer) 244, 454
- Müntz A. and Coudon H. (1893). «La fermentation ammoniacale de la terre», *Compt. Rend.* 116, 395—398 286
- Müntz A. and Lainé E. (1906). «Rôle de la matière organique dans la nitrification», *ibid.* 142, 430—435 290
- (1907), «Recherches sur la nitrification intensive et l'établissement des nitrifieres a hauts rendements», *Ann. Inst. Nat. Agronomique*, II, 6, 15—143 290, 291
- Müntz A. and Gaudichon H. (1912). «Le reveil de la Terre», *Compt. Rend.* 154, 163—168 377

- Nagaoka M. (1904). «On the behaviour of the rice plant to nitrates and ammonium salts», Bull. Coll. Agric. Tokyo 6, No 3, 285 . . . . . 324
- Neubauer Hugo (1905). «Ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung von Phosphorsäure, Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium in salzsauren Bodenauszügen», Landw. Versuchs-Stat., 63, 141—149 . . . . . 492
- Neubauer H. and Schneider W. (1923). «Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehalts der Böden», Zeitschr. f. Pflanzenernähr., A. 2, 329—362 . . . . . 76, 412
- Neustruev S. S. (1927). «Genesis of soils», Russian Pedological Investigations, 3, Acad. Sci. Leningrad.
- Nobbe F. and Hiltner L. (1893). «Wodurch werden die knöllchenbesitzenden Leguminosen befähigt, den freien atmosphärischen Stickstoff für sich zu verwerten», Landw. Versuchs-Stat., 42, 459—478 . . . . . 309
- (1895). «Versuche über die Biologie der Knöllchenbakterien der Leguminosen, insbesondere über die Frage der Artenheit derselben», *ibid*, 45, 1—27 . . . . . 309
- (1896). «Ueber die Anpassungsfähigkeit der Knöllchenbakterien ungleichen Ursprungs an verschiedene Leguminosengattungen», *ibid*, 47, 257—268 . . . . . 306, 309
- Norman A. G. (1929). «The biological decomposition of plant materials. I. The nature and quantity of the furfuraldehyde-yielding substances in straw», Biochem. Journ. 23, 1353—1366 (Roth. Mem. 15)
- (1929). «II, The role of the furfuraldehyde-yielding substances in the decomposition of straws», *ibid*, 23, 1367—1384 (Roth. Mem. 15) .
- (1930). «III. Physiological studies in some cellulose-decomposing fungi», Ann. Appl. Biol. 17, 575—613 (Roth. Mem. 15) . . .
- (1931). «IV. The biochemical activities on straws of some cellulose-decomposing fungi», Ann. Appl. Biol. 18, 244—259 (Roth. Mem. 15) . . . . . 279
- Oden Sven (1919). «Die Huminsäuren», Kolloidchem. Beih. II, 75—260 . . . . . 186, 190, 196, 198
- Oden Sven and Wilkström T. (1931). «Electrodiagnosis applied to soils», Medd. Centralanst. f. försök, p. jordbruk, No 392, pp. 65 (Swedish, with English summary)
- (1915). «Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse», Internat. Mitt. Bodenkunde, 5, 257—311, also Kolloid, Zeitsch. 1920, 26, 100—121 (1915), «On the size of the particles in deep sea deposits», Proc. Roy. Soc. Edin. 36, 219—236, (1911), «Studien über Tone. II. Automatisch registrierbare Methode zur mechanischen Bodenanalyse», also Bull. Geol. Institut. Upsala, 1918, 16, 15—64 . . . . . 151, 498
- Olsen C. (1923). «Studies on the hydrogen-ion concentration of the soil and its significance to the vegetation, especially to the natural distribution of plants», Compt. Rend. Lab. Carlsberg, 15, 1 . . . . . 428
- Omelianski W. (1899). «Ueber die Nitrifikation des organischen Stickstoffs», Centr. Bakt. Par. Abt. II, 5, 473—490 288, 290, 292
- (1899). «Ueber die Isolierung des Nitrifikationsmikroben aus dem Erdboden», Centr. Bakt. Par. Abt. II, 5, 537—549; (1902), 8, 785—787, 9, 63—65, 113—117 . . . . . 290—292
- (1895). «Sur la fermentation de la cellulose» Compt. Rend. 121. 653—655; (1897), 125, 970—975 and 1131—1133 . . . . . 284
- Osterhout W. J. V. (1906). «On the importance of physiolo-

- gically balanced solutions for plants», *Bot. Gaz.* 42, 127—134; (1907) 44, 259—272; 1909, 47, 148 . . . . . 107
- Page H. J. (1930). «Studies on the carbon and nitrogen cycles in the soil; I. Introductory», *Journ. Agric. Sci.* 20, 455—459 (introducing a group of papers jointly with Arnold, Du Toit and Hobson. See also Du Toit, M. M. S. and Page H. J.) . . . 185, 187, 189
- Palissy Bernard (1563). «Recepte véritable par laquelle tous les hommes de la France pourront apprendre à multiplier et augmenter leurs trésors»; (1580), *Un Traité de la Marne*; (1580), *Discours admirables de la Nature des Eaux et Fontaines*, etc. 9
- Pickering, Spencer U. (1903) and the Duke of Bedford. Reports of the Woburn Experimental Fruit Farm, London; especially 3rd Report, 13th Report, 1911, and 14th Report, 1914 . 431
- The results are summarised in:
- The Duke of Bedford, and Pickering, Spencer H. (1919), *Science and fruit growing*. Macmillan & Co.
- Lowry T. M. and Russel E. J. (1927). «The scientific work of the late Spencer Pickering», *Royal Soc. London*.
- Prescott J. A. (1931). «The soils of Australia in relation to vegetation and climate», *Counc. Soc. Ind. Res. Australia, Bull.* 52, pp. 82.
- Prianishnikov D. N. (1922). «Ueber den Aufbau und Abbau des Asparagins in den Pflanzen», *Ver. deut. bot. Ges.* 40, 242—248; (1924), «Asparagin und Harnstoff», *Bioch. Zeit.*, 150, 407—423; (1922), «Das Ammoniak als Anfangs- und Endprodukt des Stickstoffumsatzes in den Pflanzen», *Landw. Versuchs-Stat.* 99, 267—286 . . . . . 62, 63, 67
- (1929), «Die Einheitlichkeit der Prinzipien im Stickstoffwechsel bei Pflanzen und Tieren», from «Die Naturwissenschaft in der Sowiet-Union», publ. by the Deut. Gesells. zum Studium Osteuropas, 1929, pp. 51 . . . . . 63
- Priestley, Joseph (1775). «Experiments and observations on different kinds of air», London . . . . . 15
- Ramann E., «*Bodenkunde*», Berlin, 1911, 1920 . . . 269, 337, 388
- (1928), «*Evolution and classification of soil*», trans. by C. L. Whittles, Cambridge.
- Raumer E. von and Kellermann Ch. (1880). «Ueber die Function des Calciums im Leben der Pflanze», *Landw. Versuchs-Stat.* 25, 25; Raumer, von (1883) «Calcium und Magnesium in der Pflanze», *ibid.* 29, 253—280 . . . . . 91
- Recueil de mémoires et d'observations sur la formation et sur la fabrication du salpêtre par les commissaires nommés par L'Académie pour le jugement du prix du salpêtre, Paris, 1776 290
- Reed H. S. (1907). «The value of certain nutritive elements to the plant cell», *Ann. of Botany*, 21, 501—543. Subsequently developed by Reed, H. S., and Haas, A.R.C. . . . . 84
- Remy Th. (1902). «*Bodenbakteriologische Studien*», *Centr. Bakt. Par. Abt. II*, 8, 657—662 . . . . . 329
- Richardson A. E. V. (1923). «The water requirements of farm crops», *Journ. Victoria Dept. Agric.* 21, 193, 257, 321, 385, 449 44
- Richardson A. E. V. and Trumble H. C. (1928). «The transpiration ratio of farm crops and pasture plants in the Adelaide district», *South Australia Journ. of Dept. of Agric.* 32, 224—244. . . . . 40, 41
- Robinson G. W. (1922). «A new method for the mechanical analysis of soils and other suspensions», *Journ. Agric. Sci.* 12, 306—321 . . . . . 495



- (1930), «The development of the soil profile in North Wales as illustrated by the character of the clay fractions», *ibid.* 20, 618—639 486
- R o m m e l l L. G. (1922). «Luftväxlingen i marken som ekologisk faktor». Medd. fr. Statens Skogsförsöksanstalt, 19, 125—360 284, 388
- (1928), «Studier över kolsyrehushållningen i mossrik tallskog», *ibid.* 24, 1—56 (German summaries) 274, 388
- R u s s e l l E. J. (1905). «Oxidation in soils and its connection with fertility», *Journ. Agric. Sci.* 1, 261—279 379
- (1931). «Artificial fertilizers in modern agriculture», *Min. Agric. Bull.* No 28, pp. 202 75, 89
- R u s s e l l E. J. and A p p l e y a r d A. (1915). «The atmosphere of the soil. Its composition and the causes of variation», *Journ. Agric. Sci.* 7, 1—48. (Roth. Mem. 9) 386, 388, 390, 440
- (1917), «The influence of soil conditions on the decomposition of organic matter in the soil», *Journ. Agric. Sci.* 8, 385—417. 374, 377 (Roth. Mem. 10)
- R u s s e l l E. J. and D a r b i s h i r e F. V. (1907). «Oxidation in soils and its relation to productiveness. Part. II. The influence of partial sterilisation», *ibid.* 2, 305—326 112, 379, 381
- R u s s e l l E. J. and H u t c h i n s o n H. B. (1909). «The effect of partial sterilisation of soil on the production of plant food», *ibid.* 3, 111—144 (Roth. Mem. 9) 288, 291, 348
- (1913), Part. II. «The limitation of bacterial numbers in normal soils and its consequences», *ibid.* 5, 152—221 371, 380
- R u s s e l l E. J. and P e t h e r b r i d g e F. R. (1912). «Sickness in soil: II. Glass-housesoils», *Journ. Agric. Sci.* 5, 86—111; (1912) «Partial sterilisation of soil for glass-house work», *Journ. Bd. Agric.* 18, 809—826; (1913), 19, 809—827; (1914), 21, 97—116 (Roth. Mem. 9) 414, 434
- R u s s e l l E. J. and R i c h a r d s E. H. (1920). «The washing out of nitrates by drainage water from uncropped and unmanured land», *Journ. Agric. Sci.* 10, 22—43, (Roth. Mem. 10) 313—314
- S a l i s b u r y E. J. (1916), «The oak, hornbeam woods of Hertfordshire», *Journ. Ecol.* 4, 83—117; (1918), 6, 14—52 424
- (1920), «The significance of the calcicolous habits», *Journ. Ecol.* 8, 202—215 449
- (1922), «Stratification and hydrogen-ion concentration of the soil in relation to leaching and plant succession, with special reference to woodlands», *Journ. Ecol.* 9, 220—240 447
- (1922), «The soils of Blakeney Point, a study of soil reaction and succession in relation to the plant covering», *Ann. Botany*, 36, 391—431 447
- S a l t e r R. M. and M c L i v a i n e T. C. (1920). «Effect of reactions of solution on germination of seeds and on growth of seedlings», *Journ. Agric. Res.* 19, 73—95 109
- S a n d o n H. (1927). «The composition and distribution of the protozoan fauna of the soil». Oliver & Boyd, pp. 237 353
- S a u s s u r e T h é o d o r e d e (1804). «Recherches chimiques sur la végétation», Paris. 10 et seq
- S c h l o e s i n g T h. (1866 et seq.). «Analyse des eaux contenues dans les terres arables», *Compt. Rend.* 63, 1007 and (1870) 70, 98—102 222, 415
- S c h l o e s i n g T h. and M ü n t z A. (1877). «Sur la nitrification par les ferments organisés», *Compt. Rend.* 84, 301—303; (1877), 58, 1018—1020, and (1878), 86, 892—895 29
- (1883), «Leçons de chimie agricole».
- S c h l o e s i n g T h. (1889), fils «Sur l'atmosphère confinée dans le sol», *Compt. Rend.* 109, 618—620, 673—676 386



- Schloesing Th, fils and Laurent E. (1892). «Recherches sur la fixation de l'azote libre par les plantes», Ann. de l'Institut Pasteur, 6, 65—115 . . . . . 31
- Schrader H. (1922). «Ueber die Autoxydation des Lignins, der natürlichen Humusstoffe und der Kohlen und ihre Beeinflussung durch Alkali», Brennstoff-Chemie, 3, No 11, 161—167 . . . . . 278
- Schreiner O. and Reed H. S. (1907). «Certain organic constituents of soil in relation to soil fertility», U. S. Dept. of Agric. Bur. of Soils, Bull. No 47 . . . . . 433
- Schreiner O. and Shorey E. C. (1910). «Chemical nature of soil organic matter», ibid. Bull. No 74 . . . . . 186, 414
- Schreiner O. and Skinner J. J (1912). «Nitrogenous soil constituents and their bearing on soil fertility». U. S. Dept. of Agric. Bur. of Soils. Bull. 87 . . . . . 414
- Schübler Gustav (1838). «Grundsätze der Agrikulturchemie in näherer Beziehung auf land- und forstwirtschaftliche Gewerbe». Leipzig . . . . . 19, 20
- Schultz-Lupitz (1881). «Reinerträge auf leichtem Boden», Landw. Jahrb. 10, 777—848. . . . . 317—467
- (1883), «Die Verbilligung der landwirtschaftlichen Produktion». (Parey) . . . . . 467
- Scrivenor J. B. (1931). «The geology of Malaya», London . . . . . 248, 249
- Seelhorst C. von and Tucker M. (1898). «Der Einfluss, welchen der Wassergehalt und der Reichtum des Bodens auf die Ausbildung der Wurzeln und der oberirdischen Organe der Haferpflanze ausüben» Journ. f. Landw. 46, 52—63 (see also Seelhorst and J. Wilms, ibid. 413—416) . . . . . 45, 127
- Seelhorst C. von (1911). «Die Bedeutung des Wassers im Leben der Kulturpflanzen», ibid, 59, 259, 291 (Contains a summary of his work on this subject up to 1911) . . . . . 45
- Seelhorst C. von and Wilms J. (1901). «Untersuchungen über Drainage-Wasser von Oberamtmann Creydt-Harste», ibid., 49. 251—275 . . . . . 222
- Senebier Jean (1782). «Mémoires physyco-chimiques», Geneva . . . . . 16
- Shantz H. L. and Marbut C. E. (1913). The vegetation and soils of Africa», New-York . . . . . 247
- Sharp L. T. and Hoagland D. R. (1916). «Acidity and adsorption in soils as measured by the hydrogen electrode», Journ. Agric. Res. 7, 123—145 (see also Soil. Sci. 1919, 7, 197—200) . . . . . 181
- Shull V. A. (1916). «Measurement of the surface forces in soils», Botanical Gazette, 62, 1—31 . . . . . 393
- Shutt F. T. (1910). Some characteristics of the Western Prairie soils of Canada», Journ. Agric. Sci. 3, 335, 357 . . . . . 315
- Sievers F. J. and Holtz H. F. (1926). «The significance of nitrogen in soil organic matter relationships», Washington Sta. Coll. Agric. Expt. Sta. Bull., 206, pp. 43 . . . . . 311
- Sigmond A. A. J., de (1927). «Hungarian alkali soils and methods of their reclamation», Univ. of California Agric. Expt. Sta. Berkley, Special publication, pp. . . . . 142, 238, 265
- Snyder Harry (1897). «Effect of rotation of crops upon the humus content and the fertility of soils, Production of humus from manures», Minnesota Bull, 53 . . . . . 315
- Sprengel Karl (1826). «Ueber Pflanzenhumus, Humus-säure u. humussäure Salze», Kastners Arch. ges. Naturlehre (Nürnberg), 8, 145—220 . . . . . 184
- (1832), «Chemie für Landwirthe, Forstmänner und Cameralisten», Göttingen . . . . . 20

- Stebutt A. (1930). «Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde». Borntraeger, Berlin, pp. 518 . . . . . 233
- Steinriede F. (1921). «Anleitung zur mineralogischen Bodenanalyse unter Anwendung der neueren petrographischen Untersuchungsmethoden. Leipzig (2nd ed). . . . . 148
- Stoklasa J. and Doerell E. G. (1926). «Handbuch der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens». Berlin (This includes most of Stoklasa's results)
- Stoklasa Julius and Ernest Adolf (1905). «Ueber den Ursprung, die Menge und die Bedeutung des Kohlendioxyds im Boden», Centr. Bakt. Par. II, 14, 723-736 . . . . . 51, 274, 298
- Stremme H. (1929). General soil map of Europe, Scale 1 to 10 million. English trans. of text, W. G. Ogg. Internat. Soc. of Soil Science . . . . . 482
- (1931), «Die mineralischen Eigenschaften der Böden», Handbuch der Pflanzenernährung u. Düngerlehre. Ed. by F. Honcamp, Bd. I., 424—446 . . . . . 486
- Stutzer A. (1900). «Die Bildung von Bakteroiden in künstlichen Nährböden», Mitt. Landw. Institut. Breslau, 57, and Centr. Bakt. Par. II, 1901, 7, 897—912 . . . . . 304
- Subrahmanyan V. (1927 et seq.). «Biochemistry of waterlogged soils», . . . . .
- Part. I. «The effect of water logging on the different forms of nitrogen, on the reaction, on the gaseous relationships, and on the bacterial flora». Journ. Agric. Sci. 17, 429—448 (Roth. Mem. 13); Part. II. «The presence of a deaminase in waterlogged soils and its rôle in the production of ammonia», ibid 17, 449—467 (Koth, Mem. 13); Part. III. «Decomposition of carbohydrates with special reference to formation of organic acids», ibid 19, 627—648 (Koth. Mem. 14) . . . . . 288, 323
- Tamm O. (1920). «Markstudier i der Nordvenska Barrskogssomradet». («Soil studies in the pinewoods of North Sweden»). Medd. Statens Skogsförs, 17, 49—300 (long German summary) (1931), «Studier över jordmanstyper och deras förhållande till markens hydrologi i nordvenska skogsterränger», ibid. 26, 163—408 (German summary) . . . . . 227, 230
- Transley A. G. (1911), and the members of the Central Committee for the Survey and Study of British Vegetation, «Types of British Vegetation», Cambridge . . . . . 458
- Tenant, S. M. (1799). «On different sorts of lime used in agriculture», Phil. Trans, 305—314. . . . . 113
- Thompson H. S. (1850). On the absorbent power of soils, Journ. Roy. Agric. Soc. II, 68—74 . . . . . 143
- Thornton H. G. and Gangulee N. (1926). «The life-cycle of the nodule organisms», «Bacillus radicolica (Beij.) in soil and its relation to the infection of the host plant», Proc. Roy. Soc. B. 99, 427—451 . . . . . 304, 305, 306, 369, 374
- Thornton H. G. (1922). «On the development of a standardized agar medium for counting soil bacteria, with especial regard to the repression of spreading colonies.» Ann. Appl. Biol. 9, 421—422 (1930), «The influence of the host plant in inducing parasitism in lucerne and clover nodules», Proc. Roy. Soc. B. 106, 110—122 . . . . . 343, 347
- Topley W. (1872). «On the agricultural geology of the Weald», Journ. Roy. Agric. Soc. 8, 2nd ser., 241—267 . . . . . 307
- Truog E. (1918). «Soil acidity; its relation to the growth of plants», Soil Sci. 5, 169—195 . . . . . 483
- Tulaikov N. (1929) «Use of water by cultivated plants in the field», Journ. Agric. Sci, 19, 1—16 . . . . . 432

- Tull Jethro (1731). «The horse hoeing industry», London 12
- Tuorila P. (1928). Ueber Beziehungen zwischen Koagulation, elektrokinetischen Wanderungsgeschwindigkeiten, Ionenhydratation und chemischer Beeinflussung», *Kolloidchem. Beih.* 27, 44—188. 154, 162
- Vilensky D. G. (1930). «Saline and alkali soils of the Union of Socialist Soviet Republics», (in English) *Pedology*, 4, 32—86. 240, 257
- Ville Georges (1879). «On artificial manures, their chemical selection and scientific application to agriculture», trans. by W. Crookes. London 26
- (1853 and 1857) «Recherches expérimentales sur la Végétation». 26
- Voelcker A. (1871). «On the productive power of soils in relation to the loss of plant food by drainage», *Journ. Chem. Soc.* 24, 276—297. 222
- Voelcker J. A. (1916). «Report on the pot culture experiments at Woburn Experimental Station», *Journ. Roy. Agric. Soc.* 77, 251—254. 102
- (1909), lithium and potassium, *ibid.* 70, 388—395. 91
- (1916), sodium, *ibid.* 77, 251—264. 90, 98
- (1910), magnesium, *ibid.* 71, 343—350. 113
- (1915), strontium, *ibid.* 76, 244—363. 93
- (1918), ferrous and ferric iron, *ibid.* 79, 277—284. 91
- (1912), lithium, *ibid.* 73, 314—338. 91
- Waksman, Selman A. (1916). «Studies on soil protozoa», *Soil Sci.* 1, 135—152; (1916), 2, 363—376. 351
- (1916) «Soil fungi and their activities», *ibid.* 2, 103—155 (See also *ibid.*, 1918, 6, 137—155). 336
- (1924), «Influence of microorganisms upon the carbon-nitrogen ratio in the soil». *Journ. Agric. Sci.* 14, 555—562. 338, 350
- Waksman S. A. and Curtis R. E. (1916). «Actinomyces in soil», *Soil Sci.* 1, 99—134; and 1918, 6, 309 (See also *ibid.* 1919, 8, 71—207). 341
- Waksman S. A. and Skinner C. E. (1926). «Microorganisms concerned in the decomposition of celluloses in the soil», *Journ. Bact.* 12, 57—84. 281, 284
- Waksmann S. A. and Starkey R. L. (1923). «Patrial sterilisation of soil, microbiological activities and soil fertility». *Soil Sci.* 16, 137—156, 246—268, 343—357. 380, 383
- Waksman S. A. and Tenney F. G. (1927 et seq.). «The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil», Part. I. *Soil Sci.* 24, 275—283; Part. II, *ibid.* 24, 317—333; Part. III, *ibid.* 26, 155—171. 279, 280, 338
- Waksmann S. A. (1927). «Principles of soil microbiology», New-York, pp. 897 (includes the whole of his work to date). 284, 310
- Waksman S. and Starkey R. L. (1931). «The soil and the microbe» Wiley (gives a good general account of the subject).
- Wallace T. (1925 et seq.). «Experiments on the manuring of fruit trees», I, *Journ. Pomology*, 1925, 4, 117—140; II. *ibid.* 1925, 5, 1—33; III. «The effects of deficiencies of potassium, calcium and magnesium, respectively, on the contents of these elements, and of phosphorus in the shoot and trunk regions of apple trees», *ibid.* 1930, 8, 23—34. 63, 70—72. 84, 85, 88, 92, 93, 99, 107.
- Wallerius, Johann Gotschalk (1761). *Agriculturae Fundamenta Chemica: Akerbruket Chemiska Grunder.* Upsala. 14



- Ward Marshall (1887). «On the tubercular swellings on the roots of *Vicia Faba*». Phil. Trans. B, 178, 539—562 . . . . . 306
- Warrington K. (1923). «The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants». Ann. Bot, 37, 629—672 (Roth. Mem. 12) . . . . . 101
- Warrington R. (1881). «On the amount and composition of the rain and drainage waters collected at Rothamsted», Journ. Roy. Agric. Soc. 42, 241, 311 and (1882) 43, 1
- (1878), «On nitrification» Part. I. Journ. Chem. Soc. 33, 44—51; (1879). Part. II, *ibid.* 35, 429—456; (1884), Part. III, *ibid.* 45, 657—672; (1891), Part. IV, *ibid.* 59, 484—529 . . . . . 29, 288, 290
- Warming E. (1909). «Oecology of plants» . . . . . 52
- Way J. T. (1850). «On the power of soils to absorb manure», Journ. Roy. Agric. Soc. II, 313—379; (1852), *ibid.* 13, 123—143 . . . . . 142
- (1856), «On the composition of the waters of land drainage and of rain», *ibid.* 17, 123—162 . . . . . 28
- Weis Fr. (1929). «Physical and chemical investigations on Danish heath soils (podsoils)», Det. Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Meddelelser, 7, 9, pp. 196 . . . . . 255
- Wheeler H. J. (1891). Rhode Is. Expt. Sta, Third ann. Rept. p. 31, Fourth Rept., et seq . . . . . 204
- Whiting A. L. (1915). «A biochemical study of nitrogen in certain legumes», III, Agric. Expt. Sta. Bull, 179, 471—542 . . . . . 308
- Whitney M. (1892). «Some physical properties of soils in their relation to moisture and crop distribution», U. S. Weather Bureau, Bull. 4— . . . . . 33, 414, 433, 482
- (1906), «Soil Fertility», U. S. Dept. Agric. Farmer's Bull. No 257 . . . . . 33, 414, 433, 482
- Whitney M. and Cameron F. (1903). «The chemistry of the soil as related to crop production» U. S. Dept. Agric. Bureau of Soils, Bull. 22 . . . . . 33, 414, 433, 482 417
- (1904), «Investigations in soil fertility», *ibid.*, Bull 23 . . . . . 36, 37
- Widtsøe J. A. (1912). «The production of dry matter with different quantities of irrigation water», Utah Agric. Coll. Expt. Sta. Bull, 116, pp. 64 . . . . . 36, 37
- Bulls 115—120 are concerned with different aspects of the same experiment.
- (1913), «Dry Farming», Macmillan, New-York . . . . . 398
- Widtsøe J. A. and Stewart R. (1911). «The chemical composition of crops as affected by different quantities of irrigation water», Utah Agric. Expt. Sta. Bull, 120, 205—240 . . . . . 36, 37, 47
- Wiegner Georg (1912). «Zum Basenaustausch in der Ackererde», Journ. f. Landw. 60, 111—150, 197—222
- (1920), «Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung», 5th ed., Dresden, pp. 98 . . . . . 233
- (1931), «Coagulation», Journ. Soc. Chem. Ind. 50, 55T—62T. «Some physico-chemical properties of clays», *ibid.* 50, 65T—71T and 103T—112T. A summary of all of Wiegner's results 173 et seq.
- Wilfarth H., Römer H. and Wimmer G. (1905). «Ueber die Nährstoffaufnahme der Pflanzen in verschiedenen Zeiten ihres Wachstums», Landw. Versuch-Stat. 63, 1—70 . . . . . 168, 179
- An English translation has been published. . . . . 436
- Winogradsky, S. (1890), «Recherches sur les organismes de la nitrification», Ann. de l'Inst. Pasteur 4, 1-e Memoire, 213—231; 2-e Memoire, 257—275; 3-e Memoire 760—771 . . . . . 30, 280
- (1895), «Recherches sur l'assimilation de l'azote libre de l'atmosphère par les microbes», Archives des Sci. Biol. St. Petersburg, 3, 297—352 . . . . . 345



- (1902), «Closotridium Pastorianum, seine Morphologie und seine Eigenschaften als Buttersäureferment», Centr. Bact. Part. II, 9, 43—54, 107—112 . . . . . 295
- (1925), «Etudes sur la microbiologie du sol. I. Sur la méthode» Ann. Inst. Pasteur, 39, 299—354 . . . . . 345
- (1926), «Etudes sur la microbiologie du sol. II. Sur les microbes fixateurs d'azote», Ann. Inst. Pasteur, 40, 455—521
- (1928). III. With. J. Ziemecka. «Sur le pouvoir fixateur des terres», ibid. 42, 36—62 . . . . . 379
- (1928), «Sur l'oxydation de la cellulose dans le sol», Compt. Rend. 187, 326—330.
- Winogrădsky S. and Omeliansky W. (1899). «Ueber den Einfluss der organischen Substanz auf die Arbeit der nitrifizierenden Mikroben». Centr. Bakt. Par. II, 5. 329, 429 . . . . . 289
- Wollny E. (1884). «Ueber die Thätigkeit mehrerer Organismen in der Ackererde», Bied Zentr. Agric. Chem. 13, 796—814 . . . . . 32
- (1897), «Die Zersetzung der organischen Stoffe» (A summary of Wollny's work. For the papers by himself and his students see his Journal «Forschungen auf dem Gebiete der Agricultur-Physik», 1878—1898) . . . . . 32, 403
- Woodward J. (1699). «Thoughts and experiments on vegetation» Phil. Trans. 21, 382, 392 . . . . . 12
- Woronin M. (1866). «Ueber die bei der Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und der gewöhnlichen Garten-Lupine (*Lupinus mutabilis*) auftretenden Wurzelschwellungen», Mémoires Acad. Sci. St. Petersburg (7) 10, № 6 . . . . . 31
- Wrangell M. von (1926), I, «Ueber Bodenphosphate und Phosphorsäurebedürftigkeit», Landw. Jahrb. 63, 627—668; II, «Kolorimetrische Methode zur schnellen Bestimmung von Phosphorsäure in sehr verdünnten Lösungen», ibid, 63, 669—676 . . . . . 412
- Wrangell M. von und Koch E. (1926). III. «Die Löslichkeitsgesetze in ihrer Anwendung auf tertiäre Phosphate», ibid. 63, 677—706 . . . . . 412
- Захаров С. Е. (1927). «Достижения русской науки в морфологии почв». Русские исследования по почвоведению, изд. Академии Наук, Ленинград

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсорбция почвы см. Поглощение.
- Автокаталитическое выражение для роста растений, 134.
- Азот, баланс его в разных севооборотах, 19.
- Азот в почвах, баланс его в почве,
  - — — верхний и нижний пределы его, 318.
  - — — девственные дикие почвы, 359 и след.
  - — — круговорот его, 326.
  - — — определение его, 488.
  - — — отношение общего азота к потерям от прокаливанию, 481.
  - — — отношение общего азота к растворимому, 210.
  - — — эффект почвенных условий на изменение азотистых соединений, 311.
- Азот газообразный, предполагаемая ассимиляция его растениями, 30, 32.
- голодание им, симптомы, 63.
- и микроорганизмы, фиксация его бобовыми растениями, 31, 304, 308.
- — — фиксация его водорослями (предполагаемая), 334.
- — — фиксация его свободно живущими бактериями, 31, 311 и след.
- — — фиксация его через Rhoma, 340.
- и питание растений, 23 и след. 28 и след., 63 и след. 408.
- — — количественное изучение, 32.
- — — отношение к питанию кальцием, 409.
- — — отношение к снабжению водой, 127.
- — — различие между бобовыми и небобовыми растениями, 30.
- и почвы, выделение газообразного азота из почвы, 393, 312.
- — — фиксация в полевых почвах, 323 и след.
- Азот и растения, питание растений, отношение к калийному питанию, 81 и след., 417.
- и растения, содержание азота в зерне, эффект карбоната и окиси кальция, 190.
- — — содержание азота в зерне, эффект магнизиальных солей, 54.
- — — содержание азота в зерне, эффект снабжения водой, 46.
- — — источники его для растений, 20, 30, 32.
- Азотистые соединения в почве, количество их, 235.
- — — разложение их в почве, 286.
- Азотистые удобрения, время внесения их, 61.
- Азот, количество его, усваиваемое растениями из азотистых удобрений, 67.
- необходимость его для роста растений, 17.
- Азотобактер, 296 и след.
- активность в естественных условиях, 299.
- и определение почвенной кислотности, 379.
- фиксация его в почве, отношение к органическим компонентам, 301.
- Азотофиксирующая сила почвы, 330.
- Азот, потери его в заболоченных почвах, 323.
- — — в засеянных почвах 311 и след., 321 и след.
- прирост его в почве, 314 и след.
- содержание его в почве, 209, 277.
- содержание его в почве Бродбока (таблица), 203.
- содержание его в почве засушливых районов, 320.
- содержание его в тропических почвах, 277.
- Азот, эффект его на внешний вид роста, 63.

- Азот, эффект его на рН клеточного сока, 110.  
 — — на состав растения, 66.  
 Актиномицеты в почве, 340.  
 Алюминий, окись, см. Глинозем.  
 Алюминий, соединения его в кислых почвах, 429.  
 — — в почве, 216.  
 — — эффект на рост растений, 96, 113.  
 Амебы в почве, см. Протозоа.  
 Аммиак в почве, количество его, 210.  
 — количественное превращение его в нитраты в почве, 288.  
 — образование его, 286.  
 — определение его, 429.  
 — питательная ценность его для растений, 63.  
 — поглощение его почвой, 143.  
 — усвоение его организмами почвы, 276.  
 Аммонификация в почвах, частично вызываемая энзимами, 288, 323.  
 — в почвах, эффект на реакцию почвы, 373.  
 — в почвах, эффект, организмы, вызывающие ее.  
 Аммонифицирующ. способность, 330.  
 Аммония сульфат, см. Сульфат аммония, 288.  
 Анализ почвы, интерпретация его, 471 и след.  
 Анализ растений, 14.  
 Анионы, взаимодействие с почвой, 201.  
 Антагонизм ионов, 104.  
 Апатит в почве, 212.  
 Аридные районы и пр., см. Засушливые.  
 Аспарагин и питание растений, 62.  
 Ассимиляция  $\text{CO}_2$  темп ее, 132.  
 —  $\text{CO}_2$  эффект температуры на темп ее, 56.  
 Атмосфера индустриальных городов, вредный эффект ее, 111.  
 Ацидоидная часть глины, 163.  
 Бактериальная флора в почве, 341.  
 Бактерии в почве, активность их, отношение ее к численности их, 371.  
 — — — активность их, эффект реакции почвы, 337, 346, 347.  
 — — — активность их снабжения водой и температура.  
 — — — классификация их, 341.  
 — — — отношение к плодородию почвы, 376.  
 — — — открытие их, 30.  
 — — — скорость движения, 374.  
 Бактерии в почве, численность их, 343, и след. 369.  
 — — — численность их, когда они присутствуют одни и в присутствии амеб, 369.  
 — — — численность их, методы определения, 382, 498.  
 — — — численность их, отношение к протозоа, 355, 309.  
 — — — численность их, сезонные колебания, 343.  
 — — — численность их, эффект на органическое вещество, 246, 300, 324, 363.  
 — — — численность их, эффект на реакцию почвы, 372.  
 — и питание растений, 32.  
 — разложение целлюлозы ими, 231.  
 — сравнение с грибами по ассимиляции азота, 350, 363.  
 Бактериология почвы, начало ее, 27.  
 Бактериотоксины, предполагаемое присутствие их в почве, 434.  
 Бактериофаг, 350.  
 Бактериоиды, 31, 307.  
 Бария соли, см. Соли бария.  
*Bacillus radicola*, см. Клубеньковые бактерии.  
 Беспозвоночная фауна в почве, 359.  
 Бекониянский метод, см. Метод Бекона.  
 Бензеновое кольцо, см. Феноловое кольцо.  
 Биотические условия в почве 384 и след.  
 Блэки, сообщество растений его, 447.  
 Бобовые растения и почвенный азот, 308, 317.  
 — — — применение их для улучшения почвы, 318.  
 — — — симбиоз их с микроорганизмами, 31, 304.  
 — — — эффект калийных солей на них, 85.  
 Богатые почвы, потеря азота в них, 315.  
 Боксит, 243.  
 Болезнетворные организмы в почве, 336, 641.  
 Болезни от недостатка питательных веществ в почве, 36, 428.  
 — растений, эффект снабжения корней воздухом, 387.  
 — — эффект снабжения корней питательными веществами, 64, 83, 95, 96.  
 Болотные почвы, 323 и след.

- Болотные почвы, микроорганическая активность в них, 339, 361, 373, 458.  
 — образование их, 457 и след.  
 — характеристика растительности их, 457 и след.  
 Болотный газ, см. Метан.  
 Больные почвы, 434.  
 Боронование, эффект его на почву, 397, 404; см. также Обработка.  
 Бор, эффект на бобовые растения, 307.  
 — на рост растений, 101, 113.  
 «Брекланд», пустошные земли в Норфолке, 463.  
 Бурье и серые лесные земли, 241, 244 и след.  
 Буферное действие, 177.  
 — глины, 182.  
 — гумуса, 146.  
 Буш, болезнь, 95.  
 Ванилин, разложение его в почве, 185.  
 Вегетационные опыты, метод их, 14.  
 Вереск, симбиоз его с микоризой, 340.  
 Вересковые пустоши, образование их, 458.  
 — освоение их, 255;  
 Верховые болота, 457.  
 Взрывчатые вещества, употребление их при обработке почвы, 269.  
 Вино, отношение между качеством его и содержанием фосфатов, 80.  
 Влажность и пути повышения ее в почве, 397.  
 — эквивалент ее, 332.  
 — эффект ее на численность бактерий, 349.  
 Внешний вид растения, изменения его при снабжении водой, 45, 56.  
 Вода в почве и соответствующие коэффициенты, 334.  
 — способы и скорость движения ее, 391.  
 Вода, действие ее на почву, 221 и след.  
 — микроорганизмы, эффект на бактерии, 349.  
 — рост растений, 26.  
 Вода, действие ее на почву и внешний вид растений, 45, 56.  
 — ее на почву и созревание растений, 45.  
 — ее на почву и эффект на химический состав растений, 46.  
 — зависимость снабжения ею от склонов, 444.  
 — и рост растений, эффект температуры, снабжения водой и питательными веществами, 43 и след.  
 Вода, испарение ее из почвы, 393.  
 — как главная пища растений, 10.  
 — потребность растений в ней, 38, 40 и след.  
 — снабжение ею в почве, 391 и след.  
 — снабжение ею и интерпретация механического анализа, 474.  
 — содержание ее в почвах, эффект глины, 151.  
 — — — эффект гумуса, 191, 397.  
 — — — определение обычными методами, 488.  
 — — — сила, с которой вода удерживается почвой, 393.  
 — — — эффект микроорганизмов на снабжение ею, 371.  
 — — на рост растений, количественное изучение, 127.  
 — на рост растений отношение к эффективности удобрений, 49, 127.  
 — снабжения ею на рост растений, 36.  
 — — — ею, эффект калийных удобрений, 85.  
 Водные культуры, первоначальные, 12, 26.  
 Водород в почве, 173.  
 Водородная глина, 173.  
 Водородные ионы в соке растений, 39, 413.  
 — концентрация их в почве, 177, 181.  
 — — определение концентрации их в почве, 486.  
 — — отношение концентрации их к количеству присутствующей воды, 178, 179.  
 — — отношение концентрации их к обменным основаниям, 183.  
 — — отношение концентрации их к потребности в известии и общему кальцию, 177.  
 — см. также Кислотность почвы и pH почвы.  
 — эффект их на микроорганизмы, 347, 371.  
 — эффект их на рост растений, 103 и след.  
 Водород, образование его из целлюлозы, 284.  
 Водоросли в почве 382.  
 — симбиоз их с азотобактером, 298.  
 — эффект их при аэрации болотных почв, 323, 333.  
 Воздух в почве, отношение к росту растений, 15, 49.  
 — — снабжение им, 384.



- Воздух в почве, снабжение им корней, влажность его, 49.  
 — — — состав его, 386.  
 Вредные вещества для роста растений, 103 и след.  
 Выветривание почвы, и след. 137.  
 — — изменения во время него, 140 и след.  
 Высушивание почвы, эффект его, 269, 282.  
 — — эффект его на комковатую структуру, 218.  
 — — эффект его на плодородие, 270, 380.  
 — — эффект его на pH, 178.  
 — — эффект его на численность бактерий, 382.  
 Выщелачивание, эффект его на нитраты, 222, 312.  
 Гезира, разбухание почвы при увлажнении, 173.  
 — — содержание азота в почве ее, 277.  
 Гигроскопическая вода в почве, 392.  
 Гигроскопический коэффициент, 294.  
 Гидроксипатит, см. Апатит.  
 Гидроксильные ионы, эффект их на микроорганизмы, 347.  
 — — эффект их на рост растений, Гипс, см. Сульфат кальция, 109.  
 — — применение его на засоленных почвах, 261, 263 и след..  
 Глей, 226, 229.  
 Глина—вода; см. Система.  
 — двойная рефракция ее, 156.  
 — дисперсия ее, 159.  
 — — частиц ее, 160.  
 — исследование ее X-лучами, 156.  
 — кальцевая, наиболее соответствующая плодородию, 173, 217.  
 — кислотная часть ее, 163.  
 — — — ее комбинированный вес, 168.  
 — — — ее силы 169.  
 — — — ее коагуляция 150 и след.  
 — коллоидальные свойства ее, 158, 166.  
 — кристаллическая природа, 156, 166.  
 — натриевая, свойства ее, 174, 235.  
 — нейтральная, все же содержит ионы водорода, 183.  
 — нестойкость ее при обильном выпадении осадков, 167.  
 — обмен оснований в ней, 167.  
 — основная часть ее, 166.  
 — отношение физических свойств к доминирующим катионам, 171.  
 — — отношение химического состава к физическим свойствам, 163 и след.  
 Глина, пластичность ее, 169.  
 — — разбухание ее при ирригации, 173.  
 — — размеры частиц ее, 157.  
 — — свойства ее, 155 и след.  
 — — связь ее с гумусом, 136, 199, 202.  
 — — синтез ее, попытки синтеза, 143, 169.  
 — — суспензии ее в воде, стойкость их, 157, 161.  
 — — физические свойства ее, 163 и след.  
 — — химические свойства ее, 163.  
 — — химический состав ее, 163, 431.  
 — — эффект ее на плодородие почвы, 172.  
 — — — электрического тока на нее, 170.  
 Глинистые почвы, нормальные условия в них, 441.  
 — — отношение к карбонату кальция, 407.  
 — — — снабжение водой в них, 334, 337, 448.  
 — — — характер растительности их, 461 и след.  
 Глинозем, в латеритах, 249.  
 — — передвижение его в почве, 225, 238.  
 Глыбы почвы, 217.  
 Гниение (коррупция)—мать растительности, старинное изречение, 27.  
 Голодные почвы, 464.  
 Горизонты А, В, С, 225.  
 Гравий, 152.  
 Грибные болезни, подверженность растений им и влияние калийных солей, 83.  
 Грибы в почве, 334 и след.  
 — — как образователи гумуса, 280.  
 — — предполагаемое преобладание в кислых условиях, 136.  
 — — разложение целлюлозы ими, 231, 338.  
 — — сравнение с бактериями в отношении усвоения азота, 350, 383.  
 — — эффект частичной стерилизации на них, 380.  
 Грунтовая вода, эффект ее на рост растений, 474.  
 Гумин, 185.  
 Гуминовая кислота, 186, 184.  
 — — — и обмен основаниями, 197.  
 — — — коагуляция ее, 195.  
 — — — содержание азота в ней, 187.  
 — — — эквивалентный вес ее, 198.  
 Гумус и свойства его, и след. 190.  
 — — буферное действие его, 196.  
 — — в почве, разложение его стимулируемое известкованием, 252.  
 — — в лесных почвах, 197.  
 — — дисперсия его, 195.

- Гумус и задержание воды им, 191.  
 — и тип почвы, 253.  
 — как предполагаемая пища растений, 14 и след.  
 — коагуляция суспензий его, 195.  
 — конституция его, 186.  
 — обмен оснований в нем, 197.  
 — образование его в подзоле, 226, 454.  
 — образование его в почве, 279.  
 — образование его, отношение к лигнину, 190, 279.  
 — отношение к рН, 188.  
 — поглощение ионов им, 197.  
 — попытки синтеза его, 189.  
 — растворимый и питание растений, 413.  
 — соединение его с глиной, 196, 199, 202.  
 — составные части растений, из которых он образуется, 278.  
 — типы его, 152.  
 — функция его в питании растений, 14, 18, 21, 414.  
 — химизм его, 184 и след.  
 — эффект его на азотобактер, 297.  
 — — нитрификацию, 290.  
 — — почвенные организмы, 366.  
 — — физические свойства почвы, 191.  
 Гумусовые почвы, характеристика растительности их, 452.  
 Денитрификация, 292 и след.  
 — в заболоченных почвах, 323.  
 Диагностика и симптомы неблагоприятных условий для роста растений, 107.  
 Диффузия в почве: быстрая диффузия воздуха, 387.  
 — — ионов, всегда медленная, 420.  
 Дициан-диамид, вред. эффект его 113.  
 Дождевая вода, кислород, растворенный в ней, 388.  
 — — хлор в ней, 98.  
 Дождевые осадки, количество их в Ротамстеде, 391.  
 — — эффект их в изменении свойств почвы 473.  
 — — эффект их на отзывчивость культур на калийные удобрения, 83.  
 — — эффект их на потребность растений в воде, 43.  
 — — эффект их на пшеничное зерно, 47 и след.  
 — — эффект их на распределение с.-х. культур, 55.  
 Дождевые осадки, эффект их на реак. почвы, 173.  
 — — эффект их на урожай пшеницы, 36, 57.  
 Дождевые черви, 360.  
 — — предполагаемый эффект их на тип гумуса, 454.  
 — — уменьшение числа их при почвенной кислотности, 424.  
 — — эффект на аэрацию почвы, 389.  
 Долины, плодородие их, 445.  
 Доминирующие составные части удобрений, 26.  
 Дренажные воды, количество их в Ротамстеде, 391.  
 — — потери нитратов в них, 222, 312.  
 — — состав их, 222.  
 Дренаж глинистых почв, 463.  
 — почвы, 391, 444.  
 — холодного воздуха, 444.  
 — эффект его на флору, 445.  
 Дзэминаза в почве, 288.  
 Ежа сборная, см. Травы злаковые.  
 Емкость насыщения почвы, 182.  
 Жар, эффект его на поч., 32, 269, 369, 414.  
 Жгутиковые в почве, 353.  
 Железистые карбонаты, биологическое окисление их в почве 350.  
 Железистые подзолы, 226.  
 Железо в ядре глины, 164.  
 — окисление соединений его микроорганизмами, 310.  
 — передвижение соединений его в почве, 142, 225, 228, 231.  
 — роль соединений его в образовании орштейна 268.  
 — роль соединений его в почве 216.  
 — соли его и эффект их на рост растений, 94, 113.  
 Жизненные циклы почвенных организмов, *B. radicicola*, 304.  
 Заболачивание почвы, вредные эффекты его, 52.  
 Заболоченные почвы, атмосфера в них, 360.  
 Завядание, точка его, 399.  
 Закон минимума Либиха, 23.  
 — — Митчерлиха, 119.  
 Замерзание почвы и численность бактерий ней, 349.  
 Замещаемые основания, см. Обменные основания.  
 Заморозки, влияние на них топографических условий, 444.

- Засоленные почвы, см. Щелочные почвы.
- Засушливые районы по сравнению с влажными 253, 319.
- — почвы, биологические отношения их, 373.
  - — взаимоотношения с азотом 319.
  - — потери нитратов из них 320.
  - условия, растения, подходящие к ним 42.
- Затопление почвы морской водой 266.
- Зеленое удобрение 318, 465.
- на рисовых почвах 323.
  - ценность его для засоленных почв 262.
- Земля, предполагаемая основная пища растений 12.
- Зерно, отношение его к соломе, факторы, влияющие на него; снабжение водой 36, 64.
- к соломе, факторы, влияющие на него: фосфаты, 73, состав его, см. Семена.
- Зола, анализ ее, как руководство для удобрения 23, 25.
- растений, как удобрение 10.
- Зольные составные части, влияющие на снабжения водой на них. 46.
- — отношение их к росту растений, 17, 22 см. также Калий.
  - Фосфор, Кальций и т. д.
  - — состав их 18, 41, 46 206.
- Зудервее, освоение его, 266.
- Избегающая известь флора на возвышенных местах 446.
- Известковолюбивая флора, 448.
- на низинных землях, 446.
  - — новых песчаных дюнах, 448.
- Известь-магнезия, отношение их, 94.
- потребность почв в ней, 177, 181, и след. см. Потребность.
  - превращение ее после внесения в почву, 136.
  - эффект ее на подзолах, 262.
  - эффект ее на почву, 18, 13, 181 208, 380.
- Индекс эффективности (Блэкмана) 134.
- Индол, бактериальное окисление его в индиготин, 285.
- Иноккуляция для бобовых растен. 309.
- Интразональные почвы, 245.
- Иодиды, эффект их на рост растений, 99.
- Ирригация, см. Орошение.
- Искусственные удобрения, 23, 25.
- — эффект на почву, 202 и след.
  - — на реакцию почвы, 208.
- Испарение, количество его, из почвы в Ротамстеде, 392.
- Истощение почвы, 476.
- Калий, защита его против выщелачивания с помощью карбоната кальция, 208.
- и азот, эффект взаимодействия их на рост растений, 81.
  - и микроорганизмы, эффект солей его на почвенные бактерии, 310, 376.
  - количество его, усвояемое растениями из почвы, 87.
  - соединения его в почве, 215.
  - — в почве, определение их, 492.
  - экономия его с помощью натриевых солей, 90, 206.
- Калийное голодание, симптомы его 108.
- — эффект его, 81.
- Калийное питание растений, 80 и след.
- — и отношение его к азотистому питанию, 81 и след.
- Калийно-известковый закон Эренберга, 104.
- Калийные питательные вещества в почве, 109.
- Калийные соли, как необходимое питательное вещество, опыты Гельригеля 86.
- как необходимое питательное вещество растений, 14.
  - — эффект их на рост растений, 80.
  - — — — — состав растений, 87.
- Калийные удобрения для песчаных феновых почв, 461.
- — применение их в неблагоприятные сезоны, 81.
  - — применение их для бобовых растений, 85.
  - — применение их на глинистых почвах, 463.
  - — применение их на известковых почвах, 462.
  - — применение их на песчаных почвах, 465.
  - — применение их на феновых почвах, 460.
  - — применение их против болезней растений, 83.
- Калий, сульфат. См. Сульфат калия, Calluna, см. Вереск.
- Кальцевая почва, 173.
- Кальцевое голодание, как фактор в кислых почвах, 428.
- — симптомы его, 91.
- Кальцевое питание, см. Питание кальцием.



- Кальцевые почвы, характер растительности их, 441.
- Кальцифуги, см. 356, 449; Избегающие извести.
- Кальция карбонат, см. Карбонат кальция.
- действие его на почву, 208, 448.
- эффект на микроорганиз. 347, 373.
- эффект на реакцию почвы, 181.
- эффект на свойства почвы, 407.
- Кальция, окись, см. Окись кальция.
- соединения, см. Соединения кальция.
- сульфат, см. Сульфат кальция.
- Кальций, калий, отношение  $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$  в хлоротических тканях 451.
- Карбонат кальция в различных почвенных типах, 253.
- вредный эффект на рост растений, 113, 430, 450.
- движение в засушливых почвах, 233.
- образование его в почвах, 233.
- Карбонат кальция, потери его из почвы, 222 и след.
- потери его из почвы, влияние сульфата аммония, 203.
- Карбонат натрия, образование его в почве, 236, 258.
- токсическое действие его на микроорганизмы, 374.
- токсическое действие его на растения, 115.
- Карбонаты, определение их в почв. 490.
- Картофель, качество его и почвенные условия, 470.
- Катионы, взаимодейств. их с почв. 201.
- Качество с.-х. растений и почвенные условия, 383; см. Состав растений.
- отношение их к удобрению фосфатами, 78 и след.
- Каштановые почвы, 233.
- Квельдергрондены, 266.
- Кератин, разложение его в почве, 286.
- Кислая почва, 173; см. также Кислотность почвы.
- предполагаемое преобладание грибов в ней, 336.
- Кислород в воде, 389.
- в почвенном воздухе, 387.
- и снабжение им в болотных условиях, 323.
- отнош. к росту растений 15, 17, 50.
- поглощение его почвой, 274.
- снабжение им семян и корней растений, 50.
- Кислотность атмосферы, эффект на растения, 111.
- клеточного сока растений, 110, 413.
- почвы, 175 и след.; см. также Концентрация водородных ионов.
- влияние на активность микроорганизмов, 373.
- влияние на почвенную фауну дождевых червей, 424.
- влияние на почвенную фауну улиток, 362.
- влияние на численность бактерий, 337, 346.
- возрастание при нагревании, 270.
- и рост растений, 420.
- контроль ее, 181, 262.
- обусловленная избыточным выщелачиванием, 224.
- определение ее, 178, 490.
- отношение к болезням организмов, 427.
- отношение к дождю, 173.
- отношение к росту растений, 488 и след.
- эффект содержания влаги, 178, 428.
- Кислоты в почве, 175 и след.
- выделяемые корнями растен. 23, 413.
- глины, 163.
- гумуса, 186.
- разведенные, действие их на почву, 407.
- эффект на рост растений, 109, 428.
- Кислые почвы, 173, 181, 420 и след.
- Клеточный сок, кислотн. его, 109, 413.
- осмотическое давление его, 46, 393, 419.
- Климат, влияние его на распределение с.-х. культур, 55.
- на состав почвы, 137 и след. 221 и след. 443.
- Климатические факторы и калийные удобрения, 81.
- и рост растений, 55 и след.
- Клубеньки бобовых растений содержат бактерии, 27, 31.
- Клубеньковые бактер. открыты их, 32.
- Клубеньковые бактерии, азот, фиксируемый ими, 309.
- способ проникновения их в растение, 306.
- темп движения в почве, 105.
- Коагуляция глины, 159 и след.
- замедление ее гумусом, 196.
- пыли, 154.
- Коагуляция суспензии гумуса, 195.
- Количественное изучение роста растений, 17, 19, 24, 117 и след.



- Коллоидальные свойства почвы, от-  
крытие их, 33.  
— — — см. Глина, Гумус.  
— почвы, абсорбционная способ-  
ность их 202.  
Коллоиды, коагуляция их в почве 225.  
— поглощение их почвенными кол-  
лоидами 202.  
— в почве, минеральные 171.  
— — — распределение их 216.  
— — — эффект высушивания 269.  
Комковая структура, 171, 217 и след.  
— — — отношение к росту растений 404.  
Корневой сок, кислотность его, 110,  
413.  
— — — осмотическое давление его, 393.  
— — — pH его, 109, 413.  
Корни, аэрация и болезни их 52.  
— выделения и природа их 413.  
— конкуренция их, 413, 424.  
— развитие их, благоприятное на  
песчаных почвах 70, 465.  
— — — повышаемое аэрацией 51.  
— — — повышаемое калийными  
солями 81, 85.  
— — — повышение кальциевыми  
солями 91.  
— — — повышаемое фосфатами 72.  
— — — трудное в глинистых поч-  
вах 70, 463.  
Корни, развитие их, эффект снаб-  
жения водой, 45, 496.  
— — — эффект температуры 55.  
— растений, действие их на почву, 413.  
— — — pH сока их 109.  
— — — предполагаемые выделения  
их 413.  
— — — рост их, эффект температуры на  
него 55, 56.  
— — — симптомы для диагностики со-  
стояния их, общий обзор.  
Красноземы.  
Крахмал, разложение его в почве.  
Кремневая кислота, движение ее  
в почве.  
— — — отложение ее на тонких ча-  
стицах.  
— — — предполагаемое выделение ее  
растениями.  
Кремнезем-глинозем, отношение их  
в глине, отношение к осадкам  
и температуре 142, 164, 228.  
— — — отношение их в глине, эффект  
на коагуляцию глины 109.  
— — — — эффект на физические  
свойства 163.  
— — — отношение их в латеритах 248.  
Кроты в почве 361.  
Латериты и латеритные почвы 247.  
Лесные поч. гумус в них 197, 154 и след.  
— — — деятельность микрооргани-  
змов в них, 373.  
— — — эффект удаления лесной под-  
стилки 193.  
Лигнин, отношен. его к гумусу 278, 279.  
— — — разложение его в почве 284.  
Лизиметрические опыты в Абер-  
дине 208, 221, 376.  
— — — в Ноксвилле, Теннесси 208.  
— — — в Ротамстеде 312, 396.  
Лист, диагностика и симптомы ро-  
ста 108.  
— — — рост его и вредный эффект азо-  
тистых питательных веществ 63.  
— — — и вредный эффект высокой  
температуры 54, 56.  
— — — и вредный эффект калий-  
ных солей, 80.  
— — — и эффект магниевых  
солей 93.  
— — — и эффект марганцевых со-  
лей 95.  
— — — и эффект солей кальция 91.  
— — — и эффект сульфатов 99.  
— — — и эффект фосфатов 72.  
— — — и эффект хлоридов 97.  
— — — эффективность его, отношение  
к питательным веществам 63, 80.  
Литий, соли его, эффект на растен. 90.  
Magma unguinosum, как основное на-  
чало растительности 12.  
Магниальное голодание, эффект  
его 93.  
Магниальные соли, эффект на рост  
растений 92, 113.  
Магния пирол карбоксилат, пред-  
полагаемая способность заме-  
нять железо, 94.  
— — — сульфат как, пища растений 14.  
— — — эффект его на снабжение ка-  
лийными солями 206.  
Магний, защита его от выщелачива-  
ния карбонатом кальция, 208.  
— — — соединения в почве 214.  
Манганаты, эффект их на образова-  
ние хлорофилла, 94.  
Марганец, соединения его в поч. 216.  
— — — благоприятное действие его соеди-  
нений на клубеньковые орга-  
низмы, 308.  
Марганцевистый карбонат, биоло-  
гическое окисление его в поч. 310.  
Марганцовые соли, благоприят-  
ный эффект на рост растений, 95.

- Марганц. соли, вредный эффект на рост растений, 112.
- Масло, как предполагавшаяся основная пища растений, 18.
- Математические выражения для роста растений, 33, 119 и след.
- для роста растений, общая форма их, 133.
- для роста растений, Маскелла-Бальмуканда, 129.
- для роста растений, Митчерлиха, 119.
- Материнский материал, эффект его на почву, 277.
- Медные соли, эффект их на рост растений, 96, 112.
- Меласса, применение как удобрения, 301.
- Мел, старинный метод применения на почве, 209.
- Мериносовые овцы в сухих стран. 240.
- Металлические соли, вредный эффект их на рост растений 111.
- Метан, биологическое окисление его, 323.
- образование его в болотах, 283.
- из целлюлозы, 283, 284.
- Методы исследования: количественные, 17, 19, 24.
- полевые, 19, 34.
- почвенных организмов, 329 и след. 341.
- статистические 291.
- Метод Бекона для изучения почвенных проблем, 34.
- Механический анализ, выражение результатов его 151.
- детали метода, 497 и след.
- интерпретация его, 471 и след.
- отношение его к с.-х. и экологическим свойствам поч. 471 и след.
- фракции, получаемые при нем, 148.
- Микориза, 339.
- Микробиологические методы, анализ почвы 378. и след.
- Микробиология поч. общая 362 и след.
- Микроорганизмы в почве, активность их весной 343, 370.
- актиномицеты 341.
- бактерий 342.
- видимое повсеместное сходство их форм, 342.
- грибы, 334, 343.
- действие раст. на них 435.
- изменения, производимые ими в почве, 272 и след.
- колебания в численности их, 368.
- Микроорганизмы в почве, комплекс населения их 32, 324 и след.
- методы изуч. их 328 и след.
- отношение их к росту растений, 376.
- плотность их, 375.
- протозоя 352.
- Микроорганизмы в почве, см. также Энергетические отношения.
- численность их 353.
- Микрорельеф, топографический эффект его на почву 240.
- Минералогическое исследование почвы 147.
- Минеральные вещества в почве, определение их, 491.
- Минеральные составные части растений, 25.
- растений, эффект их на снабжение водой, 46, 47.
- Минеральные части почвы, происхождение и история их 142 и след.
- Минимума закон Либиха 10.
- Митчерлиха, 119 и след.
- Мороз, эффект его на комковатость структуры, 218; см. Заморозки.
- Морская вода, вредный эффект ее на почву 266.
- Мотыжение, как удобрение (Туль) 13.
- эффект его на содержание воды в почве 397.
- Мощность растения, влияние на нее солей калия, 81.
- влияние на нее солей кальция, 97.
- Muckland (болотно-перегонные почвы в США) 461.
- Мульч 453 и след.
- Мульчирование, 397, 403.
- Муравьи, эффект их в почве, 362.
- Мышьяковые соединения, эффект на бактерии 113.
- вредный эффект на растения 113.
- Навоз и потеря азота в почве, 316.
- искусственный, 279.
- как удобрение, 26, 414.
- повышение содержания влажности в почве, 191.
- эффект на бобовые растения, 292.
- на почвенные организмы, 346, 365.
- эффективность его в зависимости от снабжения водой, 127 и след.
- Нагревание почвы, благоприятное влияние его на некоторые грибы, 336.
- благоприятное влияние его на развитие корней, 414.

- Насыщение емкость, см. Емкость насыщения.
- «Насыщенные» почвы 117.
- Натриевая глина 174, 267.
- — коагуляция ее 176, 267.
- — обработка ее 261 и след.
- Натриевая почва 174.
- Натриевые соли, вредны для почвы 256.
- — сберегают калий, 90, 206.
- — эффект их на рост растений 62.
- Натрий, соединения его в почве 215.
- — его потери из почвы, 222.
- Натрия карбонат, см. Карбонат натрия.
- нитрат, эффект его на почву, 206.
- сульфат, см. Сульфат натрия.
- хлорид, см. Хлорид натрия.
- Нематоды 357.
- Ненасыщенные почвы, см. Насыщенные.
- Непрерывные культуры, вредный эффект их на почву, 434.
- Низинные болота, 457.
- Никель, соли его, эффект их на рост растений, 96.
- Нитраты, ассимиляция их почвенными организмами, 276.
- и рост растения, эффект фосфатных и калийных солей на использование их растением 314.
- эффект их на азотобактер, 298.
- — на другие организмы 276.
- — на рост растения, 63; см. также Азотистое питание растений.
- Нитраты в почве, ассимиляция их 314.
- — восстановление до нитритов, 293.
- — из органических веществ.
- — количество их 210, 441.
- — образование их, 27; см. также Нитрификация.
- — определение их 489.
- — потери во время пара в тропических почвах 320, 323.
- — предел накопления их, 311.
- — прирост во время пара во влажных почвах 310.
- — стимулирование их удобрениями, 376.
- Нитраты в почве, эффект в заболоченных почвах 323.
- — эффект органического вещества на них 275, 325, 377.
- — эффект растущих растений, 440.
- — эффект через выщелачивание из влажных почв 222, 312.
- Нитраты, как нормальная пища растений, 63.
- Нитриты, вредные для растений, 113.
- образующие бактериями из нитратов, 309.
- Нитрификация в канализационных водах, 290.
- в почве, 288 и след. 458.
- — — эффект фосфатов на нее 437.
- — — эффект сезона на нее 377.
- и плодородие 330, 370.
- организмы Кутлера 291.
- причины ее, 28.
- темп ее, выраженный автокаталитическим уравнением, 292.
- химизм ее, 292.
- эффект ее на реакцию почвы, 373.
- — на растущее растение, 440.
- — на органическое вещество, 289 и след.
- Нитрифицирующая сила, см. Сила нитрификации.
- Нитробактер 288.
- Nitrosomonas 289.
- Обменная способность глины, 168.
- — гумуса, 197.
- Обменные основания в подзолистом профиле, 228.
- — в почве, 143 и след.
- — — и питание растений 145, 410.
- — — количество их в почве Бродбока, 204, 306.
- — — определение их 493.
- — — состав их, 148, 149, 204, 228, 239, 268.
- Обменный кальций, отношение к рН, 209.
- Обмен оснований 157, 184 и след.
- — в глине 167.
- — в гумусе 197.
- — и структура почвы 405.
- — почвы, отношение к комковатой структуре, 220.
- — уравнения, выражающие равновесие 168.
- — эффект на аэрацию почвы, 389.
- — на температуру почвы 403.
- Общеводство, отношение к меловым почвам, 452.
- — к песчаным почвам, 465.
- Овцы, эффект содержания их в загонах в поле, 452, 465.
- Ограничивающие факторы Блэкмана 129.
- Окисление-восстановление, см. Потенциалы.
- Окись кальция, действие ее на микроорганизмы, 373.



- Окись кальция действие ее на почву 18, 208, 254, 380.
- эффект на реакцию почвы 181.
  - эффект на снабжение растений калием 104.
- Окружающие факторы, эффект на рост растений, 35.
- Оксидаза, активность ее и соли марганца, 95.
- Оподзоливание латеритов, 251.
- Органические вещества, эффект их на рост растений, 413.
- Органическое вещество, накопление его в почве, 272.
- в почве, 184 и след. см. также Углерод в почве и гумус.
  - в почве, количество его, доставляемое микроорганизмами 346, 353.
  - в почве, реакция его 188.
  - в почве, обзор изменений 326.
  - отношение к pH, 188.
  - отношение к почвенным микроорганизмам, см. Энергетические отношения.
  - отношение углерод/азот в нем 189.
  - разложение его в почве 273 и след.
  - увеличение количества его водорослями 333.
  - эффект на изменение свойств почвы, 191, 473.
  - эффект на нитрификацию 457 и след.
  - эффект на почву, 138.
- Оросительные воды, твердые вещества, растворенные в них, 257.
- Орошаемые почвы, уход за ними, 256.
- Орошение и разрушение почвы при нем, 257.
- и рост растений, 37, 44.
  - и снабжение корней воздухом, 45, 52, 257, 262.
  - и состав растений, 46.
- Орштейн, образование его в почв. 268.
- эффект его на растительность 466.
- Оснований обмен, см. Обмен оснований.
- Основания в почве, распределение в последовательных слоях 227, 228, 239, 240, 242.
- выщелачив. из почвы 222 и след.
  - потери их из почвы, эффект потерь, 224.
- Освоение бесплодных почв, 253 и след.
- Освоение засоленных земель, 261, 263.
- песков, 466.
- Освоение торфяных почв, 458.
- Осмотическое давление клеточного сока, отношение к содержанию влаги в почве, 46.
- корневого сока, 391, 419.
  - почвенного раствора, 418, 419.
- Отношение магния к кальцию, 94.
- питательных веществ растений между собой, эффект его, 83, 102, 104.
- Отношение углерода к азоту в почве, 276.
- Пакихи (земли в Новой Зеландии), 256.
- Паразитные организмы в почве, 336, 341, 357.
- Пар в древние времена, 316.
- вредный эффект его на почвах фен, 461.
  - эффект его на содержание нитратов в почве во влажном климате 287, 311.
  - на содержание нитратов в почве в засушливом климате, 320, 323.
- Пастбища, откармливающие и не-откармливающие 470.
- эффект снабжения фосфором их, 78.
- Пахота, надлежащее содержание влаги в почве для нее, 407.
- электрическое приспособление для уменьшения трения, 170.
- Пентозаны, разложение их в почве 280.
- Пермутит и питание растений, 410.
- Перхлораты, вредный эффект на рост растений, 113.
- Песок крупный, влияние его на плодородие почвы, 471.
- свойства его, 152.
  - мелкий, свойства его, 151.
  - эффект его на плодородие почвы, 471.
- Песчаные дюны, растительность их, 447.
- почвы, подверженность их образованию орштейна, 226.
  - снабжение водой в них, 391.
  - характер растительности их, 464.
- Петрографические методы анализа почвы, 147.
- Питание кальцием растений, 429.
- для исправления неблагоприятных условий, 104.
  - растений, 59 и след.
  - методы изучения его, 14, 16, 19, 34.
- Питательные вещества, влияние времени внесения, 65, 74.
- в почве, 209.
  - в почве, активные и потенциальные, 142.



- Питательные вещества в почве, метод определения их по Митчерлиху, 412.
- в почве, метод определения по Нейбайеру, 412.
- в почве, методы определения их химическим анализом, 409.
- источники их, 403 и след.
- количества, берущиеся растениями, 436.
- круговорот их между растением и почвой, 244, 436.
- потери их из почвы, 478.
- перечень их, 26, 60.
- различные количества их, поглощаемые растениями, растущими рядом, 413.
- темп поглощения их растениями, 40, 92, 436.
- требующиеся для построения тканей растения, 59.
- только в малых количествах, 60.
- эффект на рост растений, количественное изучение, 117.
- Пища растений, снабжение ею, влияние на потребность растений в воде, 44.
- старые представления о ней: вода, 10.
- представления о ней: гумус, 15.
- представления о ней: земля, 12, 14.
- представления о ней: масло, 14.
- представления о ней: селитра, 11.
- Пластичность глины, 187.
- Плодородие почвы, 550.
- отношение его к почвенному раствору, 19.
- переброска его в страны выскокой с.-х. культуры, 471.
- Поглощающий комплекс почвы, 200.
- Поглощение почвой, 143, 200.
- кислотных и основных радикалов почвы, 24, 143, 167, 200.
- Подзолы 255 и след., см. также Оподрозливание и Процессы.
- обработка их, 254.
- Подкисление почвы, искусственное, 262.
- Подпочва, эффект ее на растительность, 475.
- Полевые опыты в Ротамстеде, 24, 34; см. также в указателе авторов.
- методика их, 19, 34.
- Полегание злаков, 64, 84.
- Поля орошения, 202.
- Поры, пространство их в почве, 384.
- Потенциалы окисления-восстановления, 383.
- Потребность в извести, определение ее, 490.
- отношение ее к pH, 81.
- см. также Окисл кальция и Карбонат кальция.
- Почва, анализ ее, применение разведенных кислот, 412, 493, 494.
- действие воды на нее, 221 и след.
- истощение ее, 476.
- конституция ее, 216.
- механический состав ее, 217 и след. 403 и след.
- минеральные вещества ее, химический состав их, 142 и след.
- нормальные условия ее, 332, 346, 351, 442.
- плодородие ее, 476.
- поглощающий комплекс ее, 200.
- регулирование температуры ее, 403.
- состав ее, 120 и след.
- влияние на него типа растительности, 58.
- эффект ее на азотобактер, 297.
- нитрифицирующие организмы, 290.
- Почвенная кислотность, см. Кислотность почвы.
- Почвенное население, концепции относительно природы и функций его, 329 и след.
- Почвенное органическое вещество, определение его, 488.
- Почвенные образцы, методы взятия их, 487.
- Почвенные съемки и методы, 482.
- в Англии, 485.
- Почвенные фракции, 148 и след.
- свойства их, 152 и след.
- состав их, 141.
- Почвенные частицы, классификация их в разных странах 153.
- коллоидальная оболочка их, 172.
- кривые распределения массы их Одена, 151.
- размеры их, 153.
- Почвенный анализ, см. Анализ почвы.
- Почвенный раствор, извлечение его, 415.
- осмотическое давление его, 418.
- Почвенный раствор, отношение его к деятельности микроорганизмов, 418.

- Почвенный раствор отношение его к влажности почвы, 417.  
 — отношение его к корневому соку, 419.  
 — отношение его к росту растений 417, 419 и след.  
 — предполагаемые токсические свойства его, 433.  
 — скорость восстановления его, 412.  
 — состав его, 415.  
 рН почв, величины его для почв, 180; см. также Кислотность почвы и Водородные ионы.  
 — значение его, 177.  
 Почвы, гетерогенность их, методы определения ее, 407.  
 — классификация их, 140, 221, и след.  
 — образование их, 137 и след.  
 — отношение углерода-азот в них, 276.  
 — прерий, потеря азота в них, 315.  
 — структура их, 216 и след.  
 — Szik 265.  
 — фен, характеристика растительности их, 460.  
 — характер растительности их, 448.  
 Прерии, см. Почвы прерий.  
 Притеняющие культуры, 339.  
 Проницаемость почвы, эффект гипса на нее, 261.  
 Протозоа в почве, 351.  
 — обратное соотношение их к бактериям, 355.  
 — поглощение их частицами почвы, 375.  
 — сезонные колебания числа их, 343.  
 — симбиоз их с азотобактером, 298.  
 Протозоа, скорость передвижения их в почве, 374.  
 — численность их в почве, 369.  
 Профиль почвы, 225 и след.  
 — влияние его на плодородие 447.  
 Процесс оподзоливания, 224 и след., 246.  
 Процесс созревания, эффект азотистых удобрений, 64.  
 — эффект снабжения водой, 45, 47 и след.  
 — эффект фосфатных удобрений 72.  
 Пустынные почвы, 233.  
 Пшеничное зерно, состав его, эффект магнелии на него, 94; см. также Семена.  
 — эффект карбоната и окиси натрия на него, 90.  
 Пылеватые глины, характер растительности их, 472.  
 Пыль, влияние ее на плодородие почвы, 67, 472.  
 Пыль, свойства ее, 154.  
 — из египетской гробницы, стерильность ее, 332.  
 Радиация, количество ее, получаемое от солнца в Ротамстеде, 399.  
 Радий, значение его в почве, 115.  
 Радий эффект эманации его на рост растений, 115.  
 Раздельно-зернистая структура, 217.  
 Растворимые вещества в почве, влияние склонов на них, 444.  
 Растения, анализ, см. Анализ растений.  
 — влияние азотистого питания на состав их, 66 и след.  
 — калийного питания на состав их, 87 и след.  
 — снабжения водой на состав их.  
 — фосфатного питания на состав их, 76 и след.  
 — внешний вид их, диагностика внешних условий, 107.  
 — во время роста и эффект их на почвенные организмы, 435.  
 — — роста и эффект их на почву, 244, 435.  
 — вредное взаимное влияние их во время роста, 431.  
 — их пища, см. Питательные вещества.  
 Растительность, как характеристика почвы, 448.  
 — типы ее, эффект на состав почвы, 58.  
 Растительные остатки и фиксация азота, 302, 324.  
 — разложение их в почве, 277 и след.  
 — эффект их на почву, 324.  
 Реакция почвы, см. также Кислотность почвы и Концентрация водородных ионов.  
 — влияние на нее растущих растений, 437.  
 — влияние на нее склонов местности, 446, 448.  
 — и рост растений, 420 и след.  
 — методы регулирования ее, 181, 208, 258.  
 — эффект ее на число бактерий, 337, 346, 347.  
 Ретроградация щелочных почв, 257.  
 Римская литература по сельскому хозяйству, 9.  
 Рисовые почвы, 323.  
 Рост растений, влияние его на реакцию почвы, 259.





- Статистические методы и почвенные микроорганизмы, 331.  
 — и рост растений, 34.  
 Степи, 240.  
 Стронций, эффект солей его на рост растений, 92.  
 Структура почвы, 216.  
 — влияние на нее глины, 172.  
 — влияние на нее карбоната кальция, 208, 448.  
 — влияние на нее органического вещества, 192.  
 — в профиле ее, 216.  
 — при обработке, 13, 403.  
 — при обработке, отношение ее к силе тяги, 406.  
 — при обработке, эффект на нее гумуса, 191.  
 — столчатая и призматическая, 236.  
 Суглинки, характеристика растительности их, 467.  
 Сульфат аммония, действие на почву, 203.  
 Сульфат калия, действие его в почве, 205.  
 Сульфат кальция в засушливых почвах, 233, 237, 253.  
 — ценность его на щелочных почвах, 264.  
 — эффект его на проницаемость почвы, 261.  
 Сульфат натрия, эффект его на почву, 206.  
 Сульфаты, биологическое восстановление их в почве, 310.  
 — эффект их на рост растений, 93, 99.  
 Сульфо-цианид аммония; вредный эффект его, 113.  
 Суперфосфат, введение его в качестве удобрения, 74.  
 — эффект его на почву, 230.  
 Сухое земледелие, 467.  
 «Т», величина его по Хиссинку, 204.  
 Температура и рост растений, 53, 57.  
 — — растения, количественное выражение его, 135.  
 — — растения, эффект на потребность растений в воде, 42.  
 — — растения, состав их, 54.  
 — почвы, 398.  
 — эффект ее на изменение свойств почвы, 478.  
 — эффект ее на численность бактерий, 348.  
 Темп роста растений, эффект внешних факторов, 127 и след.  
 Темпы роста, влияние на них засоленных почв, 114.  
 — — количественное изучение их, 132.  
 — — периоды их, 436.  
 — — условия, влияющие на них, 35.  
 Тепловые волны, скорость распространения их в почве, 400.  
 Титан, эффект его на рост растений, 101.  
 Токсины, образующиеся при нагревании почвы, 32.  
 — предполагаемое присутствие их в почве, 430.  
 Томасов шлак, эффект на глинистых пастбищах, 464.  
 Топографические факторы, эффект их на почву 444.  
 Торф задержание воды им, 457.  
 — образование его, 138.  
 — разбухание и сокращение объема его, 192.  
 — типы его, 452.  
 — утилизация его, 458.  
 Торфяные почвы, микробиологическая деятельность в них, 458.  
 — — освоение их, 456.  
 — — характеристика растительности их, 457.  
 Травы злаковые, состав их; эффект снабжения азотом, 71.  
 — — — эффект снабжения солями кальция, 88.  
 — — — эффект снабжения фосфатами, 78.  
 — — — эффект роста их на плодовые деревья, 431.  
 Транспирация, коэффициент или отношение ее, 41 и след.  
 — темпы ее, 40.  
 Трение, поверхность трения между почвой и орудием, 407.  
 Тяга, см. Сила тяги.  
 Углеводы, эффект их на ассимиляцию аммиака и нитратов микроорганизмами, 276, 287.  
 — — на круговорот азота в почве, денитрификация, 293.  
 — — на рост растений, 301.  
 — — на фиксацию азота, 300.  
 Углекислота в почвенном воздухе, количество ее, 386.  
 — выделение ее корнями растений — из почвы, 274.  
 — как удобрение, 61.  
 — колебания ее в атмосфере, 61.



- Углекислота, отношение ее к росту растений, 16, 17, 22, 50, 60.  
 — эффект ее на корни растений, 50.  
 Углерод/азот, отношение их в гумусе почвы, 275, 311.  
 — — отношение их в почве 276.  
 — — отношение их в растениях, эффект на различные действия, 68.  
 — — отношение в составных частях растений, 275.  
 — источник его для растений, 15, 17, 19.  
 Углерода двуокись, см. Углекислота  
 Углерод, количество, находящееся в почве, 277.  
 — потери его из почвы, 274.  
 Удельная теплота почвы, 400.  
 Удельный вес почвы, 402.  
 Уитслей - Мяр (Whittesley - Mere), сильное сжатие почвы после дренирования 192.  
 Улитки, отношение их к почвенной кислотности, 362.  
 Уорпинг, 458.  
 Урожай, отношение его к снабжению питательными веществами, 127.  
 Урожай, уравнение Бауле, 122.  
 — — Бондорфа, 122.  
 Урожай уравнение Маскелла, 129.  
 — — Митчерлиха, 119.  
 Усвояемость питательных веществ растений в почве, 142, 412.  
 Уход за почвой, принципы его, 254.  
 Фактор действия (по Митчерлиху), 132.  
 Фекалии и фиксация азота, 302.  
 Феноловое кольцо, соединения его, разложение их в почве, 284.  
 Фены, см. 459; также Почвы.  
 Физиологический баланс питательных веществ в культурных растениях, 102.  
 — — — в почве, 104.  
 Физиология растений, основание ее, 16.  
 Физические свойства почвы, 19, 20.  
 33; см. также Глина, Гумус, Снабжение водой.  
 Flagellata, см. Жгутиковые.  
 Флора долго переживает нарушение почвенных условий, 448.  
 Фосфат-ион, поглощение его почвой, 201.  
 Фосфатное голодание растений, 74.  
 — — симптомы его, 103.  
 — — эффект его на животных, 78.  
 — истощение почвы, 479.  
 Фосфатные удобрения, применение их, 479.  
 — — на меловых почвах, 452.  
 — — на глинистых почвах, 454.  
 — — на феновых почвах, 460.  
 — — на луговых землях, 77, 78, 463.  
 — — на песчаных почвах, 465.  
 Фосфаты и микроорганизмы, эффект на бактерии, 376.  
 — влияние времени внесения при удобрении ими, 75.  
 — как пища растений, 15, 22, 25, 69 и след., 471.  
 — — растений, количественное изучение, 120, 124.  
 — — растений, эффективность их, повышаемая силикатами, 100.  
 — — растений, эффект растворимости их, 412.  
 — количество, усваиваемое растениями из почвы, 76.  
 — реакция их с разведенными кислотами, 412.  
 Фосфорная кислота, определение ее в почве, 492.  
 Фосфорное питание растений, 69 и след., 411.  
 Фосфорные питательные вещества в почве, 212.  
 — соединения в почве, 212.  
 — — в почве, действие микроорганизмов на них, 310.  
 Фракции почвы, химическое изучение их, 141.  
 Фруктовые деревья, вредное влияние на них травы, 431.  
 Фтор, эффект соединений его на рост растений, 98.  
 Химический анализ почвы, 151, 490.  
 Хингидронный электрод, 178, 480.  
 Хлорид натрия, эффект его на почву, 266.  
 Хлориды, количество их в дождевой воде, 98.  
 — эффект их на рост растений, 97.  
 Хлороз растений на известковых почвах, 110, 451.  
 — — причины, вызывающие его, 93, 95, 99.  
 Хранение сухих почв, изменения в течение его, 270.  
 Хроматы, эффект на образование хлорофилла, 94.  
 Цезий, соли его, эффект на растения, 91.  
 Целлюлеза, анаэробное разложение ее, 281.

- Целлюлоза, аэробное разложение ее, 283.  
 — разложение ее бактериями, 281.  
 — — ее в почве, действующие агенты, 280.  
 — — ее в почве, химические изменения, 283.  
 — — ее грибами, 281, 346.  
 — как источник гумуса, 190.  
 Цеолиты в почве, 144.  
 Цинковая руда в почве, вредный эффект ее, 112.  
 Цинковые соли, эффект их на рост растений, 112.  
 Частичная стерилизация почвы, 380.  
 Черви, 357 и след.  
 Чернозем, 239, 241 и след.  
 Черные солонцы 261.  
 Чистая ассимиляция, темпы ее, 132.  
 «Шеракви», 382.  
 Щелочи, их эффект на рост растений, 109 и след.  
 — предполагаемая выработка их растениями, 15, 18.  
 Щелочность почвы, борьба с ней, 262.  
 Щелочные почвы, 318 и след.  
 — — микроорганические отношения в них, 373.  
 — — освоение их, 262, 263 и след.  
 Щелочные соли, влияние на микроорганизмы, 373.  
 — — влияние на почву, 256 и след.  
 — — вредный эффект их на растения, 113.  
 — — функции их в питании растений, 21; см. также Кальций, Натрий, Литий.  
 Эквивалентные диаметры почвенных частиц, 152.  
 Элективный метод, 311, 330.  
 Энергетические отношения аммонифицирующих бактерий в почве, 287.  
 — — бактерий, окисляющих железистые и марганцевистые карбонаты, 310.  
 — — нитрифицирующих бактерий в почве, 284.  
 — — фиксирующих азот бактерий, 299 и след.  
 Электрический слой, двойной вокруг частиц глины, 157.  
 — ток, эффект на уменьшение силы тяги при пахоте, 170.  
 Электричество, стимулирующий эффект на рост растений, 115.  
 Электролиты, эффект на глину, 159 и след.  
 Электрометрическое титрование, кривые его для почвы, 182.  
 Энергия, изменения ее в почве, 364.  
 Энергетический материал в почве, повышение количества его водорослями, 332.  
 — — в почве, происходящий от растений, 133, 272.  
 Энергетические отношения почвенных микроорганизмов, 364 и след.  
 Энзимы, действие их, эффект температуры на него, 127.  
 Егемасausis, 29.  
 Эрозия, 240.  
 Ячмень, азотистые соединения в зерне, 69.  
 — качество для солода, 44.  
 — состав зерен, см. Семена.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                      | Стр.      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие редактора-переводчика . . . . .                                                          | 3         |
| Предисловие к шестому изданию . . . . .                                                              | 7         |
| <b>Глава I. Историческая и вводная . . . . .</b>                                                     | <b>9</b>  |
| Поиски «основ» произрастания (1630—1750 гг.) . . . . .                                               | 10        |
| Поиски питательных веществ растений . . . . .                                                        | 13        |
| Флогистический период (1750—1800 гг.) . . . . .                                                      | 13        |
| Последующий период (1800—1860 гг.) . . . . .                                                         | 16        |
| Начало почвенной бактериологии . . . . .                                                             | 28        |
| Возникновение современных знаний о почве: поиски новых факторов и математических выражений . . . . . | 32        |
| <b>Глава II. Почвенные условия, влияющие на рост растений . . . . .</b>                              | <b>35</b> |
| Влияние снабжения водой . . . . .                                                                    | 35        |
| Эффект изменения снабжения водой на рост растений . . . . .                                          | 36        |
| Количество воды, используемое растениями; отношение к темпу роста растений . . . . .                 | 40        |
| Потребность растений в воде; коэффициент испарения . . . . .                                         | 41        |
| Потребность растений в воде; влияние других факторов . . . . .                                       | 43        |
| Эффект снабжения водой на внешний вид роста и на состав растения . . . . .                           | 45        |
| Снабжение воздухом . . . . .                                                                         | 49        |
| Температура . . . . .                                                                                | 52        |
| Климатические факторы . . . . .                                                                      | 56        |
| Свет . . . . .                                                                                       | 57        |
| Пища . . . . .                                                                                       | 59        |
| Элементы, нужные в сравнительно больших количествах для восстановления растительных тканей . . . . . | 60        |
| Углерод . . . . .                                                                                    | 60        |
| Азотное питание растений . . . . .                                                                   | 61        |
| Эффект азотистого питания на растения . . . . .                                                      | 63        |
| Эффект азотистого питания на состав и качество растений . . . . .                                    | 65        |
| Фосфорное питание растений . . . . .                                                                 | 70        |
| Эффект фосфатов на химический состав растения . . . . .                                              | 75        |
| Калийное питание растений . . . . .                                                                  | 80        |
| Эффект калийного питания на состав растения . . . . .                                                | 87        |
| Другие элементы, влияющие на рост растений . . . . .                                                 | 89        |
| Физиологический баланс . . . . .                                                                     | 103       |
| Внешний вид растений, как диагностика внешних условий . . . . .                                      | 105       |
| Отсутствие вредных веществ . . . . .                                                                 | 108       |
| Стимулирующее действие электричества и радия . . . . .                                               | 115       |
| Количественное изучение роста растений . . . . .                                                     | 117       |
| Изучение одного фактора . . . . .                                                                    | 117       |
| Изменения двух или более факторов . . . . .                                                          | 127       |
| Польные условия. Одновременные изменения нескольких факторов . . . . .                               | 131       |
| Более полное изучение эффекта различных факторов на рост растений . . . . .                          | 132       |
| Темп роста . . . . .                                                                                 | 132       |

|                                                                                               | Стр. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Глава III. Состав почвы</b> . . . . .                                                      | 137  |
| Процесс выветривания . . . . .                                                                | 139  |
| Минеральное вещество почвы . . . . .                                                          | 142  |
| Составные части почвы . . . . .                                                               | 142  |
| Минералогический анализ . . . . .                                                             | 147  |
| Разделение почвы на фракции по группировке частиц различных раз-<br>меров . . . . .           | 151  |
| Глина . . . . .                                                                               | 155  |
| Химические свойства глины. «Ацидоидная» часть . . . . .                                       | 162  |
| Обмен основаниями . . . . .                                                                   | 167  |
| Влияние свойств глины на плодородие почвы . . . . .                                           | 172  |
| Общий обзор свойств почв «кальциевых», «водородных» и «натрие-<br>вых» . . . . .              | 173  |
| Почвенные кислоты . . . . .                                                                   | 175  |
| Реакция почвы . . . . .                                                                       | 180  |
| Потребность почв в извести . . . . .                                                          | 181  |
| Емкость насыщения почвы . . . . .                                                             | 182  |
| Органическое вещество . . . . .                                                               | 183  |
| Коагуляция . . . . .                                                                          | 195  |
| Поглотительная способность (абсорбция) . . . . .                                              | 196  |
| Почвенный поглощающий комплекс . . . . .                                                      | 199  |
| Почвенная абсорбция . . . . .                                                                 | 200  |
| Влияние искусственных удобрений на почву . . . . .                                            | 202  |
| Питательные вещества растений в почве . . . . .                                               | 209  |
| Соединения фосфора в почве . . . . .                                                          | 212  |
| Соединения кальция магния, натрия и калия в почве . . . . .                                   | 213  |
| Растворимые соединения железа, алюминия и марганца . . . . .                                  | 215  |
| Структура почвы . . . . .                                                                     | 217  |
| <b>Глава IV. Почва в природе. Изменения в минеральном составе ее</b> . . . . .                | 221  |
| Почвы, образовавшиеся во влажных условиях при большом выщелачи-<br>вании . . . . .            | 225  |
| Процесс подзолообразования . . . . .                                                          | 225  |
| Почвы, образовавшиеся в засушливых условиях. Выщелачивание слабо<br>или отсутствует . . . . . | 232  |
| Почвы каштановые и пустынные . . . . .                                                        | 232  |
| Засоленные почвы. Солончаки . . . . .                                                         | 233  |
| Солонец . . . . .                                                                             | 234  |
| Солоди . . . . .                                                                              | 237  |
| Резюме . . . . .                                                                              | 240  |
| Почвы промежуточные между почвами засушливых и влажных клима-<br>тов . . . . .                | 241  |
| Черноземы . . . . .                                                                           | 242  |
| Бурые почвы и бурые (серые) лесные почвы . . . . .                                            | 244  |
| Латериты и латеритные почвы . . . . .                                                         | 247  |
| Образование латеритных почв. Влияние климата . . . . .                                        | 249  |
| Нарушенные латериты: красноземы или латеризированные<br>почвы . . . . .                       | 251  |
| Общий обзор различных почвенных типов . . . . .                                               | 253  |
| Принципы ухода за почвой (Soil Managment) . . . . .                                           | 254  |
| Уход за подзолистыми почвами . . . . .                                                        | 256  |
| Уход за орошаемыми почвами . . . . .                                                          | 268  |
| Образование орштейна . . . . .                                                                | 269  |
| Эффект высушивания и нагревания почвы . . . . .                                               |      |



|                                                                                           | Стр. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Глава V. Почва в природе. Изменения в органическом веществе . .                           | 272  |
| Накопление органического вещества в почве . . . . .                                       | 272  |
| Разложение органического вещества в почве . . . . .                                       | 273  |
| Микроорганизмы, участвующие в процессах изменений органического вещества . . . . .        | 280  |
| Сахара и крахмалы . . . . .                                                               | 280  |
| Целлюлоза . . . . .                                                                       | 281  |
| Лигнин . . . . .                                                                          | 284  |
| Второстепенные составные части растительных остатков . . . . .                            | 284  |
| Изменения азотистых компонентов . . . . .                                                 | 286  |
| Образование аммиака и нитратов . . . . .                                                  | 286  |
| Образование аммиака . . . . .                                                             | 286  |
| Нитрификация . . . . .                                                                    | 288  |
| Деятельность микроорганизмов, вызывающих потери азота . . . . .                           | 292  |
| Денитрификация . . . . .                                                                  | 292  |
| Микробиологическая деятельность повышающая количество азота в почве . . . . .             | 294  |
| Фиксация азота . . . . .                                                                  | 294  |
| Окисление серы и ее соединений . . . . .                                                  | 309  |
| Окисление карбонатов железа и марганца . . . . .                                          | 310  |
| Влияние микроорганизмов на фосфорные и калийные соединения в почвах . . . . .             | 310  |
| Эффект почвенных условий на природу и глубину изменений в азотистых соединениях . . . . . | 311  |
| Изменения, понижающие содержание азота в почве . . . . .                                  | 311  |
| Изменения, повышающие содержание азота в почве . . . . .                                  | 316  |
| Потери азота из почвы . . . . .                                                           | 321  |
| Эффект заболачивания. Болотистые и рисовые почвы . . . . .                                | 323  |
| Резюме . . . . .                                                                          | 324  |
| Глава VI. Микроорганическое население почвы и отношение его к росту растений. . . . .     | 329  |
| Водоросли . . . . .                                                                       | 332  |
| Грибы . . . . .                                                                           | 334  |
| Микоризы. . . . .                                                                         | 339  |
| Актиномицеты . . . . .                                                                    | 340  |
| Бактерии . . . . .                                                                        | 341  |
| Почвенные простотозы . . . . .                                                            | 351  |
| Черви . . . . .                                                                           | 357  |
| Остальная фауна беспозвоночных в почве . . . . .                                          | 359  |
| Общая микробиология почвы . . . . .                                                       | 362  |
| Отношение почвенного населения к росту растений . . . . .                                 | 376  |
| Микробиологический анализ почвы . . . . .                                                 | 378  |
| Влияние упрощения почвенного населения. Частичная стерилизация. . . . .                   | 380  |
| Глава VII. Биотические условия в почве . . . . .                                          | 384  |
| Снабжение воздухом. Газообразная фаза почвы . . . . .                                     | 384  |
| Снабжение водой . . . . .                                                                 | 390  |
| Температура почвы . . . . .                                                               | 398  |
| Структура почвы . . . . .                                                                 | 404  |
| Питательные вещества растений. Источники снабжения . . . . .                              | 408  |
| Питательные вещества растений. Почвенный раствор . . . . .                                | 415  |
| Почвенный раствор и плодородие почвы . . . . .                                            | 419  |
| Реакция почвы. «Кислотность» почвы . . . . .                                              | 420  |
| Имеются ли в почве токсины? . . . . .                                                     | 430  |

|                                                                                                                             | Стр.       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Бессменные культуры. Севообороты. Почвоутомление . . . . .                                                                  | 434        |
| Действие растущего растения на почву и на почвенные организмы . .                                                           | 436        |
| Нормальные условия на тяжелой почве . . . . .                                                                               | 441        |
| <b>Глава VIII. Почва в отношении ее к росту растений . . . . .</b>                                                          | <b>443</b> |
| Влияние склонов на температуру, снабжение водой и растворимые вещества почвы . . . . .                                      | 444        |
| Влияние профиля . . . . .                                                                                                   | 447        |
| Характеристика почв в отношении растительности . . . . .                                                                    | 448        |
| Известковые почвы . . . . .                                                                                                 | 449        |
| Типы гумуса . . . . .                                                                                                       | 452        |
| Глинистые почвы . . . . .                                                                                                   | 461        |
| Песчаные почвы . . . . .                                                                                                    | 464        |
| Суглинки . . . . .                                                                                                          | 467        |
| Соотношение между данными механического и химического анализа и агротехническими и экологическими свойствами почв . . . . . | 471        |
| Факторы, изменяющие влияние механического состава почвы на ее свойства . . . . .                                            | 473        |
| Плодородие и истощение почвы . . . . .                                                                                      | 476        |
| Химический анализ . . . . .                                                                                                 | 480        |
| <b>Глава IX. Методы характеристики почв . . . . .</b>                                                                       | <b>482</b> |
| Почвенные обследования и почвенные карты . . . . .                                                                          | 482        |
| Почвенная съемка . . . . .                                                                                                  | 486        |
| <i>Приложение . . . . .</i>                                                                                                 | <i>487</i> |
| Методы анализа почвы . . . . .                                                                                              | 487        |
| Взятие образцов почвы . . . . .                                                                                             | 487        |
| Лабораторные приемы . . . . .                                                                                               | 488        |
| Общий азот . . . . .                                                                                                        | 488        |
| Концентрация водородных ионов, величина pH или реакция почвы . . . . .                                                      | 490        |
| Разделение на фракции . . . . .                                                                                             | 495        |
| Прямой метод определения числа бактерий в почве с помощью окрашивания пленок . . . . .                                      | 500        |
| Избранная библиография . . . . .                                                                                            | 502        |
| Предметный указатель . . . . .                                                                                              | 523        |

Редактор П. Кавун.  
Техред Т. Соколова.  
Корректор А. Шецова.



Тираж 5000 экземпляров.  
34 печатн. листа. У. а, л. 40,82.  
В 1 печатн. листе 47 040 знаков.  
Ф о р м а т б у м г и 62 × 94/16  
Сдано в пр[ои]зв. 25/VIII 1936 г.  
Подписано в печать 8/XII 1936 г.  
Уполномочен. Главлита Б-33294  
Инд. 52 Г. СХГ 54<sup>95</sup>. Зак. 5021.  
Бумага Камского бумкомбината.



Цена книги 7 р. 35 к.  
Переплет 1 р. 15 к.  
5-я тип. Трансжелдориздата НКПС,  
Москва, Калашевский туп., д. 3/5.



8 p. 50 k.